



Доклады ТУСУР. 2020 • Том 23, № 4

ISSN 1818-0442

DOI: 10.21293/1818-0442

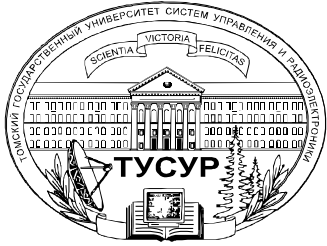


# ДОКЛАДЫ

Томского государственного университета  
систем управления и радиоэлектроники

2020 • Том 23, № 4





Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**ДОКЛАДЫ  
ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
2020, том 23, № 4**

Периодический научный журнал

Выходит 4 раза в год

Основан в 1997 г.

ISSN 1818-0442

DOI: 10.21293/1818-0442

**Редакционная коллегия**

**В.М. Рулевский**, д.т.н., доцент, ректор ТУСУРа, научный руководитель направления НИИ АЭМ ТУСУРа, Томск, Россия (*гл. редактор*).

**А.А. Шелупанов**, д.т.н., проф., президент ТУСУРа, заслуженный работник высшей школы РФ, почётный работник науки и техники РФ, лауреат Премии Правительства РФ в области образования, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-2393-6701> (*зам. гл. редактора*).

**А.Г. Лоцилов**, к.т.н., доцент, проректор по научной работе и инновациям, зав. каф. конструирования узлов и деталей радиоэлектронной аппаратуры, ТУСУР, Томск, Россия (*зам. гл. редактора*).

**В.Н. Масленников**, к.т.н., доцент, ТУСУР, Томск, Россия (*отв. секретарь*).

**М.П. Батура**, д.т.н., проф., гл. науч. сотрудник, БГУИР, заслуженный работник образования Республики Беларусь, Минск, Беларусь.

**Б.А. Беляев**, д.т.н., проф., зав. лабораторией ЭИСВЧЭ, Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, заслуженный изобретатель России, Красноярск, Россия.

**Ян Браун (Jan G. Brown)**, PhD, Национальная лаборатория им. Лоуренса, Беркли, Калифорния, США.

**С.А. Гаврилов**, д.т.н., проф., проректор по НР, НИУ «Московский институт электронной техники» (МИЭТ), лауреат Премии Правительства РФ в области образования, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-2967-272X>.

**Ю.П. Ехлаков**, д.т.н., проф. каф. автоматизации обработки информации, ТУСУР, заслуженный работник высшей школы РФ, почётный работник высшего профессионального образования РФ, Томск, Россия.

**В.М. Исаев**, д.т.н., первый заместитель директора, Мытищинский НИИ радиоизмерительных приборов, почётный работник науки и техники РФ, почётный работник электронной промышленности, Мытищи, Московская обл., Россия.

**А.В. Кобзев**, д.т.н., проф. каф. промышленной электроники, ТУСУР, Томск, Россия, почётный работник науки и техники РФ, почётный работник высшего профессионального образования России, Томск, Россия.

**Г.А. Кобзев**, к.т.н., проректор по международному сотрудничеству, ТУСУР.

**А.М. Кориков**, д.т.н., проф. каф. автоматизированных систем управления, ТУСУР, заслуженный деятель науки РФ, почётный работник науки и техники РФ, почётный работник высшего профессионального образования РФ, Томск, Россия.

**Ю.Н. Кульчин**, д.ф.-м.н., академик РАН, директор, ФГБУН «Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН», Владивосток, Россия.

**В.Ш. Меликян (Vazgen Shavarsh Melikyan)**, д.т.н., проф., чл.-корр. НАН Республики Армения, ЗАО «Синописис Армения», Ереван, Республика Армения, заслуженный деятель науки Республики Армения, Армения, Ереван, <https://orcid.org/0000-0002-1667-6860>.

**С.Д. Одинцов**, д.ф.-м.н., проф., иностранный член Норвежской академии наук, проф. Института космических исследований, Барселона, Испания.

**Е.М. Окс**, д.т.н., проф., зав. каф. физики, ТУСУР, Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-9323-0686>.

**Э.Д. Павлыгин**, к.т.н., зам. ген. директора по науке, ФНПЦ АО «Научно-производственное объединение (НПО) «МАРС», Ульяновск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-6255-8865>.

**Н.А. Ратахин**, д.ф.-м.н., академик РАН, директор, Институт сильноточной электроники (ИСЭ) СО РАН, Томск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-3820-8777>.

**В.К. Сарьян**, д.т.н., проф., академик Национальной академии наук (НАН) Республики Армения, Московский физико-технический институт (ФТИ), научный консультант, НИИ радио, заслуженный работник связи РФ, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники, Москва, Россия.

**А.Р. Сафин**, к.т.н., доц., НИУ «МЭИ», Москва, Россия.

**П.Е. Троян**, д.т.н., зав. каф. физической электроники, ТУСУР, почётный работник высшего профессионального образования РФ, почётный работник науки и техники РФ, Томск, Россия.

**И.А. Ходашинский**, д.т.н., проф. каф. комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС) ТУСУРа, вед. науч. сотрудник лаб. медико-биологических исследований (ЛМБИ), Томск, Россия.

**В.В. Шайдуров**, д.ф.-м.н., проф., чл.-корр. РАН, зав. отделом, ФГБУН «Институт вычислительного моделирования СО РАН», научный руководитель научного направления «Математическое моделирование», Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН), Красноярск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-7883-5804>.

**С.М. Шандаров**, д.ф.-м.н., проф., зав. каф. электронных приборов, ТУСУР, заслуженный работник высшей школы РФ, член Оптического общества Америки (OSA), член Международного НТО IEEE/LEOS, Томск, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-9308-4458>.

**Ю.А. Шурыгин**, д.т.н., проф., директор департамента управления и стратегического развития, ТУСУР, научный руководитель НИИ АЭМ ТУСУРа, зав. каф. компьютерных систем в управлении и проектировании, заслуженный деятель науки РФ, почётный работник высшего профессионального образования РФ, почётный работник науки и техники РФ, лауреат Премии Правительства РФ в области образования, Томск, Россия.

Адрес редакции: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ТУСУР, тел. (382-2) 51-21-21

Свидетельство о регистрации МНС РФ № 1027000867068 от 13 октября 2004 г.

Подписной индекс 20648 в каталоге агентства «Роспечать»: газеты и журналы.

Издательство Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники  
634050, Томск, пр. Ленина, 40, тел. (382-2) 51-21-21.

Верстка, техническое редактирование, подготовка оригинал-макета – ИП В.М. Бочкарева. ИНН 701701817754

Корректор – В.Г. Лихачева.

Подписано в печать 25.12.2020. Формат 60×84 1/8. Печ. л. 6.4. Тираж 500. Заказ 31.

---

**Editorial board**

- Viktor M. Rulevskiy** Editor in Chief, Rector of TUSUR University, Scientific adviser at the Research Institute of Automation and Electromechanics (RI AEM) TUSUR, Doctor of Engineering.
- Alexander A. Shelupanov** Deputy Editor in Chief, President of TUSUR University, Doctor of Engineering, Professor, Honored Worker of Higher School of the Russian Federation, Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Laureate of the Russian Federation Government Prize in Education, Twice Laureate of the Russian Federation Government Prize in Science and Technology, Tomsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-2393-6701>.
- Anton G. Loschilov** Deputy Editor in Chief, Vice-Rector for Research and Innovations of TUSUR University, Head of the Department of design of components and parts of electronic equipment, TUSUR University, Candidate of Engineering.
- Viktor N. Maslennikov** Executive Secretary of the Editor's Office, Candidate of Engineering.
- Mikhail P. Batura** Chief Researcher of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Belarus), Doctor of Engineering, Professor.
- Boris A. Belyaev** Head of the Electrodynamics Department, Institute of Physics SB RAS (Krasnoyarsk), Doctor of Engineering.
- Ian G. Brown** PhD in Plasma Physics, Lawrence Berkeley National Laboratories (California USA).
- Sergei A. Gavrilov** Vice Rector for Research, National Research University of Electronic Technology (MIET, Moscow), Doctor of Engineering, Professor.
- Yury P. Ekhlakov** Professor of the Department of Data Processing Automation, TUSUR University, Doctor of Engineering.
- Vyacheslav M. Isaev** First Deputy Director of the Mytishchi Research Institute of Radio Measurement Instruments, Doctor of Engineering.
- Anatoly V. Kobzev** Professor of the Department of Industrial Electronics, TUSUR University, Doctor of Engineering.
- Gennady A. Kobzev** Vice-Rector for International Cooperation, TUSUR University, Candidate of Engineering.
- Anatoly M. Korikov** Professor of the Department of Automated Control Systems of TUSUR University, Doctor of Engineering.
- Yury N. Kulchin** Director of the Institute of Automation and Control Processes FEB RAS (Vladivostok), Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Physics and Mathematics.
- Vazgen Sh. Melikyan** Director of the Academic Department of Synopsis Armenia (Yerevan, Armenia), Correspondent Member of the National Academy of Sciences of Armenia, Doctor of Engineering, Professor.
- Sergey D. Odintsov** International Member of the Norwegian Academy of Science and Letters, Professor at Institute of Space Sciences, Barcelona, Spain, Doctor of Physics and Mathematics.
- Yefim M. Oks** Head of the Department of Physics, TUSUR University, Doctor of Engineering, Professor.
- Eduard D. Pavlygin** First Deputy General Director for Research of Federal Research-and-Production Center JSC R&P Mars, Candidate of Engineering.
- Nikolay A. Ratakhin** Director of Institute of High Current Electronics SB RAS, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Physics and Mathematics.
- Vilyam K. Saryan** Scientific Adviser at the Research Institute of Radio (Moscow), Academician of the National Academy of Sciences of Armenia, Doctor of Engineering, Professor.
- Ansar R. Safin** Associate Professor, Department of Formation and Processing of Radio Signals, National Research University MPEI (Moscow), Candidate of Engineering.
- Pavel E. Troyan** Vice-Rector for Academic Affairs, Head of Department of Physical Electronics, Doctor of Engineering, Professor.
- Ilya A. Khodashinsky** Professor at Department of Complex Information Security of Computer Systems, TUSUR University, Leading Researcher at Laboratory of Medical and Biological Studies (LBMS), Tomsk, Russia, Doctor of Engineering.
- Vladimir V. Shaidurov** Director of the Institute of Computational Modeling SB RAS (Krasnoyarsk), Correspondent Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Physics and Mathematics, Professor.
- Stanislav M. Shandarov** Head of the Department of Electronic Devices, TUSUR University, Doctor of Physics and Mathematics, Professor.
- Yury A. Shurygin** First Vice-Rector of TUSUR University, Doctor of Engineering, Professor.

## Содержание

## ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

<b>Карнышев В.И., Авдзейко В.И., Рулевский В.М., Паскаль Е.С., Краковский В.А., Акулиничев Ю.П., Божков В.Г.</b>	
Динамика патентования в области обнаружения и локации объектов за счет отражения или переизлучения радио-, акустических и оптических волн .....	7
<b>Мищенко Н.И., Мовчан А.К., Капустин В.В., Чалдина Е.С., Акулиничев Ю.П., Божков В.Г.</b>	
Блок управления активно-импульсных телевизионных систем .....	16

## УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

<b>Попов К.В., Шелупанов А.А.</b>	
Новые вызовы: стохастические угрозы национальной безопасности .....	23
<b>Андреевских Д.А., Разбойников С.Д., Силич М.П., Сарин К.С.</b>	
Сравнение применения локальных и глобальных признаков рукописной подписи для аутентификации пользователя .....	30
<b>Сущенко С.П., Приступа П.В., Михеев П.А., Поддубный В.В.</b>	
Оценка эффективности прямой коррекции ошибок протокольных блоков данных транспортного протокола .....	35
<b>Исакова А.И., Корилов А.М., Левин С.М.</b>	
Многокритериальный выбор на основе матрицы критериев при оценке эффективности программного обеспечения информационных систем .....	40
<b>Мельман А.С., Петров П.О., Шелупанов А.А., Аристов А.В., Похолков Ю.П.</b>	
Встраивание информации в JPEG-изображения с маскировкой искажений в частотной области .....	45
<b>Хан К.И., Кажмаганбетова М.А., Зайченко Т.Н.</b>	
Концептуальная модель комплекса программ для проектирования акустико-эмиссионной системы диагностики .....	51
<b>Бардамова М.Б., Буймов А.Г., Тарасенко В.Ф.</b>	
Способы адаптации алгоритма прыгающих лягушек к бинарному пространству поиска при решении задачи отбора признаков .....	57
<b>Катаев М.Ю., Крылов М.О., Гейко П.П.</b>	
Программа сравнения изображений вегетационного индекса по данным, полученным со спутников и беспилотного летательного аппарата .....	63
<b>Катаев М.Ю., Орлова В.В.</b>	
Анализ данных событий социальных сетей .....	71
<b>Буймов А.Г., Похолков Ю.П., Тарасенко В.Ф.</b>	
Формула Глейчера в решении проблемы плагиата и управления научно-исследовательской работой студентов .....	78
<b>Носова А.Д., Газизов Т.Т., Стась А.Н., Шелупанова П.А.</b>	
Применение информационных систем для учета и анализа данных о сотрудниках .....	85

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

<b>Хайченко И.А., Бабенко В.В., Нефедов Ю.В., Ань Ту Ха</b>	
Алгоритм снижения дополнительных потерь в асинхронных электроприводах на производствах со статическими регуляторами мощности .....	93
<b>Шурыгин Ю.А., Зайченко Т.Н., Аристов А.В.</b>	
Время-импульсный способ управления однофазным полумостовым инвертором при формировании тока нагрузки гармонической формы .....	99
<b>Требования</b> .....	103

**Примечание:**

В журнале «Доклады ТУСУР, 2020, том 23, № 3» в статье **В.С. Черного, А.Ю. Абраменко, О.Г. Пономарева «Алгоритм измерения искажений в сигнале с квадратурной фазовой манипуляцией (QPSK)»** по вине авторов на 50 странице допущена неточность в последнем абзаце статьи (перед списком литературы).

**Напечатано:**

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект «Разработка программно-аппаратного комплекса для формирования тестовых сигналов стандарта 5G NR»).

**Правильным считать следующий вариант:**

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по Соглашению с Минобрнауки России от «26» ноября 2019 г. № 075-11-2019-031 (проект «Разработка программно-аппаратного комплекса для формирования тестовых сигналов стандарта 5G NR»).

---

**Contents**
**ELECTRONICS, RADIO ENGINEERING, AND COMMUNICATIONS**

<b>Karnyshev V.I., Avdzeiko V.I., Rulevskiy V.M., Pascal E.S., Krakovskiy V.A., Akulinichev Yu.P., Bozhkov V.G.</b>	
Comparative analysis of object detection systems using the reflection or reradiation of radio-, acoustic or electromagnetic waves .....	7
<b>Mishchenko N.I., Movchan A.K., Kapustin V.V., Chaldina E.S., Akulinichev Yu.P., Bozhkov V.G.</b>	
Control unit for active-pulse television systems .....	16

**CONTROL, COMPUTER SCIENCE, AND INFORMATICS**

<b>Popov K.V., Shelupanov A.A.</b>	
New challenges: stochastic threats to national security .....	23
<b>Andreevskih D.A., Razboynikov S.D., Silich M.P., Sarin K.S.</b>	
Comparing the use of local and global features of handwritten signatures for user authentication .....	30
<b>Sushchenko S.P., Pristupa P.V., Mikheev P.A., Poddubny V.V.</b>	
Evaluation of the efficiency of forward error correction of transport protocol data blocks .....	35
<b>Isakova A.I., Korikov A.M., Levin S.M.</b>	
Multicriteria choice based on a matrix of criteria in assessing the software efficiency of information systems .....	40
<b>Melman A.S., Petrov P.O., Shelupanov A.A., Aristov A.V., Pokholkov Y.P.</b>	
Embedding information into JPEG images with distortion masking in frequency domain .....	45
<b>Khan K.I., Kazhmaganbetova M.A., Zaychenko T.N.</b>	
Conceptual model of software to develop acoustic emission diagnostic system .....	51
<b>Bardamova M.B., Buymov A.G., Tarasenko V.F.</b>	
Methods for adapting the leaping frog algorithm to the binary search space when solving the feature selection problem .....	57
<b>Kataev M.Yu., Krylov M.O., Geiko P.P.</b>	
Software to compare images of the vegetation index obtained by satellite devices and unmanned aircraft .....	63
<b>Kataev M.Yu., Orlova V.V.</b>	
Social media event data analysis .....	71
<b>Buymov A.G., Pokholkov Yu.P., Tarasenko V.F.</b>	
Gleicher's formula in solving the problem of plagiarism and managing students' research work .....	78
<b>Nosova A.D., Gazizov T.T., Stas A.N., Shelupanova P.A.</b>	
Application of information systems for accounting and analysis of employee data .....	85

**ELECTRICAL ENGINEERING**

<b>Khaychenko I.A., Babenko V.V., Nefedov Yu.V., Anh Tu Ha</b>	
Algorithm for reducing additional losses in asynchronous electric drives in plants with static power regulators .....	93
<b>Shurygin Yu.A., Zaichenko T.N., Aristov A.V.</b>	
Time-pulse method of single-phase half-bridge inverter control in formation of the harmonic load current .....	99
<b>Manuscript requirements</b> .....	103

**ЭЛЕКТРОНИКА,  
РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ**



УДК 608.3: 621.396.96, 534.6.08, 621.373.826

**В.И. Карнышев, В.И. Авдзейко, В.М. Рулевский, Е.С. Паскаль,  
В.А. Краковский, Ю.П. Акулиничев, В.Г. Божков**

## **Динамика патентования в области обнаружения и локации объектов за счет отражения или переизлучения радио-, акустических и оптических волн**

Системы обнаружения объектов искусственного и естественного происхождения широко используются при реализации методов дистанционного зондирования. В этом случае используются сигналы различных диапазонов частот: радиолокационного, акустического и оптического. Приводятся результаты патентного анализа подобных систем обнаружения для основных групп Международной патентной классификации G01S13, G01S15, G01S17. Анализ проведён с использованием базы данных изобретений Патентного ведомства США (USPTO), зарегистрированных с 2015 по 2019 г. Основная цель исследования заключалась в сравнении тенденций развития систем обнаружения объектов, использующих отражение или переизлучение радио-, акустических или электромагнитных волн. Показано, что предложенный подход позволяет выявлять перспективные (прорывные) технические направления, а также формировать прогнозные оценки их развития в краткосрочной перспективе.

**Ключевые слова:** патентный анализ, Международная патентная классификация, патенты США, системы обнаружения, радиолокация, акустика, лазеры.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-7-15

Исследователи, разработчики, проектировщики постоянно решают проблему выбора эффективных и экономически оправданных путей решения технических проблем. В этом им, помимо опыта и интуиции, существенную помощь оказывают методы прогнозирования, среди которых широко используются аналитические подходы с использованием библиометрической и патентной информации [1].

Однако в отечественной научной периодике число публикаций о практических результатах по прогнозированию развития конкретных технических (технологических) направлений на основе подобной информации заметно уступает количеству иностранных статей на данную тему. Одной из основных причин этого является кардинальное (иногда на порядок и больше) отставание Российской Федерации от мировых лидеров (Китай, США, Южная Корея, Япония) по ежегодному количеству подаваемых заявок и полученных патентов. К тому же среди российских разработчиков и тех, кто принимает решения, существует недооценка патентной информации как источника данных о перспективных (прорывных) технических направлениях.

В ряде зарубежных исследований утверждается, что до двух третей запатентованных изобретений в той или иной форме определяют контуры будущего научно-технического прогресса. Кроме того, особо отмечается положительная корреляция между динамикой патентования технических решений и улучшением производственно-экономических показателей. При этом временной интервал прогнозирования динамики выдачи патентов и соответствующего технологического тренда выбирают равным среднестатистическому периоду практического внедрения изобретений.

В настоящее время известны следующие подходы к использованию патентной и библиометриче-

ской информации для решения задач технического (технологического) прогнозирования:

– автоматический сбор патентных данных на базе Derwent Innovations Index [2];

– подсчёт частоты употребления терминов [3] и автоматическое извлечение терминов из полнотекстовых описаний патентов [4] для анализа технологических тенденций;

– использование патентных карт, создаваемых с помощью базы данных USPTO [5, 6];

– анализ рефератов патентов по ключевым словам [7], анализ рефератов большой совокупности научных публикаций [8], объединение патентов с аналогичными характеристиками в кластеры [9, 10], анализ больших данных (сбор, хранение, анализ и представление результатов) [11];

– аппроксимация временных рядов патентов с помощью линейных, квадратичных, логистических и S-кривых [12];

– отображение конкретных технологий в виде временных рядов и их последующий анализ с использованием свёрточных нейронных сетей [13];

– текстуальный анализ основных разделов патентов на уровне подклассов и подгрупп Международной патентной классификации (МПК) с применением системы AttentionXML на основе базы данных USPTO-3M [14];

– использование для патентной классификации МПК и теории старения патентов [15], применение ключевых слов и сети долгосрочной оперативной памяти [16], фильтрация патентов и присвоение класса каждому патентному документу [17].

В данной работе представлены некоторые результаты исследования, проводимого в рамках проекта РФФИ 18-07-01270 «Создание методики выявления и прогнозирования перспективных направлений развития радиоэлектронных систем, использу-



ющих отражение и вторичное излучение радио-, акустических и электромагнитных волн в космической, авиационной и наземной технике на базе патентного анализа» (2018–2020).

Для выявления перспективных направлений развития систем радиолокационного (РЛ), акустического и лазерного зондирования авторами был использован метод патентного анализа, описанный ими в предыдущих работах [18, 19]. Суть этого метода заключается в формировании по ключевым словам (словосочетаниям) баз данных полнотекстовых описаний патентов в соответствующих подгруппах МПК, в последующем построении временных рядов патентов для выбранного интервала времени и в заключительном анализе динамики количества патентов, зарегистрированных в отношении исследуемых систем.

Подобный патентный анализ может проводиться с использованием информации, содержащейся в базах данных международных организаций, таких, например, как Всемирная организация интеллектуальной собственности (WIPO) и Европейское патентное ведомство (ЕРО), или национальных патентных ведомств. При этом выбор патентного ведомства обусловлен следующими основными критериями: достаточная (для ретроспективного анализа) глубина поиска, доступность полнотекстовых описаний патентов (на языке, пригодном для анализа), возможность автоматизации процесса выборки патентов из базы данных, сравнительно большой объём и репрезентативность патентной информации.

В соответствии с этим в качестве первичного источника данных было выбрано Патентное ведомство США (USPTO), полностью удовлетворяющее указанным требованиям. Во-первых, USPTO является общепризнанным и авторитетным ведомством, в котором патентуется большинство мировых технологических лидеров. Кроме того, Патентное ведомство США предоставляет открытый доступ более чем к шести миллионам полнотекстовых описаний патентов в html-формате начиная с 1976 г. и позволяет формировать специализированные патентные базы данных в автоматическом режиме.

В соответствии с Международной патентной классификацией, системы, предназначенные для дистанционного обнаружения объектов, реализуются с использованием отражения или вторичного излучения радиоволн (группа МПК G01S13), акустических волн (G01S15) или электромагнитных волн (G01S17). Согласно 18-й редакции МПК, первые системы (условно радиолокационные) классифицируются в рамках 62 подгрупп (от G01S13/00 до G01S13/95), акустические системы – в рамках 26 подгрупп (от G01S15/00 до G01S15/96), а лазерные системы, в свою очередь, описываются 19 подгруппами (от G01S17/00 до G01S17/95) МПК.

В данной статье проводится сравнительный анализ развития указанных систем обнаружения и выявление перспективных направлений путём исследования динамики регистрации патентов США

на изобретения в соответствующих подгруппах иерархической системы Международной патентной классификации.

#### Анализ радиолокационных, акустических и лазерных систем

На рис. 1 приведены временные ряды с числом патентов США, зарегистрированных в трёх анализируемых группах МПК с 1976 по 2019 г. Общее число неповторяющихся патентов, относящихся к какой-либо из 62 подгрупп G01S13 и выданных Патентным ведомством США за период в 44 года, составляет 14 086 ед. Аналогичное число для акустических систем в 26 подгруппах G01S15 равно 6593 ед., а для лазерных систем в 19 подгруппах G01S17 – 6 748 ед.

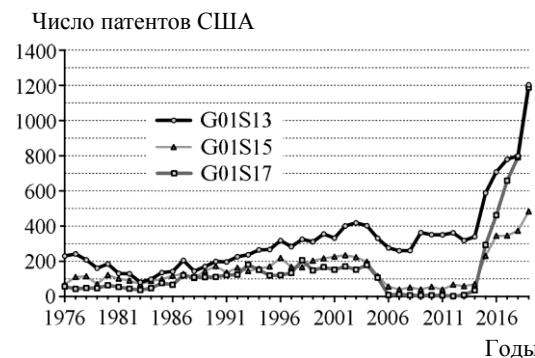


Рис. 1. Динамика выдачи патентов США в группах МПК G01S13, G01S15, G01S17 с 1976 по 2019 г.

Снижение количества патентов, зарегистрированных с 2005 по 2014 г., особенно в группах G01S15 и G01S17, объясняется целым рядом причин: общим снижением численности патентов США, выданных с 2005 по 2006 г., внутренней реорганизацией процесса регистрации патентов в USPTO, а также регулярными изменениями, вносимыми в Международную патентную классификацию, а именно, ликвидацией устаревших подгрупп, объединением или переносом существующих подгрупп, а также добавлением новых, ранее не существовавших.

Учитывая этот факт, а также среднее время жизни патента на изобретение порядка шести-семи лет, для выявления тенденций технического развития в ходе сравнительного анализа временной интервал можно ограничить пятью годами (2015–2019). На рис. 2 приведены гистограммы распределения патентов США за указанный период времени.

Таким образом, с 2015 по 2019 г. было выдано 4 077 патентов, связанных с радиолокационными системами, 1 777 патентов, относящихся к использованию волн акустического диапазона, и 3 391 патент – на системы, использующие лазерное излучение. При этом по сравнению с 2015 г. абсолютное число патентов в 2019 г. в группе G01S13 возросло примерно в 2 раза, в группе G01S15 – в 2,1 раза, а в группе G01S17 – более чем в 4 раза. Тогда как для интервала анализа в 10 лет (2010–2019) аналогичный показатель роста для условных радиолокационных, аку-

стических и лазерных систем составит 3,4; 8,8 и 169,5 раза соответственно.

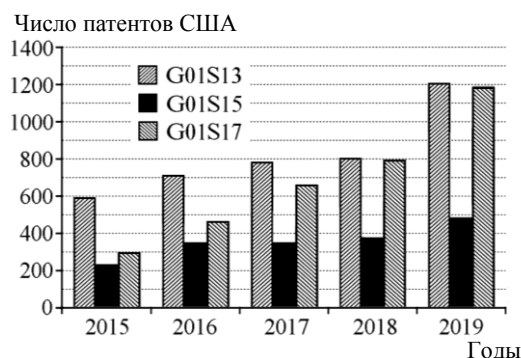


Рис. 2. Динамика выдачи патентов США в трёх группах МПК с 2015 по 2019 г.

Приведенные количественные данные о регистрации изобретений в Патентном ведомстве США показывают, что все три технических направления характеризуются положительной динамикой роста на десятилетнем временном интервале. При этом очевидно, что в количественном отношении разра-

ботке радиолокационных и лазерных систем уделяется большее внимание, чем разработке акустических (гидроакустических) систем. Причём лазерные системы демонстрируют наиболее резкий рост количества патентов на изобретения, выданных за десять лет – с 2010 по 2019 г. Подобный тренд позволяет утверждать о перспективности разработки подобных систем, по крайней мере в 2020–2022 гг.

#### Сравнительный анализ основных направлений применения радиолокационных, акустических и лазерных систем

В соответствии с МПК условно радиолокационные, акустические и лазерные системы по своему назначению подразделяются на системы с использованием отражения, следящие системы, системы с использованием вторичного излучения, комбинационные системы и системы, специально предназначенные для особых применений.

Для оценки перспектив развития перечисленных типов систем был проведен анализ динамики выдачи патентов США за период с 2015 по 2019 г. Количественные результаты анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Динамика выдачи патентов США с 2015 по 2019 г.

Тип систем	Подгруппы МПК	Годы					Всего
		2015	2016	2017	2018	2019	
Системы, использующие принцип отражения волн							
Радиолокационные	G01S13/02 – G01S13/64	275	338	378	382	544	1917
Акустические	G01S15/02 – G01S15/62	65	110	134	145	192	646
Лазерные	G01S17/02 – G01S17/58	182	319	488	596	894	2 479
Следящие системы							
Радиолокационные	G01S13/66 – G01S13/72	31	50	65	44	91	281
Акустические	G01S15/66	3	5	9	6	12	35
Лазерные	G01S17/66	20	56	60	70	97	303
Системы, использующие переизлучение волн							
Радиолокационные	G01S13/74 – G01S13/84	66	98	104	87	120	475
Акустические	G01S15/74	2	4	8	3	6	23
Лазерные	G01S17/74	5	12	10	10	6	43
Комбинированные системы							
Радиолокационные	G01S13/87	39	63	75	77	149	403
Акустические	G01S15/87	13	32	34	36	51	166
Лазерные	G01S17/87	14	29	51	52	80	226
Системы специального назначения							
Радиолокационные	G01S13/88 – G01S13/95	276	438	488	523	833	2 558
Акустические	G01S15/88 – G01S15/96	164	257	257	288	383	1 349
Лазерные	G01S17/88 – G01S17/95	174	238	370	473	755	2 010

#### Системы, использующие принцип отражения волн

В соответствии с данными табл. 1 очевидно, что среди систем, использующих принцип отражения волн, более динамично развиваются лазерные системы. Начиная с 2017 г. количество патентов США, ежегодно выдаваемых на эти системы, начали превосходить число патентов на радиолокационные системы; при этом в 2019 г. на них было выдано в 1,3 раза больше патентов, чем на радиолокационные, и в 3,8 раза больше, чем на акустические системы. Следовательно, в краткосрочной (2–3 года) перспективе разработка лазерных систем является более

перспективным техническим направлением среди систем, использующих принцип отражения волн.

Согласно Международной патентной классификации, группы G01S13/02, G01S15/02 и G01S17/02, описывающие системы, в которых используется принцип отражения радиоволн, акустических волн и электромагнитных волн (лазерное излучение), соответственно, подразделяются на следующие виды систем:

а) системы для определения местоположения цели (подгруппы G01S13/06, G01S15/06, G01S17/06), в том числе:

– для измерения только дальности (G01S13/08, G01S15/08, G01S17/08);

– с использованием передачи прерывистых импульсно-модулированных колебаний (G01S13/10, G01S15/10, G01S17/10);

– с использованием передачи непрерывных немодулированных колебаний и колебаний, модулированных по амплитуде, частоте или фазе колебаний (G01S13/32, G01S15/32, G01S17/32);

– с одновременным измерением дальности и других координат (G01S13/42, G01S15/42, G01S17/42);

– косвенным определением данных местоположения (G01S13/46, G01S15/46, G01S17/46);

б) измерительные системы, основанные на относительном перемещении цели (G01S13/50, G01S15/50, G01S17/50).

В табл. 2 представлены данные о количестве патентов, которые были зарегистрированы за пять лет, с 2015 по 2019 г., для радиолокационных

(G01S13), акустических (G01S15) и лазерных (G01S17) систем.

Для краткости в табл. 2 используется условное обозначение подгрупп. Так, например, обозначению G01S1N/06 соответствуют подгруппы МПК G01S13/06, G01S15/06, G01S17/06. В столбцах этой таблицы приведено число патентов, равное суммарному количеству патентов США, которые принадлежат к основной подгруппе и к соответствующим ей подгруппам нижнего уровня. Например, подгруппа МПК G01S13/32 является основной по отношению к подгруппам G01S13/34, G01S13/36, G01S13/38 и G01S13/40, находящимся ниже неё в иерархической классификации. За пять лет в этих подгруппах было выдано 78, 368, 27, 30 и 6 патентов соответственно, что в сумме составляет 509 ед. Но поскольку один и тот же патент может принадлежать нескольким подгруппам, то после устранения дублирования суммарное число патентов уменьшилось до 458 ед.

Таблица 2

Количество патентов США для систем, использующих принцип отражения волн

Тип систем	Системы для определения местоположения цели (G01S1N/06)	Для измерения только дальности (G01S1N/08)	При передаче прерывистых импульсно-модулированных колебаний (G01S1N/10)	При передаче непрерывных немодулированных колебаний (G01S1N/32)	Для измерения дальности и других координат (G01S1N/42)	Для косвенного определения местоположения (G01S1N/46)	Измерительные системы (G01S1N/50)
	1	2	3	4	5	6	7
Радиолокационные	1273	834	264	458	381	126	611
Акустические	332	218	111	26	63	43	109
Лазерные	1 878	1 183	543	116	638	140	232

Из табл. 2 следует, что по количеству патентов системы (G01S1N/06), использующие принцип отражения волн для определения местоположения цели, в разы опережают измерительные системы (G01S1N/50), основанные на относительном перемещении цели. Причём это характерно для всех трёх диапазонов волн.

Так, для радиолокационных систем этот разрыв составляет примерно 2 раза, для акустических – 3 раза, а для лазерных – почти 8 раз. Это говорит о большей актуальности и перспективности технических решений для определения местоположения объектов по сравнению с измерением относительного перемещения цели.

При этом общее количество патентов, выданных за пять лет на лазерные системы определения местоположения цели, превосходит этот показатель для акустических и радиолокационных систем примерно в 5,7 и 1,5 раза соответственно.

Кроме того, в 2019 г. количество патентов в подгруппе G01S17/06 увеличилось в 3,5 раза по сравнению с 2015 г.

В соответствии с МПК системы для определения местоположения цели применяются для измерения только дальности (G01S1N/08), одновременного измерения дальности и других координат (G01S1N/42), а также для косвенного определения данных местоположения (G01S1N/46). Суммарное (с устранением дублирования) число патентов США, выданных в

этих трёх подгруппах для радиолокационных, акустических и лазерных систем за пять лет, равно 1 186, 292 и 1 686 ед., соответственно. Таким образом, лазерные системы определения местоположения цели развиваются более интенсивно, чем радиолокационные, и, тем более акустические. Причём наибольшее число патентов – 1 183 ед. – было выдано в подгруппе G01S17/08, относящейся к техническим решениям, связанным с одновременным измерением лазерными системами дальности и других пространственных координат цели.

В свою очередь, системы для обнаружения местоположения цели при измерении только дальности реализуются с использованием передачи прерывистых импульсно-модулированных колебаний (G01S1N/10) или с использованием передачи непрерывных немодулированных колебаний и колебаний, модулированных по амплитуде, частоте или фазе колебаний (G01S1N/32).

В соответствии с табл. 2 число патентов (543 ед.), выданных в подгруппе G01S17/10 за пять лет, по количеству патентов опережают радиолокационные и акустические системы в 2 и 4,9 раза соответственно. Тогда как в случае излучения немодулированных непрерывных колебаний или передачи модулированных сигналов радиолокационные системы (G01S13/32) по числу патентов (458 ед.) превосходят как акустические (в 17,6 раза), так и лазерные системы (в 3,9 раза).

### Следящие системы

В табл. 1 приведены данные о количестве патентов США на радиолокационные, звуколокационные и лазерные следящие системы, зарегистрированные с 2015 по 2019 гг. Необходимо отметить, что за пятилетний (2015–2019 г.) период на эти системы приходилось 87, 92 и 98% от общего числа патентов, выданных на следящие системы за десятилетний период (2010–2019 гг.). Таким образом, наиболее интенсивно эти системы начали развиваться начиная с 2015 г.

Несмотря на то, что количество патентов на радиолокационные системы выросло втрое, с 31 ед. в 2015 г. до 91 ед. в 2019 г., характер изменения нельзя считать регулярным. Учитывая провал в числе патентов (44 ед.) в 2018 г., однозначный вывод о перспективах дальнейшего развития радиолокационных следящих систем в ближайшие 2–3 года можно будет сделать только после получения дополнительной информации о динамике патентования в 2020–2021 гг. Устойчивый положительный тренд демонстрируют следящие лазерные системы. Так, с двадцати патентов в 2015 г. число зарегистрированных технических решений в подгруппе G01S17/66 выросло в 2019 г. до 97 ед. В отличие от первых двух, звуколокационные следящие системы развиваются гораздо менее интенсивно. Так, в подгруппе G01S15/66 характер изменения количества патентов аналогичен случаю радиолокационных систем, но при существенно меньших (примерно на порядок) абсолютных значениях: 3 патента в 2015 г. и 12 патентов в 2019 г.

Таким образом, анализ динамики выдачи патентов позволяет утверждать, что перспективными, конкурирующими направлениями развития следящих систем следует считать радиолокационные и лазерные системы. Причём стабильный, устойчивый рост числа патентов, регистрируемых в отношении следящих лазерных систем, позволяет отдать им предпочтение в краткосрочной (2–3 года) перспективе.

### Системы, использующие переизлучение волн

Данные о количестве патентов на радиолокационные, акустические и лазерные системы, в которых используется переизлучение волн, приведены в табл. 1 за период с 2015 по 2019 гг. Несмотря на не совсем явный тренд в изменении числа патентов, радиолокационные системы в количественном отношении значительно превосходят два других типа систем. За пять лет на радиолокационные системы было выдано 475 патентов, что в 11 и почти в 20 раз превосходит аналогичное количество для лазерных и акустических систем. Это объясняется тем, что именно радиолокационный диапазон в полной мере позволяет реализовать эффект переизлучения. Поэтому можно сделать вывод о том, что в ближайшие годы системы, использующие переизлучение радиоволн, продолжат активно развиваться.

### Комбинированные системы

Что касается комбинированных РЛ систем (G01S13/87), систем гидроакустических станций (G01S15/87) и комбинаций систем с использованием

электромагнитных волн, иных чем радиоволны (G01S17/87), то все они демонстрируют положительную динамику роста на интервале 2015–2019 гг., несмотря на некое плато в 2017–2018 гг., когда число патентов увеличилось всего на 1–2 патента.

В свою очередь, в 2019 г. количество патентов на радиолокационные системы, по сравнению с 2018 г., выросло почти в 1,9 раза, а на акустические и лазерные – в 1,4 и 1,5 раза соответственно. Это позволяет утверждать, что в ближайшие годы комбинированные радиолокационные системы будут развиваться более активно по сравнению с комбинированными акустическими и лазерными системами.

### Системы, предназначенные для особого применения

По общему числу патентов (5 420 ед. после устранения дублирования) системы, которые предназначены для особого применения в радио-, оптическом и акустическом диапазонах (см. табл. 1), превосходят более чем на 650 патентов системы, использующие принцип отражения волн (4 761 ед. без дубликатов). Кроме того, в 2019 г. число патентов США, относящихся к радиолокационным, акустическим и лазерным системам для особого применения, возросло соответственно в 3; 2,3 и 4,3 раза.

Необходимо отметить, что для всех трёх типов систем характерен нарастающий тренд в количестве выданных патентов, особенно для лазерных систем. Более высокие темпы роста числа патентов для систем особого применения, использующих оптический диапазон волн, позволяют предположить, что в ближайшие годы эти системы по количеству патентов могут выйти в лидеры. В свою очередь, акустические системы демонстрируют менее впечатляющие результаты по сравнению с двумя другими типами систем. Следовательно, можно предположить, что в ближайшие 2–3 года наиболее перспективными направлениями развития систем специального назначения будут лазерные и радиолокационные системы.

Кроме того, в 2019 г. количество патентов в подгруппе G01S17/06 увеличилось в 3,5 раза по сравнению с 2015 г.

### Области применения исследуемых систем

Всего, с 2015 по 2019 г. Американским патентным ведомством было выдано 4 077 патентов, связанных с радиолокационными системами (группа G01S13), 1 777 патентов, относящихся к использованию волн акустического диапазона (G01S15), и 3 391 патент – на системы, использующие лазерное излучение (G01S17). В табл. 3 в процентном отношении показано количество патентов США, зарегистрированных за пять лет, для трёх типов систем различного назначения в соответствии с Международной классификацией. Для большей наглядности эти данные представлены в виде круговых диаграмм (рис. 3).

Очевидно, что в наибольшей степени радиолокационные, акустические и лазерные системы используются в системах, предназначенных для особого

го применения, и в системах, использующих принцип отражения волн различного диапазона. В силу особенностей акустических и оптических сигналов, а также природы зондируемых объектов, системы, соответствующие группам МПК G01S15 и G01S17, практически не используют эффект переизлучения.

Комбинированные системы занимают примерно одинаковую долю от общего числа патентов для всех трёх групп МПК. Доля следящих систем в лазерных и радиолокационных системах примерно одинакова, тогда как в акустическом диапазоне это направление развивается слабо.

Таблица 3

Соотношение числа патентов США в отдельных областях применения к общему числу патентов

Тип систем	Системы, использующие принцип отражения волн (%)	Следящие системы (%)	Системы, использующие переизлучение волн (%)	Комбинированные системы (%)	Системы, предназначенные для особого применения
Радиолокационные	34	5	8,4	7,2	45,4
Акустические	29,1	1,6	1	7,5	60,8
Лазерные	49	6	0,8	4,5	39,7



Рис. 3. Круговые диаграммы соотношения числа патентов США для пяти областей применения к общему числу патентов в группах G01S13, G01S15 и G01S17

### Выводы

Основываясь на проведенном анализе динамики выдачи патентов США на изобретения с 2015 по 2019 г. в трёх группах Международной патентной классификации (G01S13, G01S15 и G01S17), можно сделать следующие выводы:

1. Анализ динамики выдачи патентов на изобретения в интервале 5–10 и более лет позволяет проводить сравнение тенденций развития различных технических направлений, выявлять среди них перспективные или прорывные, а также формировать прогнозные оценки их развития по крайней мере в краткосрочной перспективе.

2. За пять лет (2015–2019) наибольшее развитие в группах МПК G01S13, G01S15 и G01S17 получили системы, предназначенные для особого применения, а также системы, использующие принцип отражения волн.

3. Среди систем, использующих принцип отражения волн, лазерные (G01S17) системы определения местоположения цели (в частности, системы одновременного измерения дальности и других пространственных координат цели) имеют наилучшие количественные показатели и могут рассматриваться в качестве наиболее перспективных на ближайшие 2–3 года.

4. В системах обнаружения местоположения цели с использованием передачи прерывистых им-

пульсно-модулированных колебаний лазерные системы значительно опережают радиолокационные (G01S13) и акустические (G01S15) системы.

5. В системах обнаружения местоположения цели в случае излучения немодулированных непрерывных колебаний или передачи модулированных сигналов радиолокационные системы многократно превосходят как акустические, так и лазерные системы.

6. Наиболее перспективными, конкурирующими направлениями развития следящих систем следует считать радиолокационные и лазерные системы, причём последним, судя по динамике патентования, следует отдать предпочтение в ближайшие годы.

7. Для систем, использующих переизлучение, основной краткосрочный тренд развития будет связан с дальнейшим совершенствованием только радиолокационных систем.

8. Наиболее интенсивно системы, предназначенные для особого применения, будут развиваться в ближайшие годы преимущественно в классе лазерных и радиолокационных систем.

Данное исследование проведено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках выполнения проекта РФФИ № 18-07-01270А «Создание методики выявления и прогнозирования перспективных направлений развития радиоэлектронных систем, использу-

ющих отражение и вторичное излучение радио-, акустических и электромагнитных волн в космической, авиационной и наземной технике на базе патентного анализа».

#### Литература

1. Kim J. Technology trends analysis and forecasting application based on decision tree and statistical feature analysis / J. Kim, M. Hwang, Do-Heon Jeong, H. Jung // Expert Systems with Applications. – 2012. – Vol. 39. – P. 12618–12625.
2. Quan Z. Design and Implementation of Patent Data Automatic Acquisition System / Z. Quan, D. Jing, L. Bohan // Proceedings of the International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA). – 2018. – P. 395–399.
3. Segev A. Analysis of Technology Trends Based on Diverse Data Sources / A. Segev, S. Jung, S. Choi // IEEE Transactions on Services Computing. – 2015. – Vol. 8, No. 6. – P. 903–915.
4. Extraction of Characteristic Terms from Patent Documents for Technical Trend Analysis. / K. Takano, M. Tanaka, H. Sakai, R. Kitajima, T. Ota, C. Tanabe, H. Sakaji // Proceedings of the 8th International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI). – 2019. – P. 667–672.
5. Chang D.S. Developing a novel patent map to explore R&D directions and technical gaps for thin-film photovoltaic industry / D.S. Chang, C.H. Kao // Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. – 2009. – P. 59–63.
6. Xingwang W. A case study of technology innovation approach: The construction of technology forecasting system / W. Xingwang, T. Yanjie // Proceedings of the 2012 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. – 2012. – Vol. 1. – P. 150–153.
7. Patent abstract analysis on Chinese big data / Z. Yang, Z. Zhang, S. Zhang, J. Wang, H. Lin, B. Zeng // Proceedings of the 13th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD). – 2017. – P. 2116–2122.
8. Boekel R.C. Exploring the Nanotechnology Landscape for Competitive Advantage Using SAO-Mining / R.C. Boekel, S.W. Cunningham, X. Wang // Proceedings of the 2017 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). – 2017. – P. 1–11.
9. Agglomerative hierarchical Clustering technique for partitioning patent dataset / Smarika, N. Mattas, P. Kalra, D. Mehrotra // Proceedings of the 4th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (ICRITO) (Trends and Future Directions). – 2015. – P. 1–4.
10. Patent search and trend analysis / A.M. Supraja, S. Archana, S. Suvetha, T.V. Geetha // Proceedings of the 2015 IEEE International Advance Computing Conference (IACC). – 2015. – P. 501–506.
11. Seo W. Big Data Framework for Analyzing Patents to Support Strategic R&D Planning / W. Seo, N. Kim, S. Choi // Proceedings of the IEEE 14th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 14th International Conference on Pervasive Intelligence and Computing, 2nd International Conference on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress (DASC / PiCom / DataCom / CyberSciTech). – 2016. – P. 746–753.
12. Lu-Cheng H. Research on technological trajectories based on patent documents and related empirical study / H. Lu-Cheng, L. Yan // Proceedings of the 2011 International Conference on Management Science & Engineering, 18th Annual Conference Proceedings. – 2011. – P. 988–993.
13. Zexi X. Long-Term Trend Prediction Algorithm Based on Neural Network for Short Time Series / X. Zexi, Z. Haiyang, M. Yue // Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking. – 2019. – P. 1233–1238.
14. Multi-label Patent Classification using Attention-Aware Deep Learning Model / A.H. Roudsari, J. Afshar, C.C. Lee, W. Lee // Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp). – 2020. – P. 558–559.
15. Nguyen K. Hot topic detection and technology trend tracking for patents utilizing term frequency and proportional document frequency and semantic information / K. Nguyen, B.-J. Shin, S.J. Yoo // Proceedings of the 2016 International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp). – 2016. – P. 223–230.
16. Grawe M.F. Automated Patent Classification Using Word Embedding / M.F. Grawe, C.A. Martins, A.G. Bonfante // Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA). – 2017. – P. 408–411.
17. Semantic and Topological Patent Graphs: Analysis of Retrieval and Community Structure / A. Rattinger, J. Le Goff, R. Meersman, C. Guetl // Proceedings of the Fifth International Conference on Social Networks Analysis, Management and Security (SNAMS). – 2018. – P. 51–58.
18. Авдзейко В.И. Патентный анализ: выявление перспективных направлений развития радиоэлектронных систем, использующих отражение и вторичное излучение радиоволн. / В.И. Авдзейко, В.И. Карнышев, Р.В. Мещеряков, Е.С. Паскаль // Радиопромышленность. – 2019. – Т. 29, № 1. – С. 53–61.
19. Авдзейко В.И. Анализ перспективных направлений развития систем, использующих отражение или вторичное излучение акустических волн / В.И. Авдзейко, Е.С. Паскаль, В.И. Карнышев // Вопросы радиоэлектроники. – 2020. – № 7-8. – С. 6–13.

---

#### Карнышев Владимир Иванович

Канд. техн. наук, зав. патентно-информационным отделом Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
ORCID: 0000-0002-4751-8160  
Тел.: +7 (382-2) 70-15-83  
Эл. почта: pio@main.tusur.ru

#### Авдзейко Владимир Игоревич

Канд. техн. наук, н.с. ТУСУРА  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 70-15-83  
Эл. почта: avi@main.tusur.ru

#### Рулевский Виктор Михайлович

Д-р техн. наук, доцент, ректор ТУСУРА  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 51-05-30  
Эл. почта: rector@tusur.ru

**Паскаль Евгения Сергеевна**

Мл. н.с. каф. радиотехнических систем (РТС) ТУСУРа  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 41-38-89  
Эл. почта: evgeniapascal@gmail.com

**Краковский Виктор Адольфович**

Д-р техн. наук, доцент, профессор каф. СВЧКР ТУСУРа  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 70-15-18  
Эл. почта: office1@crystal.ru

**Акулиничев Юрий Павлович**

Д-р техн. наук, профессор каф. РТС ТУСУРа  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7-931-806-80-01  
Эл. почта: aupa1941@mail.ru

**Божков Владимир Григорьевич**

Д-р техн. наук, профессор, нач. отд. АО «НИИПП»  
Красноармейская ул., д. 99а, г. Томск, Россия, 634034  
Тел.: +7 (382-2) 55-50-89  
Эл. почта: bozhkov\_vg@niipp.ru

Karnyshev V.I., Avdzeiko V.I., Rulevskiy V.M., Pascal E.S.,  
Krakovskiy V.A., Akulinichev Yu.P., Bozhkov V.G.

**Comparative analysis of object detection systems using the reflection or reradiation of radio-, acoustic or electromagnetic waves**

The systems intended for detecting objects of artificial and natural origin are widely used while implementing the remote sensing methods. In this case, such different frequency ranges of sounding signals as radar, acoustic and optical ones are used. This article presents the results of patent analysis of the detection systems for such groups of the International Patent Classification as G01S13, G01S15, G01S17. The analysis has been carried out using the database of the United States Patent and Trademark Office (USPTO) inventions registered from 2015 to 2019. The aim of the given study was to compare the development trends of the object detection systems using the reflection or reradiation of radio-, acoustic or electromagnetic waves. It is shown that the proposed approach makes it possible to identify the promising (breakthrough) technological directions, as well as to form predictive estimates of their development in the short-term.

**Keywords:** patent analysis, International Patent Classification, US patents, detection systems, radar, acoustics, lasers.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-7-15

*References*

1. Kim J., Hwang M., Jeong Do-Heon, Jung H. Technology trends analysis and forecasting application based on decision tree and statistical feature analysis. *Expert Systems with Applications*, 2012, vol. 39, pp. 12618–12625.
2. Quan Z., Jing D., Bohan L. Design and Implementation of Patent Data Automatic Acquisition System. *Proceedings of the International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA)*, 2018, pp. 395–399.
3. Segev A., Jung S., Choi S. Analysis of Technology Trends Based on Diverse Data Sources. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2015, vol. 8, no. 6, pp. 903–915.
4. Takano K., Tanaka M., Sakai H., Kitajima R., Ota T., Tanabe C., Sakaji H. Extraction of Characteristic Terms from Patent Documents for Technical Trend Analysis. *Proceedings*

*of the 8th International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)*, 2019, pp. 667–672.

5. Chang D.S., Kao C.H. Developing a novel patent map to explore R&D directions and technical gaps for thin-film photovoltaic industry. *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2009, pp. 59–63.

6. Xingwang W., Yanjie T. A case study of technology innovation approach: The construction of technology forecasting system. *Proceedings of the 2012 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, 2012, vol. 1, pp. 150–153.

7. Yang Z., Zhang Z., Zhang S., Wang J., Lin H., Zeng B. Patent abstract analysis on Chinese big data. *Proceedings of the 2017 13th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD)*, 2017, pp. 2116–2122.

8. Boekel R.C., Cunningham S.W., Wang X. Exploring the Nanotechnology Landscape for Competitive Advantage Using SAO-Mining. *Proceedings of the 2017 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, 2017, pp. 1–11.

9. Smarika, Mattas N., Kalra P., Mehrotra D. Agglomerative hierarchical Clustering technique for partitioning patent dataset. *Proceedings of the 4th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (ICRITO) (Trends and Future Directions)*, 2015, pp. 1–4.

10. Supraja A.M., Archana S., Suvetha S., Geetha T.V. Patent search and trend analysis. *Proceedings of the 2015 IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, 2015, pp. 501–506.

11. Seo W., Kim N., Choi S. Big Data Framework for Analyzing Patents to Support Strategic R&D Planning. *Proceedings of the IEEE 14th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 14th International Conference on Pervasive Intelligence and Computing, 2nd International Conference on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech)*, 2016, pp. 746–753.

12. Lu-Cheng H., Yan L. Research on technological trajectories based on patent documents and related empirical study. *Proceedings of the 2011 International Conference on Management Science & Engineering 18th Annual Conference Proceedings*, 2011, pp. 988–993.

13. Zexi X., Haiyang Z., Yue M. Long-Term Trend Prediction Algorithm Based on Neural Network for Short Time Series. *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking*, 2019, pp. 1233–1238.

14. Roudsari A.H., Afshar J., Lee C.C., Lee W. Multi-label Patent Classification using Attention-Aware Deep Learning Model. *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)*, 2020, pp. 558–559.

15. Nguyen K., Shin B.-J., Yoo S.J. Hot topic detection and technology trend tracking for patents utilizing term frequency and proportional document frequency and semantic information. *Proceedings of the 2016 International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)*, 2016, pp. 223–230.

16. Grawe M.F., Martins C.A., Bonfante A.G. Automated Patent Classification Using Word Embedding. *Proceedings of the 2017 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, 2017, pp. 408–411.

17. Rattinger A., Le Goff J., Meersman R., Guetl C. Semantic and Topological Patent Graphs: Analysis of Retrieval and Community Structure. *Proceedings of the 2018 Fifth International Conference on Social Networks Analysis, Management and Security (SNAMS)*, 2018, pp. 51–58.

18. Avdzeiko V.I., Karnyshev V.I., Meshcheryakov R.V., Pascal E.S. *Patentnyj analiz: vyjavlenie perspektivnykh napravlenij razvitiya radioelektronnykh sistem, ispol'zujushhih otrazhenie i vtorichnoe izluchenie radiovoln* [Patent analysis: revealing the promising trends in the advancement of radio electronic systems using the reflection or reradiation of radio waves]. *Radio Industry*, 2019, vol. 29, no. 1, pp. 53–61 (in Russ.).

19. Avdzeiko V.I., Karnyshev V.I., Pascal E.S. *Analiz perspektivnykh napravlenij razvitiya sistem, ispol'zujushhih otrazhenie ili vtorichnoe izluchenie akusticheskikh voln* [Analysis of prospective directions for development of systems using reflection or secondary radiation of acoustic waves.]. *Issues of radio electronics*, 2020, no. 7-8, pp. 6–13 (in Russ.).

---

**Vladimir I. Karnyshev**

Candidate of Engineering Sciences  
Head of Patent Information Department  
Tomsk State University of Control Systems  
and Radioelectronics (TUSUR)  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
ORCID: 0000-0002-4751-8160  
Phone: +7 (382-2) 70-15-83  
Email: pio@main.tusur.ru

**Vladimir I. Avdzeyko**

Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Researcher TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 70-15-83  
Email: avi@main.tusur.ru

**Victor M. Rulevskiy**

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Rector TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 51-05-30  
Email: rector@tusur.ru

**Evgeniya S. Paskal**

Junior Researcher TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 41-38-89  
Email: evgeniapascal@gmail.com.

**Viktor A. Krakovskiy**

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of  
Microwave and Quantum Radio Engineering, TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 70-15-18  
Email: office1@crystal.ru

**Yuri P. Akulinichev**

Doctor of Engineering, Professor, Department of Radio  
Engineering Systems (RES) TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7-931-806-80-01  
Email: aupa1941@mail.ru

**Vladimir G. Bozhkov**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Head of Department, Research Institute  
of Semiconductor Devices  
99a, Krasnoarmeyskaya st., Tomsk, Russia, 634034  
Phone: +7 (382-2) 55-50-89  
Email: bozhkov\_vg@niipp.ru



УДК 621.397.4

**Н.И. Мищенко, А.К. Мовчан, В.В. Капустин,  
Е.С. Чалдина, Ю.П. Акулиничев, В.Г. Божков**

## **Блок управления активно-импульсных телевизионных систем**

Рассмотрены принципы действия активно-импульсных телевизионных систем, применяемых в роботизированных комплексах, дистанционно управляемых или автономных беспилотных аппаратах. Приводится структура устройства управления режимами работы, позволяющая в результате сканирования зоны наблюдения по дальности увеличить глубину дальности видимости и эффективность работы систем в различных условиях окружающей среды.

**Ключевые слова:** телевизионная система, обнаружение, измерение, дальность, информативные параметры.  
**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-16-20

В настоящее время активно-импульсные телевизионные системы (АИТВС) применяются в автоматизированных контрольно-измерительных устройствах, дистанционно управляемых и беспилотных аппаратах, роботизированных комплексах машинного зрения, видеонаблюдения, охраны и других средствах обеспечения безопасности объектов и жизнедеятельности людей [1, 2]. В зависимости от назначения АИТВС используются в космических, воздушных, наземных, подземных, надводных и подводных условиях окружающей среды. По применению и виду формируемых видеоданных телевизионные системы могут быть информационными, контрольно-измерительными или управляющими и выполнять обнаружение, определение параметров, распознавание, идентификацию объектов, обработку видеoinформации и формирование команд управления аппаратами и комплексами [3, 4].

Наиболее эффективным является использование телевизионных систем в роботизированных автоматических комплексах и автономных беспилотных аппаратах. Для автономного управления АИТВС получают и обрабатывают сигналы и видеoinформацию от объектов, находящихся в поле зрения систем, распознают объекты интереса и передают информацию на исполнительные устройства автоматических комплексов или беспилотных аппаратов.

### **Режимы работы систем**

Эффективность работы АИТВС зависит от условий наблюдения. При работе в различных сложных условиях системы должны обладать высоким диапазоном регулирования освещенности и чувствительности приемников и преобразователей оптических излучений в сигнал. Для адаптации к изменениям окружающей среды в блоке управления выполняется ручное или автоматическое изменение режимов работы систем. В зависимости от назначения и условий наблюдения применяются пассивный, активный непрерывный или активно-импульсный стробируемый режимы работы АИТВС.

Пассивный режим работы АИТВС без подсветки объектов активно-импульсным излучением применяется при нормальных, естественных уровнях освещенности поля зрения систем, позволяющих получить высокое качество наблюдаемых изображе-

ний, достоверность обнаружения, распознавания и точность измерения информативных параметров объектов.

Активный непрерывный режим работы АИТВС с подсветкой объектов наблюдения импульсным излучением применяется при низкой яркости объектов, не позволяющих обеспечить необходимое качество изображений [5].

В сложных условиях окружающей среды применяется стробируемый активно-импульсный режим работы, в котором выполняется подсветка поля зрения АИТВС импульсным излучением и временная селекция принимаемых сигналов излучения, отраженных от объектов. Для подсветки объектов применяются лазерные полупроводниковые излучатели или светодиоды со спектром, совпадающим с полосой пропускания окружающей среды и спектральной чувствительностью приемников излучения. Селекция и стробирование принятых сигналов выполняются приемниками на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП) или видеокамер, снабженных затвором, который открывается синхронно с посылкой импульсов излучения. Затвор открывается на время длительности импульса стробирования с задержкой, зависящей от дальности до объекта.

Если временная задержка равна времени прохождения излучения до объекта и обратно, то выполняются прием и селекция сигнала только от объекта интереса и окружающей его зоны наблюдения по дальности.

Глубина зоны наблюдения зависит от длительности импульсов стробирования, а дальность до объекта определяется величиной временной задержки импульсов стробирования относительно импульсов излучения. При уменьшении длительности импульсов стробирования повышаются разрешающая способность систем, точность измерения параметров, достоверность распознавания и идентификации объектов, но уменьшается глубина дальности видимости АИТВС. Для увеличения глубины дальности видимости системы применяются ручное или автоматическое изменение задержки импульсов стробирования и согласованный с ним прием сигналов излучения от объектов, находящихся в сканируемой по дальности зоне наблюдения [6, 7].

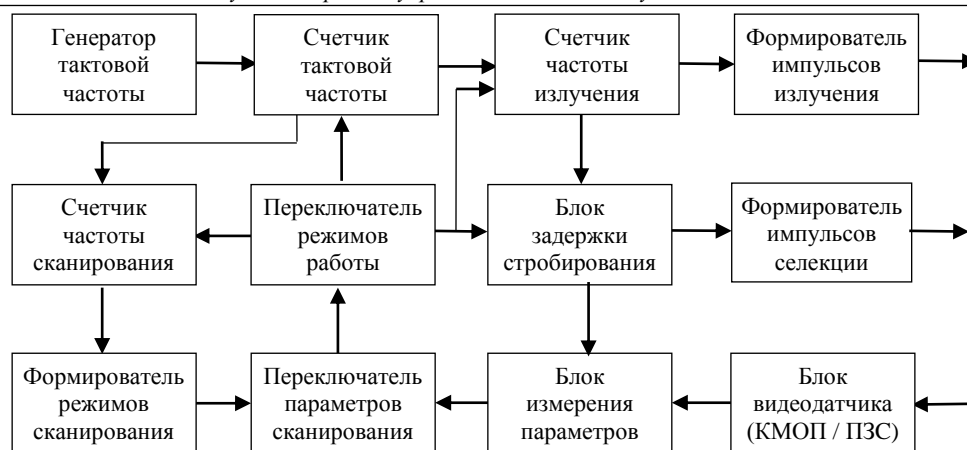


Рис. 1. Структурная схема блока управления

### Устройство блока управления

Структурная схема блока управления в ручном или автоматическом режиме работы АИТВС приведена на рис. 1. Генератор тактовой частоты задает максимальную частоту, необходимую для формирования минимальной длительности импульсов излучения подсветки объектов и стробирования принимаемых сигналов. Счетчик тактовой частоты, управляемый переключателем режимов работы системы, изменяет длительность импульсов подсветки, стробирования сигналов, дальность и размеры зон сканирования. Счетчик частоты излучения и формирователь импульсов излучения на логических элементах создают импульсы, управляющие блоком подсветки объектов. Блок задержки стробирования и логические элементы формирователя импульсов селекции сигналов излучения создают импульсы управления электронным затвором приемника сигналов, формирования размеров, глубины дальности видимости и другими параметрами зон наблюдения.

Счетчик частоты сканирования, логические элементы формирователя режима сканирования, переключателя параметров зон сканирования создают импульсы, управляющие скоростью, направлением сканирования и взаимным расположением зон наблюдения по дальности. Блок видеодатчика и блок измерения параметров определяют дальность, регистрируют координаты и другие информативные параметры объектов, находящихся в зонах наблюдения. Переключатель режимов, работающий в ручном или автоматическом режиме управления, изменяет параметры импульсов излучателя подсветки объектов, стробирования принимаемых сигналов и сканирования зон наблюдения по дальности. В автоматическом режиме обнаружение объектов выполняется по заданным уровням яркости объектов в поле зрения системы. После обнаружения объекта система изменяет параметры сканирования.

Блок управления АИТВС можно реализовать аппаратно-программными средствами на цифровых микросхемах средней, высокой или сверхвысокой степени интеграции, на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), цифровых сигнальных процессорах (ЦСП) или однокристальных

видеопроцессорах и видеосистемах. Необходимые для синхронизации работы блоков импульсы могут в автономном режиме работы формироваться в блоке управления или в синхронизированном режиме выделяться из сигналов видеокамеры селекторами синхроимпульсов.

В дистанционно-управляемом режиме работы телевизионной системы зона наблюдения может находиться на постоянной заданной дальности. Оператор, изменяя задержку импульсов стробирования, может перемещать зону наблюдения по глубине дальности видимости и совмещать ее с изображением интересующего объекта, наблюдаемого на мониторе. Изображение поля зрения системы, сформированное объективом на фотокатоде и экране ЭОП, передается через согласующую оптику на матрицу видеокамеры и преобразуется в электрический сигнал. В результате обработки сигнала и видеoinформации могут определяться параметры изображения объекта.

В автоматическом режиме работы систем выполняется дискретное периодическое увеличение или уменьшение задержки импульсов стробирования, смещение и сканирование зоны наблюдения по дальности. При появлении объекта в зоне наблюдения производится обнаружение и измерение параметров объекта. Автоматическое сканирование зоны наблюдения по дальности, обработка сигналов и видеoinформации в реальном режиме времени позволяют повысить глубину дальности видимости и быстродействие АИТВС по сравнению с ручным режимом управления. В сложных условиях окружающей среды, при частоте повторения импульсов подсветки 5 000 Гц, длительности импульсов стробирования сигналов 100–120 нс, размерах зон видимости 30–36 м дальность действия системы может достигать 200 м [8].

Автоматическое изменение задержки импульсов стробирования позволяет увеличить глубину дальности видимости АИТВС в соответствии с выбранным числом сканируемых по дальности зон наблюдения [9]. Для приведенных выше параметров системы могут выбираться 4 зоны наблюдения по дальности, расположенные без промежутков и пере-

крытий. Для обнаружения, измерения параметров объектов в реальном режиме времени необходимо увеличивать быстродействие систем. Если время обзора и обнаружения объектов равно периоду кадра, то при выбранном числе сканируемых по дальности зон, равном 4, минимальная частота сканирования зоны, импульсов излучения подсветки и стробирования принимаемых сигналов должна превышать 200 Гц.

В реальных условиях работы АИТВС качество изображений, точность определения дальности и других параметров объектов, находящихся в зоне наблюдения, зависят от прозрачности окружающей среды и используемых излучателей подсветки [10]. Для эффективной работы систем применяются устройства подсветки, выполненные на базе лазерных или светодиодных полупроводниковых излучателей, обладающие малой массой, габаритами, энергопотреблением и значительным сроком службы. Длина волн излучения выбирается в ближней инфракрасной зоне, совпадающей со спектральной чувствительностью приемников сигналов, формирующих изображения объектов [11]. Преимуществами лазерных устройств являются возможность согласования спектра излучения подсветки с максимальной чувствительностью приемников АИТВС, работающих в активно-импульсном стробируемом режиме [12]. Для увеличения средней мощности излучения и дальности действия систем элементарные импульсные светодиодные излучатели объединяются в многоэлементные решетки, работающие в ближней инфракрасной области спектра. Наиболее оправдано использование инфракрасных излучателей с адаптивной регулируемой мощностью излучения, зависящей от дальности действия и поля зрения систем [13].

Дальность действия АИТВС в режимах обзора и обнаружения превышает глубину дальности видимости в режимах распознавания и идентификации объектов интереса. Поэтому в режимах обзора и обнаружения могут применяться увеличенные углы обзора и обнаружения, согласованные с диаграммой направленности излучателей подсветки объектов.

Эффективность АИТВС можно повысить в результате реализации новых принципов работы систем, при которых первичная выборка, считывание и обработка сигналов производятся в реальном времени в процессе преобразования и получения необходимой видеoinформации от объектов интереса. Такой принцип работы систем можно реализовать при использовании приемников излучений на основе многоэлементных матричных комплементарных металл-оксид полупроводниковых (КМОП) преобразователей с произвольным доступом, выборкой светочувствительных элементов, программно-управляемыми развертками и глобальным затвором, работающих синхронно с излучателем подсветки поля зрения системы [6]. Важным преимуществом КМОП-преобразователей является усиление сигналов элементов матрицы, преобразование их в цифровую форму и накопление стробируемых сигналов. Для

повышения производительности КМОП-преобразователей применяются многослойные матрицы с обратной засветкой, глобальным затвором и одновременным считыванием информации со всех светочувствительных элементов, каждый из которых имеет собственный управляемый усилитель сигнала и аналого-цифровой преобразователь. Параллельная работа всех элементов преобразователей обеспечивает высокие скорости выборки и обработки сигналов, позволяет повысить точность определения параметров объектов, уменьшить или избежать искривлений, смазывания изображений и других искажений, которые возникают при последовательном считывании сигналов от быстро движущихся изображений объектов.

Быстродействие видеокамер зависит от частоты кадров, числа элементов поля зрения или окна сканирования. Координатная адресация КМОП-матриц позволяет обменять уменьшение размеров поля зрения или окна сканирования на увеличение частоты кадров и повышения быстродействия системы. Для современных преобразователей света в сигнал с разрешением  $1920 \times 1080$  элементов частота кадров может повышаться до 5 кГц, а для разрешения  $512 \times 512$  элементов – увеличиваться до 32 кГц. Время экспозиции малоразмерных окон сканирования КМОП-матриц может уменьшаться до 2 мкс, а время выборки, стробирования и считывания сигналов элементов – до 100 нс. Для первичной и вторичной обработки видеoinформации требуются быстродействующие цифровые, аппаратно-программные средства и вычислительные ресурсы. Обработка большого объема видеoinформации в реальном масштабе времени может выполняться с помощью высокоскоростных ПЛИС.

В состав АИТВС, созданных на основе КМОП-матриц, могут входить оперативные и постоянные запоминающие устройства, позволяющие при помощи интерфейса управлять или задавать режимы работы ПЛИС и видеопроцессора, размеры поля зрения, окна сканирования, время считывания, накопления сигналов и другие параметры системы при изменениях в окружающей среде.

Таким образом, развитие технологии КМОП-матриц и средств цифровой обработки сигналов и видеoinформации позволяет создать видеокамеры и видеосистемы на кристалле [14, 15]. Выполнение функций выборки, считывания, преобразования сигнала и обработки видеoinформации на одном кристалле с непосредственным выходом на быстродействующие цифровые средства формирования видеоданных и команд управления повышает эффективность АИТВС, применяемых в различных условиях окружающей среды.

#### **Заключение**

Применение современных КМОП-технологий преобразования света в сигнал и матричных приемников излучений с произвольным доступом, выборкой светочувствительных элементов и управляемым считыванием стробируемых сигналов позволяет создать принципиально новые активно-импульсные

телевизионные системы, эффективно работающие в различных условиях окружающей среды.

Предлагаемые принципы действия, режимы работы и устройства управления АИТВС могут увеличить глубину дальности видимости систем пропорционально количеству зон наблюдения, сканируемых по дальности.

Использование КМОП-преобразователей сигналов с произвольным доступом и выборкой светочувствительных элементов, обработка видеoinформации на основе современных интегральных схем и систем на кристалле повысят эффективность АИТВС, применяемых в автоматизированных контрольно-измерительных и управляющих устройствах, роботизированных автономных и беспилотных аппаратах и комплексах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по научному проекту № 19-37-90141.

### Литература

1. Гейхман И.Л. Видение и безопасность / И.Л. Гейхман, В.Г. Волков. – М.: РАЕН, 2009. – 840 с.
2. Сагдуллаев Ю.С. Обработка и селекция сигналов телеметрической информации космических аппаратов в телевизионных изображениях / Ю.С. Сагдуллаев, А.И. Смирнов // Авиакосмическое приборостроение. – 2016. – № 7. – С. 25–33.
3. Умбиталиев А.А. Теория и практика космического телевидения / под ред. А.А. Умбиталиева, А.К. Цыцулина. – СПб.: НИИ телевидения, 2017. – 368 с.
4. Информационно-измерительные системы телевидения / Ю.С. Сагдуллаев, С.Д. Ковин, Т.Ю. Сагдуллаев, А.И. Смирнова. – М.: Спутник+, 2013. – 199 с.
5. Мищенко Н.И. Методы и средства повышения эффективности активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем наблюдения / Н.И. Мищенко, И.Н. Пустынский // Доклады ТУСУР. – 2014. – № 3 (33). – С. 47–52.
6. Мищенко Н.И. Методы и средства повышения эффективности активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем мониторинга и обеспечения безопасности объектов / Н.И. Мищенко, И.Н. Пустынский, В.В. Капустин // Доклады ТУСУР. – 2016. – Т. 19, № 3 – С. 42–46.
7. Kapustin V.V., Movchan A.K., Zaytseva E.V., Kuryachy M.I. Active pulse television measuring systems for ensuring navigation of transport means in heavy weather conditions // Transportation systems and technology. – 2018. – Т. 4, № 1. – Р. 068–083.
8. Кирпиченко Ю.Р. Видеоинформационные системы наблюдения и контроля при сложных условиях видимости / Ю.Р. Кирпиченко, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский // Доклады ТУСУР. – 2012. – № 2 (26), ч. 1. – С. 105–110.
9. Мищенко Н.И. Возможные пути улучшения технических характеристик телевизионных измерительных систем / Н.И. Мищенко // Доклады ТУСУР. – 2008. – № 2 (18), ч. 2. – С. 40–43.
10. Kapustin V.V. Vision area parameters analysis for active-pulse television-computing systems / V.V. Kapustin, A.K. Movchan, M.I. Kuryachiy // Int. Siberian Conf. Control and Communications (SIBCON). – 2017. – Р. 1–4.
11. Мовчан А.К. Оценка дальности до наблюдаемых объектов активно-импульсными телевизионными измерительными системами / А.К. Мовчан, В.В. Капустин, М.И. Курячий // Матер. междунар. науч.-техн. конф. «Опτικο-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической ин-

формации» (Распознавание–2018). – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2018. – С. 175–177.

12. Модернизация приборов ночного видения / С.Т. Архутин, В.Г. Волков, Е.И. Зайцева, В.Л. Саликов, С.А. Украинский // Специальная техника. – 2005. – № 3. – С. 6–11.

13. Волков В.Г. Лазерные полупроводниковые излучатели для приборов ночного видения // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – № 1. – С. 45–50.

14. Манцетов А.А. Телекамеры на КМОП-фотоприемниках / А.А. Манцетов, А.К. Цыцулин // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Техника телевидения. – 2006. – № 2. – С. 70–89.

15. Умбиталиев А.А. Твердотельная революция в телевидении: Телевизионные системы на основе приборов зарядовой связи, систем на кристалле и видеосистем на кристалле / А.А. Умбиталиев, А.К. Цыцулин. – М.: Радио и связь, 2006. – 312 с.

### Мищенко Николай Иванович

Ст. науч. сотрудник каф. телевидения и управления (ТУ) Томского государственного ун-та систем управления и радио-электроники (ТУСУР) Вершинина ул., д. 47, г. Томск, Россия, 634045  
Тел.: +7 3822 41 33 10  
Эл. почта: mish@tu.tusur.ru

### Мовчан Андрей Кириллович

Аспирант каф. ТУ ТУСУРА Вершинина ул., д. 47, г. Томск, Россия, 634045  
ORCID: 0000-0002-0020-6354  
Тел.: +7-923-421-94-41  
Эл. почта: mr.movchann@mail.ru

### Капустин Вячеслав Валериевич

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРА Вершинина ул., д. 47, г. Томск, Россия, 634045  
ORCID: 0000-0002-2293-0511  
Тел.: +7-960-969-88-77  
Эл. почта: peregnun@mail.ru

### Чалдина Елизавета Сергеевна

Магистрант каф. ТУ ТУСУРА Вершинина ул., д. 47, г. Томск, Россия, 634045  
Тел.: +7-950-272-30-10  
Эл. почта: elizaveta\_chaldina@mail.ru

### Акулиничев Юрий Павлович

Д-р техн. наук, профессор каф. радиотехнических систем (РТС) ТУСУРА Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7-931-806-80-01  
Эл. почта: aupa1941@mail.ru

### Божков Владимир Григорьевич

Д-р техн. наук, профессор, нач. отд. АО «НИИПП» Красноармейская ул., д. 99а, г. Томск, Россия, 634034  
Тел.: +7 (382-2) 55-50-89  
Эл. почта: bozhkov\_vg@niipp.ru

Mishchenko N.I., Movchan A.K., Kapustin V.V., Chaldina E.S., Akulinichev Yu.P., Bozhkov V.G.  
**Control unit for active-pulse television systems**

The principles of operation of active-pulse television systems used in robotic complexes, remotely controlled or Autono-

mous unmanned vehicles are considered. A mode control device is provided that allows to increase the depth of the visibility range and the efficiency of the systems in various environmental conditions as a result of scanning the observation zone by distance.

**Keywords:** television system, detection, measurement, range, informative parameters.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-16-20

### References

1. Geikhman I.L., Volkov V.G. *Videniye i bezopasnost* [Vision and security]. Moscow, RAEN, 2009. 840 p. (in Russ.).
2. Sagdullaev Yu.S., Smirnov A.I. [Processing and selection of signals of telemetric information of spacecraft in television images]. *Aerospace instrumentation*, 2016, no. 7, pp. 25–33 (in Russ.).
3. Umetaliev A.A., Tsytsulin A.K. *Teoriya i praktika kosmicheskogo televideniya* [Theory and practice of space television]. SPb., Research Institute of television, 2017, 368 p. (in Russ.).
4. Sagdullaev Yu.S., Kovin S.D., Sagdullaev T.Yu., Smirnova A.I. *Informatsionno-imeritelnyye sistemy televideniya* [Information and measurement systems of television]. Moscow, Sputnik+, 2013. 199 p. (in Russ.).
5. Mishchenko N.I., Pustynsky I.N. [Methods and means of increasing the efficiency of active-pulse television and computer surveillance systems] *Proceedings of TUSUR University* 2014, no 3 (33) – pp. 47–52 (In Russ.).
6. Mishchenko N.I., Pustynsky I.N., Kapustin V.V. [Methods and means of increasing the efficiency of active-pulse television and computer systems for monitoring and ensuring the safety of objects]. *Proceedings of TUSUR University*, 2016, vol. 19, no. 3, pp. 22–27 (in Russ.).
7. Kapustin V.V., Movchan A.K., Zaytseva E.V., Kuryachy M. I. / Active pulse television measuring systems for ensuring navigation of transport means in heavy weather conditions // *Transportation systems and technology*. 2018, vol. 4, no. 1, pp. 068–083.
8. Kirpichenko Yu.R., Kuryachy M.I., Pustynsky I.N. [Video Information systems of surveillance and control under difficult visibility conditions]. *Proceedings of TUSUR University*, 2012, no. 2(26), pp. 105–110 (in Russ.).
9. Mishchenko N.I. [Possible ways to improve the technical characteristics of television measurement systems]. *Proceedings of TUSUR University*, 2008, no. 2(18), pp. 40–43 (in Russ.).
10. Kapustin V.V., Movchan A.K., Kuryachiy M.I. [Vision area parameters analysis for active-pulse television-computing systems]. *Int. Siberian Conf. Control and Communications (SIBCON)*, 2017, pp. 1–4.
11. Movchan A.K., Kapustin V.V., Kuryachiy M.I. *Otsenka dalnosti do nablyudayemykh obyektov aktivno-impul'snymi televizionnymi izmeritel'nymi sistemami* [Estimation of the distance to the observed objects by active-pulse television measuring systems]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Optiko-elektronnyye pribory i ustroystva v sistemakh raspoznavaniya obrazov, obrabotki izobrazheniy i simvol'noy informatsii «Raspoznavaniye–2018» [Materials of the international scientific and technical conference «Optical-electronic devices and devices in image recognition systems, image processing and symbolic information» (Recognition-2018)]*. Kursk, South-West. state University, 2018, pp. 175–177 (in Russ.).

12. Arhutik S.T., Volkov V.G., Zaitseva E.I., Salikov V.L., Ukrainian S.A. [Modernization of night vision devices]. *Special Technique*, 2005, no. 3, pp. 6–11 (in Russ.).

13. Volkov V.G. [Laser semiconductor emitters for night vision devices]. *Semiconductor lighting technology*, 2012, no. 1, pp. 45–50 (in Russ.).

14. Mansvetov A.A., Zezulin A.K. [Cameras on CMOS photodetectors]. *Problems of Radioelectronics, series Applications television*, 2006, no. 2, pp. 70–89 (in Russ.).

15. Umbitaliev A.A., Tsytsulin A.K. *Tverdotelnaya revolyutsiya v televidenii: Televizionnyye sistemy na osnove priborov zaryadovoy svyazyu, sistem na kristalle i videosistem na kristalle* [Solid-state revolution in television: Television systems based on charge-coupled devices, systems on a chip and video systems on a chip]. M.: Radio and Communications, 2006, 312 p. (in Russ.).

---

### Nikolay I. Mishchenko

Senior Researcher, Department of Television and Control, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)  
47, Vershinin st., Tomsk, Russia, 634034  
Phone: +7 (382-2) 41-33-10  
Email: mish@tu.tusur.ru

### Andrey K. Movchan

Postgraduate Student, Department of Television and Control, TUSUR  
47, Vershinin st., Tomsk, Russia, 634034  
ORCID 0000-0002-0020-6354  
Phone: +7-923-421-94-41  
Email: mr.movchann@mail.ru

### Vyacheslav V. Kapustin

Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Department of Television and Control, TUSUR  
47, Vershinin st., Tomsk, Russia, 634034  
ORCID 0000-0002-2293-0511  
Phone: +7-960-969-88-77  
Email: peregnun@mail.ru

### Elizaveta S. Chaldina

Master Student, Department of Radio Engineering Systems, TUSUR  
47, Vershinin st., Tomsk, Russia, 634034  
Phone: +7-950-272-30-10  
Email: elizaveta\_chaldina@mail.ru

### Yuri P. Akulinichev

Doctor of Engineering, Professor, Department of Radio Engineering Systems (RES) TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7-931-806-80-01  
Email: aupa1941@mail.ru

### Vladimir G. Bozhkov

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department, Research Institute of Semiconductor Devices  
99a, Krasnoarmeyskaya st., Tomsk, Russia, 634034  
Phone: +7 (382-2) 555-089  
Email: bozhkov\_vg@niipp.ru

**УПРАВЛЕНИЕ,  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА  
И ИНФОРМАТИКА**



УДК 004.023+004.413.4

К.В. Попов, А.А. Шелупанов

## Новые вызовы: стохастические угрозы национальной безопасности

Дан анализ вызовов, характеризующих трансформацию угроз национальной безопасности государства. Определены виды стохастических угроз безопасности страны, связанные с глобализацией, информационной и транспортной доступностью, трудовой и образовательной миграцией. Рассмотрены примеры возникновения стохастических процессов, имеющих предсказуемые последствия. Обозначены проблемы по созданию исследовательских инструментов и сервисов.

**Ключевые слова:** национальная безопасность, угрозы безопасности, трансформация рисков, прогнозирование событий, ненависть, экстремизм, терроризм, исследовательские инструменты, управление, социально-экономические системы.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-23-29

Исследование стохастических процессов является далеко не новым явлением и затрагивает предметные области как естественных наук, так и социально-гуманитарных, таких как социология. Стохастический процесс характеризуется как вероятностный, случайный процесс, связанный с изменением во времени состояния некоторой системы, течение которого зависит от случая. Но для стохастического процесса существует математический аппарат определения вероятностей того или иного его протекания. Математическая теория случайного процесса достаточно хорошо развита. Флуктуации случайных социальных процессов изучаются с помощью построения стохастических моделей, т.е. моделей, в которых необходимо учитывать распределение вероятностей [1].

Одной из характеристик нелинейности физических процессов является мгновенность перехода в новое качество. Нелинейность случайных социальных процессов увеличивает неопределенность вариации аттрактивных состояний, когда момент выбора поведения социальных субъектов становится необратимым. В синергетической теории выбор вариантов аттрактивных состояний реализуется как случайность, выступающая доминирующим элементом, который «определяет переплетение возможностей будущего движения. Однако на следующем этапе он (доминирующий элемент) уже создает предсказуемую цепочку» [2].

В современной Стратегии национальной безопасности Российской Федерации, наряду с повышением обороноспособности страны, огромное влияние уделяется развитию социальных процессов в государстве, достижению национального согласия, обеспечению политической и социальной стабильности, достойного уровня жизни своих граждан, стабильности управления экономическими системами.

Основными угрозами государственной и общественной безопасности являются:

– разведывательная и иная деятельность специальных служб и организаций иностранных государств, отдельных лиц, наносящая ущерб национальным интересам;

– деятельность террористических и экстремистских организаций, направленная на насильственное изменение конституционного строя Российской Федерации, дестабилизацию работы органов государственной власти, уничтожение или нарушение функционирования военных и промышленных объектов, объектов жизнеобеспечения населения, транспортной инфраструктуры, устрашение населения, в том числе путем завладения оружием массового уничтожения, радиоактивными, отравляющими, токсичными, химически и биологически опасными веществами, совершения актов ядерного терроризма, нарушения безопасности и устойчивости функционирования критической информационной инфраструктуры РФ;

– деятельность радикальных общественных объединений и группировок, использующих националистическую и религиозно-экстремистскую идеологию, иностранных и международных неправительственных организаций, финансовых и экономических структур, а также частных лиц, направленная на нарушение единства и территориальной целостности Российской Федерации, дестабилизацию внутривнутриполитической и социальной ситуации в стране, включая инспирирование «цветных революций», разрушение традиционных российских духовно-нравственных ценностей;

– деятельность преступных организаций и группировок, в том числе транснациональных, связанная с незаконным оборотом наркотических средств и психотропных веществ, оружия, боеприпасов, взрывчатых веществ, организацией незаконной миграции и торговлей людьми;

– деятельность, связанная с использованием информационных и коммуникационных технологий для распространения и пропаганды идеологии фашизма, экстремизма, терроризма и сепаратизма, нанесения ущерба гражданскому миру, политической и социальной стабильности в обществе;

– преступные посягательства, направленные против личности, собственности, государственной власти, общественной и экономической безопасности;



– коррупция;  
– стихийные бедствия, аварии и катастрофы, в том числе связанные с глобальным изменением климата, ухудшением технического состояния объектов инфраструктуры и возникновением пожаров [3].

К стохастическим угрозам относятся процессы, по сути своей являющиеся предиктором возникновения основных угроз национальной безопасности. Стохастические угрозы можно классифицировать по характеру проявления, типу или по схожим механизмам развития угрозы. Рассмотрим некоторые из них.

Так, например, эпидемия коронавируса в Китае, о котором информировано в настоящее время до 99% населения нашей страны, способна привести как к межнациональной вражде, так и к экономическому кризису [4, 5]. Это связано с ограничениями, которые ввели для китайских студентов на въезд в Российскую Федерацию, временное изменение формата учебного процесса (перевод на дистанционное обучение).

Разжигание межнациональной вражды на почве обвинений представителей китайской национальности носителями угрозы заражения привело к тому, что представители других этносов открыто стали избегать контактов с представителями азиатской расы. В социальных сетях появились ролики пранкеров, которые имитируют действия вируса в местах массового пользования, таких как метро, торговые центры, общественные пространства [6].

Такого рода имитации сеют массовую панику и вызывают недовольство граждан вплоть до массового психоза и волнений. В случае отсутствия экстренных правомерных действий со стороны властей и общественности данные действия приводят к стохастическим угрозам, таким как массовые протестные акции, аналогичные тем, что прокатились волной в Украине, где колонну автобусов с эвакуированными из китайского Уханя украинцами, прибывшую на карантин в санаторий, забросали камнями местные жители [7].

В Тернопольской, Львовской, Ровенской, Киевской и Полтавской областях бунтующие блокировали трассы, жгли покрышки, ходили с молебном, чтобы «отпугнуть» эвакуированных соотечественников. На Западной Украине люди кричали, что власть хочет устроить украинцам геноцид, и требовали везти эвакуированных на восток Украины.

В социальных сетях панику начали раскручивать многочисленные боты через созданные аккаунты. Некоторые «горячие головы» вообще цинично выразили сожаление тем, что борт самолета с эвакуированными украинцами не был сбит [8].

Однако мы уже знаем, что одной из характеристик нелинейности физических процессов является мгновенность перехода в новое качество. То есть процесс, аналогичный бифуркации. Стохастическая угроза изменила векторы, «захватив» весь мир, и создала предсказуемую цепочку.

Другой тип возникновения стохастических угроз – масштабируемое, вирулентное распростра-

нение фейковых новостей, повлекших за собой массовую панику. Пример тому трагедия в развлекательном центре г. Кемерово «Зимняя вишня», где сразу после пожара распространялись слухи о гибели от трехсот и более человек. Людями, которые делились в соцсетях этой информацией, «двигало желание помочь», но у тех, кто изначально осуществил этот вброс, были другие цели.

Вирусное распространение в социальных медиа фейковых новостей, преувеличение числа погибших, распространение слухов о массовой гибели людей спровоцировали массовые беспорядки и панику в соцсетях [9].

Приведенные выше примеры двух типов стохастических угроз вызывает ингибирующий эффект. Это означает, что вариации аттрактивных состояний в момент выбора поведения социальных субъектов попадают в прямую зависимость от возможностей применения подавляющих экстренных коммуникативных практик в социальной сети. Только оперативная и профессиональная реакция со стороны властей и общественности может замедлить протекание процесса и даже устранить катализатор.

Стохастические угрозы с фундированным механизмом развития функционируют и развиваются схожим образом, например бунты и протесты в США и Европе, связанные с движением Black Lives Matters [10].

Зачастую стохастические угрозы являются триггером (провокацией) к совершению правомерных действий как радикальными группами, так и «одинокими волками». И если на групповом уровне способы выявления и прогнозирования угроз на настоящий момент времени являются достаточно эффективными ввиду того, что возможность утечки информации в группе очевидна, тогда как с «одинокими волками» возможности выявления и прогнозирования угроз отличаются сложностью в силу их замкнутости и скрытности.

Так, 17 октября 2018 г. 18-летний студент Керченского политехнического колледжа Владислав Росляков совершил крупнейшее по количеству жертв массовое убийство в учебном заведении в новейшей истории Европы.

Некоторыми средствами массовой информации было высказано предположение, что Росляков мог подражать действиям убийц, атаковавших в апреле 1999 г. школу «Колумбайн» [11].

Это бомба замедленного действия. Чем страшны такие преступники? Тем, что предотвратить их намерения не предоставляется возможным. Они не состоят ни в каких ячейках, у них нет реальных наставников, они тихо-мирно живут среди нас, а потом берут в руки оружие и убивают.

31 октября 2018 г. в Архангельске 17-летний студент второго курса политехнического колледжа Михаил Жлобицкий пришел в здание регионального управления ФСБ и на входе устроил взрыв. Погибший юноша состоял в интернет-сообществе анархистов [12].

Инциденты, совершенные одиночками, «ворвались» в российскую действительность в 2014 г., тогда как, к примеру, США борется с этим негативным феноменом уже более 20 лет. Но даже за короткий период времени сотрудники российских силовых ведомств смогли выстроить межведомственное взаимодействие, наладить работу по выявлению деструктивного контента в социальных сетях, собрать «базу знаний» по ключевым поведенческим и психологическим мотивам «одиночек». И именно это позволило предотвратить инциденты в Крыму, Саратове, на Сахалине. Соответственно, возможность выявления и прогнозирования планируемых атак резко возросла.

18 февраля 2020 г. в Керчи задержаны двое подростков 16 и 17 лет, которые готовили теракты. У молодых людей обнаружили самодельные взрывные устройства с поражающими элементами. Подростки были членами неонацистского интернет-сообщества. Один из подростков ранее публично одобрял действия керченского стрелка [13].

26 февраля 2020 г. задержаны подростки по подозрению в подготовке бойни в саратовской школе. Оба задержанных состояли в интернет-сообществах, пропагандирующих идеологию массовых убийств.

23 марта 2020 г. предотвращено массовое убийство в учебном заведении Сахалина. Задержаны подростки, планировавшие вооруженное нападение. Оба задержанных являются студентами, они причастны к пропаганде в сети интернет-терроризма, массовых убийств и суицида [14].

Еще один тип стохастических угроз на сегодняшний день является крайне опасным для общества и государства. Это стохастический терроризм. В самом общем виде под стохастическим терроризмом понимается использование массовых коммуникаций для подстрекательства случайных субъектов к совершению насильственных или террористических актов, которые статистически предсказуемы, но индивидуально непредсказуемы. Это можно назвать «убийством с дистанционным управлением». Стохастический террорист – это человек, ответственный за подстрекательство. Например, он выступает по радио или на телевидении, в социальных сетях и разжигает ненависть к определенному человеку или группе. Случайный человек, или «одиноким волк», как этот термин используется в правоохранительных органах, – это человек, который отвечает на возбуждение путем проведения насильственного или террористического акта против человека или группы.

Например, он стреляет в кого-то или взрывает бомбу. Хотя его действия могли быть статистически предсказуемыми (например, «при достаточной провокации, кто-то, вероятно, будет делать то-то и то-то»), конкретный человек и конкретный поступок еще не предсказуемы. Могут быть посредники в цепочке причин и следствий. Например, субъект *A* нанимает субъекта *B* для пропаганды по телевидению, социальных сетях Интернета, других СМИ для разжигания ненависти к группе субъектов *C*, и тогда

субъект *D* «появляется из ниоткуда» и нападает на одного или нескольких членов группы субъектов *C* [15].

Примером подстрекательства являются события 2015 г., когда французский журнал опубликовал карикатуры пророка Мухаммеда, затем последовал теракт в редакции издания [16].

Надо отметить, что зачастую подобные «вольности» идут вразрез с общественным мнением. Так, 85% россиян посчитали недопустимой публикацию карикатур на известных религиозных персонажей, а 89% сочли, что не надо позволять публиковать подобные карикатуры [17].

Очевидно, что предположение о радикализации акторов до насилия в стерильных условиях было бы по меньшей мере ошибочным, формирование происходит в условиях идеологического влияния социально-экономической, общественно-политической среды.

Триггером «атаки» зачастую является накопление довольно серьезной общественной энергии – экономическое неравенство, безработица, постоянно нагнетающие истерию средства массовой информации, социальные сети, неуверенность в завтрашнем дне и т.д.

И если данные факторы постепенно нарастают, формируются и складываются, причинно-следственные связи в них ясны, а методы и способы борьбы с ними очевидны, то стохастическая угроза зачастую связана с непредсказуемыми феноменами.

К примеру, в условиях пандемии это создает предсказуемую цепочку угроз:

- демаркации, мы/они (больные);
- внутренний национализм, сепаратизм (мы/они – Москва);
- внешний сепаратизм (отказ в Китае русским в обслуживании и наоборот);
- национальный эгоизм как внутри страны, так и вне (тесты вакцин только на афроамериканцах в США);
- поколенческий эгоизм, молодые/старые (игнорирование молодежью режима изоляции в Швеции, Великобритании, Бельгии).

В таких условиях быстро происходит смена настроений в обществе на радикальные по отношению к власти, формируя в целом резко отрицательный психоэмоциональный фон у населения.

И здесь важны своевременность и качество реагирования на формирование угрозы. Анализ содержания информационного поля, как и методы сбора, анализа контента, совершенствовались в последние годы.

Ежедневно миллионы пользователей по всему миру выходят в Сеть. Собранные данные подвергаются анализу с целью изучения «цифровых следов», характера поведения пользователей социальных сетей, мотивации и технологий продвижения своих взглядов, составления фактических и поведенческих профилей носителей идей идеологии фашизма, экстремизма, терроризма и сепаратизма.

Для получения представления о существующей схеме работы представим ее графически в виде нотаций IDEF0 на рис. 1.

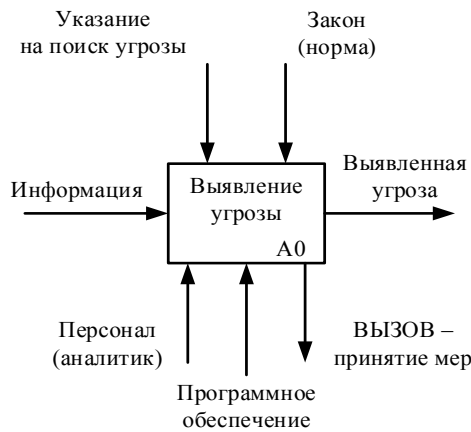


Рис. 1. Контекстная диаграмма процесса выявления угрозы

Входящая стрелка – «Информация» (сообщения СМИ, оперативные данные, события, опыт).

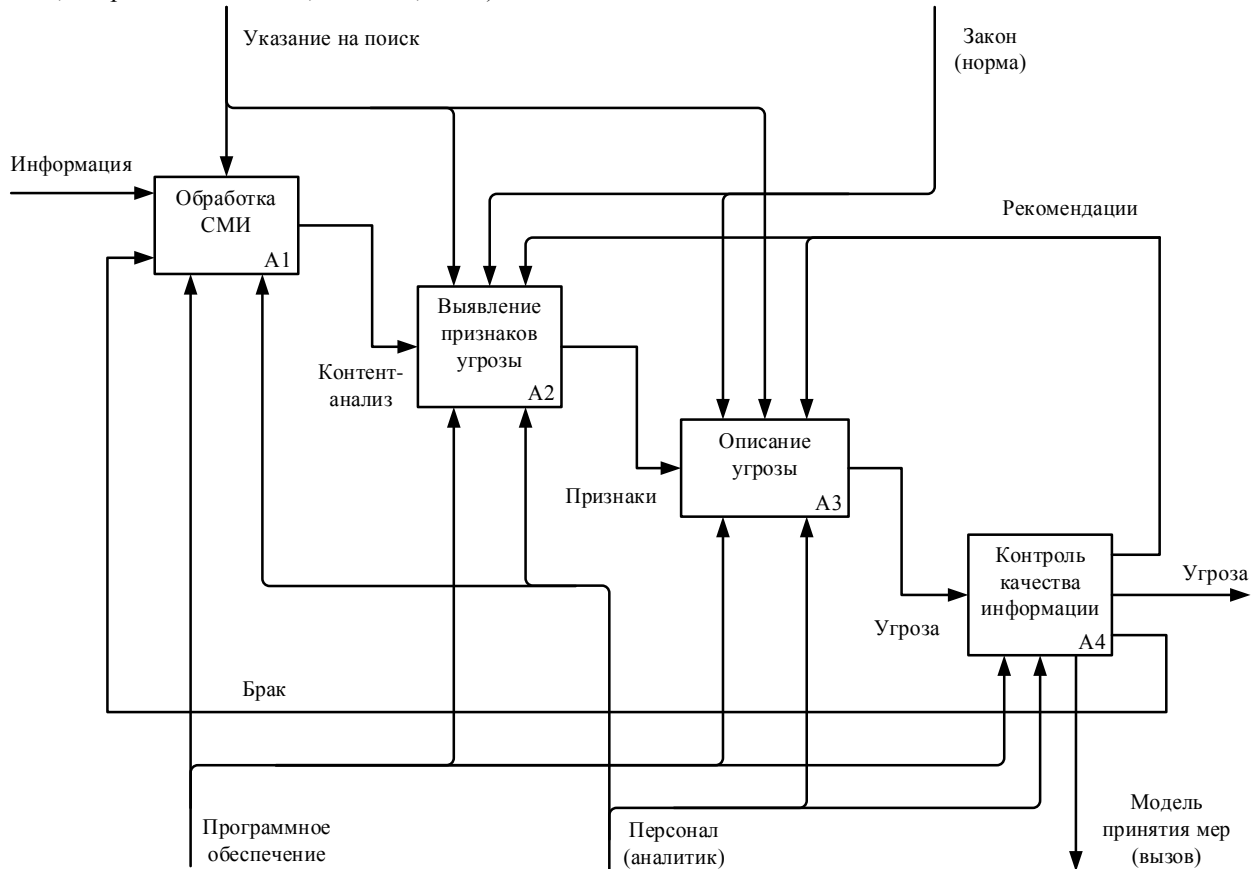


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции процесса выявления угрозы

На схеме видно, на каком этапе, какие управляющие элементы и какие механизмы задействованы.

При создании функциональной модели ключевыми параметрами являются цель и точка зрения. Исходя из них, моделирование одних и тех же процессов может выглядеть несколько по-разному.

Последующая функциональная декомпозиция сопровождается построением диаграмм декомпозиции, которые описывают каждый фрагмент декомпо-

Управляющие – «Указание на поиск угрозы».

Ограничительная – «Закон (норма)».

В роли «механизмов» выступают аналитик и программное обеспечение. Аналитик создает материал, в котором собирает все мысли и идеи, которые должны быть отражены в результате работы. Программное обеспечение составляют инструменты, которые используют в работе участники процесса.

Так описывается общая схема работы по выявлению угрозы в целом.

На самом деле процесс выявления угрозы следует детализировать. Для этого декомпозируем общий блок «Выявление угрозы» на связанные между собой элементы, которые составляют 4 основных этапа:

1. Обработка информации СМИ.
2. Выявление признаков угрозы.
3. Формулирование типа угрозы.
4. Контроль качества полученной информации.

Пример декомпозиции процесса приведен на рис. 2.

Детализация функциональной модели продолжается до достижения необходимой степени подробности. Пример детализации модели приведен на рис. 3.

Степень декомпозиции в данном случае определяется целью моделирования, т.е. разбиение функции на подфункции, операции и т.д. происходит до тех пор, пока не будут достигнуты его заданные параметры.

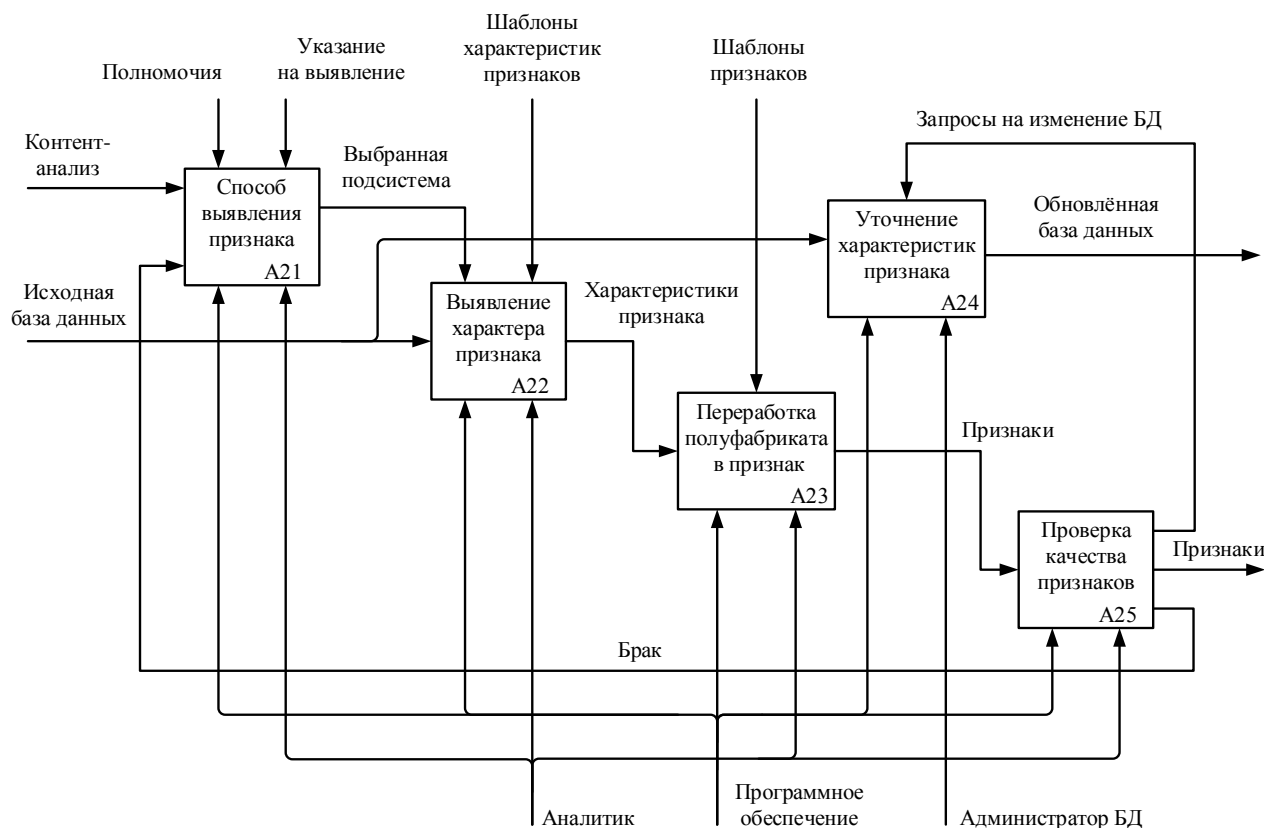


Рис. 3. Диаграмма декомпозиции процесса выявления признаков угрозы

### Заключение

Таким образом, в условиях возрастающего влияния случайных процессов на дестабилизацию обеспечения защиты основных прав и свобод человека и гражданина, сохранение гражданского мира, политической и социальной стабильности в обществе в сфере государственной и общественной безопасности возникает необходимость применения и совершенствования инструментов глубокого, всестороннего анализа и оценки случайных угроз с целью определения вероятности их развития и моделирования последствий.

Исследуемая проблема требует развития методического, математического и информационного обеспечения. Для исследований такого рода на основе предложенного подхода необходимо наличие вероятностных моделей, методов и алгоритмического обеспечения. Создание эффективного инструментария, позволяющего с высокой скоростью и приемлемой достоверностью диагностировать угрозы в информационном пространстве, является определяющим в обеспечении и стабилизации государственной и общественной безопасности для улучшения управления в различных социальных и экономических системах.

### Литература

- Осипов Г.В. Социологический словарь / Г.В. Осипов, Л.Н. Москвичев. – М.: Норма, 2008. – 608 с.
- Лотман Ю.М. Культура и взрыв. – М.: Гнозис; изд. группа «Прогресс», 1992. – 272 с.

- Указ Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации». Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) (дата обращения: 27.11.2020).

- «ВЦИОМ-Спутник». Опрос граждан РФ от 18 лет и старше. 8 февраля 2020 г. 1 600 респондентов. Аналитический обзор № 4175 от 26 февраля 2020 г. – URL: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=10173> (дата обращения: 27.11.2020).

- «ФОМнибус». Опрос граждан РФ от 18 лет и старше. 9 февраля 2020 г. 53 субъекта РФ, 104 населенных пункта, 1 500 респондентов. – URL: <https://fom.ru/Zdorove-i-sport/14350> (дата обращения: 27.11.2020).

- Пранкера арестовали за имитацию в метро Москвы приступа коронавируса. – URL: <https://www.interfax.ru/russia/694778> (дата обращения: 27.11.2020).

- На Украине автобус с эвакуированными из Китая забросали камнями. – URL: <https://news.mail.ru/incident/40669383/?frommail=1> (дата обращения: 27.11.2020).

- Ковалевич Д. «Чумные бунты» в Украине. Кому это выгодно и кто это организовал. – URL: <https://ukraina.ru/exclusive/20200221/1026779836.html> (дата обращения: 27.11.2020).

- Малаев М. Главное о трагедии в Кемерово. Факты, основные версии, реакция властей и общества, последствия для бизнеса. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3591101> (дата обращения: 27.11.2020).

- Венкина Е. Против расизма: на акции по всему миру вышли сотни тысяч демонстрантов. – URL: <https://p.dw.com/p/3dLwL> (дата обращения: 27.11.2020).

- Боброва И., Сперанский Л. Дневники убийцы: записки керченского стрелка объяснили мотивы нападения. – URL: <https://www.mk.ru/social/2018/11/15/dnevniki-ubiytsy>

ubiycy-zapiski-kerchenskogo-strelka-obyasnil-motivy-napadeniya.html (дата обращения: 27.11.2020).

12. Директор ФСБ обеспокоен переходом молодежи к силовым акциям против власти. – URL: <https://www.newsru.com/russia/08nov2018/bortnikov.html> (дата обращения: 27.11.2020).

13. В Крыму сообщили детали о задержанных за подготовку теракта подростках. – URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5e4c0dbe9a7947cdb2acb415> (дата обращения: 27.11.2020).

14. ФСБ предотвратила массовое убийство в учебном заведении. – URL: <https://lenta.ru/news/2020/03/23/sahalin/> (дата обращения: 27.11.2020).

15. Stochastic Terrorism: Part 1, triggering the shooters. 26 January 2011. – URL: <http://stochasticterrorism.blogspot.com/> (дата обращения: 27.11.2020).

16. Нападение на Charlie Hebdo в Париже: террористы против свободы слова. – URL: <https://ria.ru/20150107/1041714397.html> (дата обращения: 27.11.2020).

17. ВЦИОМ. Опрос граждан РФ от 18 лет и старше. 17–18 января 2015 г. 1 600 респондентов в 132 населенных пунктах, в 46 субъектах РФ. Аналитический обзор № 2761 от 28 января 2015 г. – URL: <https://infographics.wciom.ru/theme-archive/politics/foreign-policy/friendly-and-unfriendly-countries/article/rossija-i-zapad-druzja-vragi.html> (дата обращения: 27.11.2020).

#### Попов Константин Васильевич

Аспирант каф. комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7-913-850-98-17  
Эл. почта: pokkos@mail.ru

#### Шелупанов Александр Александрович

Д-р техн. наук, профессор каф. КИБЭВС ТУСУРа Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 90-71-55  
Эл. почта: saa@tusur.ru

Popov K.V., Shelupanov A.A.

#### New challenges: stochastic threats to national security

The article is devoted to the analysis of the challenges that characterize the transformation of threats to the national security of the state. The types of stochastic threats to the country's security associated with globalization, information and transport accessibility, labor and educational migration are determined. Examples of occurrence of stochastic processes with predictable consequences are considered. Problems in the creation of research tools and services are identified.

**Keywords:** national security, security threats, transformation of risks, forecasting events, hatred, extremism, terrorism, research tools.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-23-29

#### References

1. Osipov G.V. Moskvičev L.N. *Sotsiologičeskij slovar'* [Sociological dictionary]. Moscow, Norma, 2008, 608 p. (in Russ.).

2. Lotman Yu.M. *Kul'tura i vzryv* [Culture and explosion]. Moscow, Gnozis, Izdatel'skaya grupa «Progress», 1992, 272 p. (in Russ.).

3. *Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federatsii ot 31 dekabrya 2015 goda № 683 «O Strategii natsional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federatsii»* [Decree of the President of the Russian Federation of December 31, 2015 No. 683 «On the National Security Strategy of the Russian Federation»]. *Ofitsial'nyy internet-portal pravovoy informatsii. 2005–2020 gg.* Available at: <http://www.pravo.gov.ru> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

4. «VTsIOM-Sputnik». *Opros grazhdan RF ot 18 let i starshe. 8 fevralya 2020 g. 1600 respondentov* [A survey of citizens of the Russian Federation aged 18 and over. February 8, 2020 1,600 respondents]. *Analiticheskiy obzor № 4175 ot 26 fevralya 2020 g.* Available at: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=10173> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

5. «FOMnibus». *Opros grazhdan RF ot 18 let i starshe. 9 fevralya 2020 g. 53 sub"ekta RF, 104 naseleennykh punkta, 1500 respondentov* [A survey of citizens of the Russian Federation aged 18 and over. February 9, 2020 53 subjects of the Russian Federation, 104 settlements, 1500 respondents]. *2003–2020 Fond Obshchestvennoe Mnenie.* Available at: <https://fom.ru/Zdorove-i-sport/14350> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

6. *Prankera arestovali za imitatsiyu v metro Moskvy pristupa koronavirusa* [Pranker was arrested for imitating a coronavirus attack in the Moscow metro]. *1991–2020 Interfax.* 10 February 2020. Available at: <https://www.interfax.ru/russia/694778> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

7. *Na Ukraine avtobus s evakuirovannymi iz Kitaya zabrosali kamnyami* [In Ukraine, a bus with evacuees from China was pelted with stones]. *1999–2020 Mail.ru Group.* 20 February 2020. Available at: <https://news.mail.ru/incident/40669383/?frommail=1> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

8. Kovalevich D. *«Chumnye bunty» v Ukraine. Komu eto vygodno i kto eto organizoval* [“Plague riots” in Ukraine. Who benefits from it and who organized it]. *2020 Mezhdunarodnoye informatsionnoye agentstvo «Rossiya segodnya».* 21 February 2020. Available at: <https://ukraina.ru/exclusive/20200221/1026779836.html> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

9. Malaev M. *Glavnoe o tragedii v Kemerovo. Fakty, osnovnye versii, reaktsiya vlastey i obshchestva, posledstviya dlya biznesa* [The main thing about the tragedy in Kemerovo. Facts, basic versions, reaction of authorities and society, consequences for business]. *1991–2020 Izdatel'skiy dom «Kommersant».* 30 March 2018. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/3591101> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

10. Venkina E. *Protiv rasizma: na aksii po vsemu miru vyshli sotni tisyach demonstrantov* [Against racism: hundreds of thousands of demonstrators came out to actions around the world]. *2020 Deutsche Welle.* 06 June 2020. Available at: <https://p.dw.com/p/3dLwL> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

11. Bobrova I., Speranskiy L. *Dnevniky ubiytsy: zapiski kerchenskogo strelka ob"yasnil motivy napadeniya* [The killer's diaries: notes from the Kerch shooter explained the motives of the attack]. *Elektronnoye periodicheskoe izdanie «MK.ru».* 15 November 2018. Available at: <https://www.mk.ru/social/2018/11/15/dnevniky-ubiycy-zapiski-kerchenskogo-strelka-obyasnil-motivy-napadeniya.html> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

12. *Direktor FSB obespokoен perehodom molodezhi k silovym aktsiyam protiv vlasti* [Director of the FSB is concerned about the transition of young people to forceful actions against the authorities]. 08 November 2018. Available at: <https://www.newsru.com/russia/08nov2018/bortnikov.html> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

13. *V Krymu soobshchili detali o zaderzhannykh za podgotovku terakta podrostkakh* [In Crimea, details were reported about adolescents detained for preparing a terrorist attack]. *1995–2020 Informatsionnoe agentstvo «RBK»*. 18 February 2020. Available at: <https://www.rbc.ru/rbcfreeneews/5e4c0d9a7947cdb2acb415> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

14. *FSB predotvratila massovoe ubiystvo v uchebnom zavedenii* [The FSB prevented mass murder in an educational institution]. *Elektronnoe periodicheskoe izdanie «Lenta.ru» internet-gazeta*. 23 March 2020. Available at: <https://lenta.ru/news/2020/03/23/sahalin/> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

15. Stochastic Terrorism: Part 1, triggering the shooters. 26 January 2011. Available at: <http://stochasticterrorism.blogspot.com/> (Accessed: November 27, 2020).

16. *Napadenie na Charlie Hebdo v Parizhe: terroristy protiv svobody slova* [Attack on Charlie Hebdo in Paris: terrorists against freedom of speech]. *2014 Setevoe izdanie RIA Novosti*. 07 January 2015. Available at: <https://ria.ru/20150107/1041714397.html> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

17. VTsIOM. *Opros grazhdan RF ot 18 let i starshe. 17-18 yanvarya 2015 g. 1600 respondentov v 132 naseleennykh*

*punktakh, v 46 sub"ektakh RF* [A survey of citizens of the Russian Federation aged 18 and over. January 17-18, 2015 1,600 respondents in 132 settlements, in 46 regions of the Russian Federation]. *Analiticheskiy obzor № 2761 ot 28 yanvarya 2015 g.* Available at: <https://infographics.wciom.ru/theme-archive/politics/foreign-policy/friendlyand-unfriendly-countries/article/rossija-i-zapad-druzja-vragi.html> (Accessed: November 27, 2020) (in Russ.).

---

**Konstantin V. Popov**

Postgraduate Student, Department of Integrated Information Security of Electronic Computing Systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7-913-850-98-17  
Email: pokkos@mail.ru

**Alexander A. Shelupanov**

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Integrated Information Security of Electronic Computing Systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 90-71-55  
Email: saa@tusur.ru

УДК 004.85

Д.А. Андреевских, С.Д. Разбойников, М.П. Силич, К.С. Сарин

## Сравнение применения локальных и глобальных признаков рукописной подписи для аутентификации пользователя

Проводится сравнение двух методов аутентификации пользователя на основе рукописной подписи. Первый основан на извлечении локальных признаков подписи как функций, зависящих от времени ее нанесения. Второй использует глобальные признаки подписи, характеризующие ее целиком без привязки к моментам нанесения. Для каждого из методов представлены алгоритмы аутентификации, проведены эксперименты на реальных рукописных подписях, полученных в ходе исследования.

**Ключевые слова:** рукописная подпись, аутентификация, машинное обучение, распознавание образов.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-30-34

Поскольку в настоящее время электронные носители информации вытесняют бумажные, актуальной является проблема подтверждения личности в пространстве электронных документов. Для решения этой проблемы разработаны различные средства аутентификации пользователя, в том числе и с использованием динамических биометрических данных. Аутентификация по рукописной подписи является наиболее распространенным и проверенным временем методом подтверждения личности [1, 2]. Рукописная подпись представляется в виде дискретных сигналов, формируемых графическим планшетом. Сигналы образованы перемещением пера по поверхности планшета и описывают три характеристики подписи: форму, динамику и вариативность. Форма представляет графическое изображение подписи. Вариативность и динамика определяют положение, скорость, давление пера в разные моменты времени ее нанесения. Динамическое распознавание подписи предполагает наличие сигналов, описывающих динамику. Если доступно только изображение подписи, то применяют статическое распознавание.

Проверка рукописной подписи является проблемой распознавания образов [3–6]. Важным этапом в решении этой проблемы является извлечение признаков из исходных данных, представленных в виде сигналов. Признаки рукописной подписи – это величины, извлеченные из оцифрованных образцов подписей и описывающие подпись в виде вектора значений. Признаки должны позволять описывать каждую рукописную подпись так, чтобы степень различия между подписями у разных пользователей была максимальной, при этом допуская изменчивость подписей одного и того же пользователя [7, 8].

Признаки разделяют на две основных группы: локальные и глобальные [9–13]. К локальным признакам относятся признаки, характеризующие подпись в определенные отрезки времени. Иными словами, признаки, представимые в виде функции, зависящей от времени нанесения. В числе данных признаков выступают координаты  $X$  и  $Y$ , величина давления пера на экран планшета, скорость нанесения подписи и др. К глобальным признакам относятся те признаки, которые характеризуют подпись

как единое целое без привязки к отдельным отрезкам времени нанесения. В числе данных признаков можно выделить общее время подписи, количество поднятий пера во время нанесения подписи, средние значения скорости и ускорения ведения пера и др.

Целью настоящей работы является выявление группы признаков, с помощью которой проведение аутентификации пользователей было бы наиболее предпочтительным с точки зрения точности определения субъекта. Соответствующий круг задач заключается в необходимости изучить алгоритмы аутентификации на основе локальных и глобальных признаков, разработать и реализовать их в программной среде MatLab, после чего провести тестирование реализованных алгоритмов и оценить точность распознавания для каждого из алгоритмов.

### Методика проведения экспериментов по снятию экземпляров подписи

Для проведения исследования была собрана база данных оригинальных и поддельных подписей по разработанной нами методике. Сигналы рукописных подписей снимались с помощью планшета Wacom STU-540, который фиксирует сигналы координат  $X$  и  $Y$ , величина давления пера  $P$  с частотой 200 Гц.

Участникам нужно было придумать подпись. В течение недели до снятия показаний они тренировались в ее нанесении. В день, когда проходило снятие сигналов подписи, фиксировались десять экземпляров. Процесс нанесения подписи записывался на видеоизображение. Через одну и две недели данная процедура повторилась. Далее было выбрано шесть фальсификаторов среди участников. В течение недели по изображению оригинальной подписи они должны были научиться ее воспроизводить. Спустя неделю каждый фальсификатор вносил в базу пять экземпляров подделанной подписи. После фальсификаторам выдавалось видеоизображение процесса нанесения подписи. Через неделю снималось еще пять экземпляров поддельной подписи. Со следующей недели цикл повторялся.

Таким образом, для каждого пользователя в базе присутствуют 30 оригинальных экземпляров подписей, 30 квалифицированных подделок, полученных на основе изображения оригинальной подписи,

30 квалифицированных подделок на основе видео-изображения процесса нанесения.

**Описание наборов данных**

Файл с подписью имеет структуру таблицы. Каждая строка представляет значение сигналов подписи в один момент времени. В первых двух столбцах фиксируются координаты X и Y кончика пера, в третьем столбце фиксируется давление пера на экран планшета P.

На рис. 1 продемонстрированы изображения трех подписей и соответствующие им сигналы в каждый момент времени t.

**Аутентификация на основе локальных признаков**

Алгоритм аутентификации с применением локальных признаков основан на алгоритме динамической трансформации временной шкалы (DTW) [14, 15].

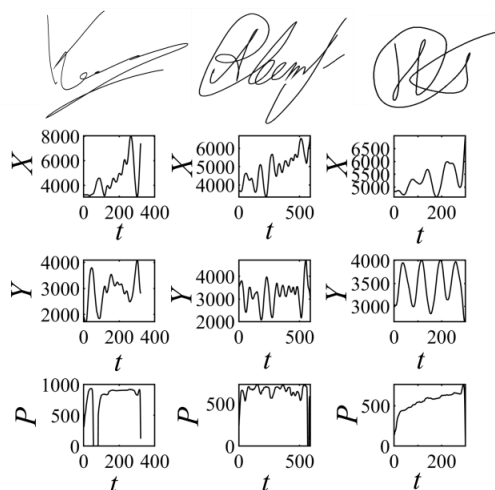


Рис. 1. Сигналы рукописной подписи

Для аутентификации пользователя при помощи алгоритма DTW в среде MatLab были написаны несколько вариантов программы, общий принцип действия которых можно описать следующим алгоритмом:

1. На основе множества оригинальных подписей  $G = \{g_1, \dots, g_n\}$  проверяемого пользователя сформировать сигналы координат и величины давления пера подписи-эталона  $g_{ref}$ . Сигналы подписи-эталона вычислить как средние значения оригинальных подписей в каждый момент времени.

2. Вычислить пороговое значение DTW-расстояния  $d_{threshold}$ . Данное значение позволит определить, является ли проверяемая подпись оригинальной.

3. Вычислить DTW-расстояние между проверяемой подписью и подписью-эталонем.

4. Если DTW-расстояние меньше  $d_{threshold}$ , то проверяемая подпись принадлежит пользователю, иначе проверяемая подпись – подделка.

Было проведено шесть экспериментов с различными видами сигналов и определяемым пороговым значением. Ниже представлено их описание.

**Вариант 1.** Эталон состоит из средних значений координат X, Y и величины давления пера на экран планшета P. Пороговое значение вычисляется по формуле (1):

$$d_{threshold} = \frac{\sum_{i=1}^n d(g_i, g_{ref})}{n} + 3 \cdot \sigma, \quad (1)$$

где  $d(g_i, g_j)$  – DTW-расстояние между сигналами подписи  $g_i$  и  $g_j$ ,  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение DTW-расстояний оригинальных подписей:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( d(g_i, g_{ref}) - \frac{\sum_{j=1}^n d(g_j, g_{ref})}{n} \right)^2}{n}}$$

**Вариант 2.** Эталон состоит из средних значений координат X, Y и величины давления пера на экран планшета P. Пороговое значение вычисляется по формуле (2):

$$d_{threshold} = \frac{\max_{i=1..n} (d(g_i, g_{ref})) + \min_{i=1..m} (d(s_i, g_{ref}))}{2}, \quad (2)$$

где  $S = \{s_1, \dots, s_m\}$  – множество поддельных подписей, используемых для определения порога.

**Вариант 3.** Эталон состоит из средних значений сигналов абсолютной скорости и абсолютного ускорения, которые были вычислены с помощью сигналов X и Y. DTW-расстояние вычисляется для сигналов скорости V и ускорения A. Пороговое значение  $d_{threshold}$  определяется формулой (1).

**Вариант 4.** Эталон состоит из средних значений сигналов V и A оригинальной подписи. Пороговое значение рассчитывается по формуле (2).

**Вариант 5.** Эталон формируется на основе значений сигналов X, Y, P, V, A. Пороговое значение определяется формулой (1).

**Вариант 6.** Эталон формируется на основе значений сигналов X, Y, P, V, A. Пороговое значение определяется формулой (2).

На основе представленных вариантов нахождения порога были проведены эксперименты по аутентификации, сформирована таблица точности (табл. 1) и построен график зависимости точности от числа оригинальных подписей, необходимых для формирования подписи-эталона (рис. 2).

Таблица 1

**Значения средней точности для локальных признаков**

№ варианта	Количество оригинальных подписей				
	3	4	5	6	7
1	0,724	0,738	0,729	0,723	0,709
2	0,802	0,802	0,783	0,778	0,780
3	0,716	0,744	0,703	0,683	0,676
4	0,768	0,753	0,732	0,736	0,710
5	0,709	0,721	0,734	0,708	0,717
6	0,798	0,787	0,786	0,779	0,767

Анализ полученных результатов выявил, что наилучшая точность аутентификации достигается при использовании варианта 2, т.е. с применением сигналов X, Y, P и пороговым значением, вычисленным по формуле (2). Используемое при этом количество оригинальных подписей n равно 3. Число поддельных подписей для вычисления порога соответствует числу оригинальных подписей, т.е.  $m = n$ .



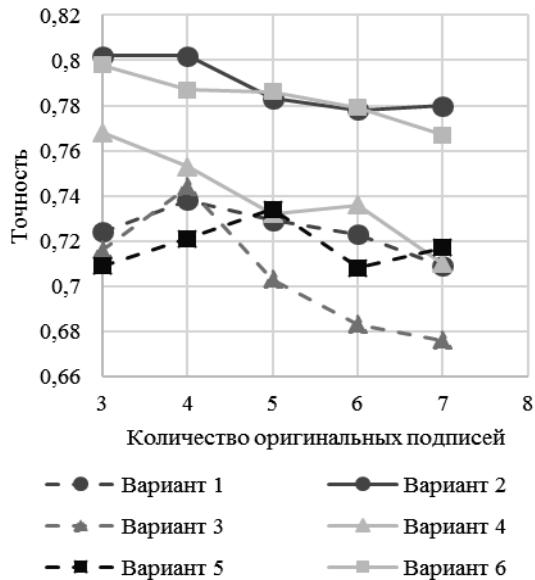


Рис. 2. Зависимость средней точности от количества оригинальных подписей для локальных признаков

### Аутентификация на основе глобальных признаков

Алгоритм аутентификации пользователя на основе глобальных признаков использует высокоуровневые признаки, представленные в работе [10]. В качестве инструмента принятия решения используются алгоритмы машинного обучения, а именно классификатор  $K$ -ближайших соседей (KNN), деревья решений (TW) и метод опорных векторов (SVM). В обучающих данных оригинальные и поддельные подписи помечаются разными метками и, по сути, проблема аутентификации сводится к проблеме бинарной классификации машинного обучения.

Шаги алгоритма аутентификации представлены ниже:

1. Провести извлечение глобальных признаков из обучающих и тестируемых подписей.

2. Сформировать модель машинного обучения на основе оригинальных и поддельных вариантов подписи пользователя.

3. Осуществить прогноз тестируемой подписи с помощью модели.

Для эксперимента была использована база рукописных подписей, содержащая как оригинальные, так и поддельные подписи. Модели строились на различном количестве данных, а именно: количество оригинальных подписей варьировалось от 3 до 7, а количество поддельных – от 5 до 15.

По результатам экспериментов можно сделать следующий вывод. Наилучшие результаты показаны при 15 поддельных подписях. Сравнение точностей моделей представлено в табл. 2 и на рис. 3.

Проанализировав полученные данные экспериментов, выявлено, что алгоритм аутентификации пользователя с использованием модели SVM является наиболее точным. Число оригинальных и поддельных подписей для создания модели использовались 5 и 15 соответственно.

Таблица 2  
Значения средней точности для глобальных признаков

Модель	Количество оригинальных подписей				
	3	4	5	6	7
KNN	0,640	0,644	0,644	0,638	0,643
TW	0,807	0,815	0,827	0,820	0,817
SVM	0,872	0,875	0,880	0,867	0,881

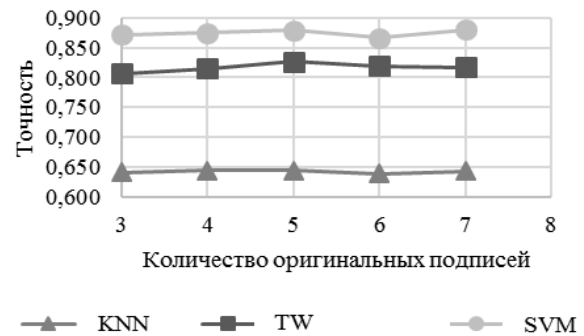


Рис. 3. Зависимость средней точности от количества оригинальных подписей для глобальных признаков

### Сравнение алгоритмов аутентификации

Чтобы сравнить применение локальных и глобальных признаков, сравним результаты точностей алгоритма на основе DTW и алгоритма на основе SVM. Результаты значений точностей проведенных экспериментов для каждого пользователя показаны в табл. 3 и на рис. 4.

Таблица 3  
Сравнение точностей алгоритмов

№ пользователя	Алгоритм	
	DTW	SVM
1	0,778	0,878
2	0,818	0,898
3	0,626	0,868
4	0,696	0,836
5	0,728	0,852
6	0,972	0,95
7	0,676	0,796
8	0,994	0,896
9	0,926	0,948



Рис. 4. График сравнения средней точности алгоритмов с глобальными и локальными признаками

Средняя точность аутентификации по всем пользователям для алгоритма, использующего глобальные признаки, с моделью классификации SVM оказалась выше и составила 0,880. Применение локальных признаков подписи в алгоритме на основе DTW позволило добиться точности 0,802.

### Заключение

В результате проделанной работы проведено сравнение применимости локальных и глобальных признаков рукописных подписей для проблемы аутентификации пользователя. Признаки формировались на основе динамических сигналов подписи, снимаемых с поверхности графического планшета. Применение глобальных признаков в совокупности с моделями машинного обучения позволило получить более высокую точность аутентификации по сравнению с применением локальных признаков. Средняя точность в первом случае составила 0,880, во втором – 0,802.

Несмотря на более высокую точность, алгоритмы с применением моделей машинного обучения имеют один существенный недостаток. Для построения данных моделей необходимы экземпляры как оригинальных, так и поддельных подписей. При практическом применении это вызывает трудности, поскольку создать квалифицированную подделку весьма затруднительно, и точность аутентификации данных моделей, таким образом, будет зависеть от качества предоставленных подделок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках научных проектов, выполняемых коллективами научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Министерству науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FEWM-2020-0042).

### Литература

1. Ходашинский И.А. Аутентификация пользователя по динамике подписи на основе нечеткого классификатора / И.А. Ходашинский, Е.Ю. Костюченко, К.С. Сарин, А.Е. Анфилофьев, М.Б. Бардамова, С.С. Самсонов, И.В. Филимонов // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 4. – С. 657–666.
2. Сарин К.С. Метод баггинга и отбор признаков в построении нечетких классификаторов для распознавания рукописной подписи / К.С. Сарин, И.А. Ходашинский // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 5. – С. 833–845.
3. Encyclopedia of Biometrics / ed. S.Z. Li, A.K. Jain – Boston: Springer, 2015. – 1626 p.
4. Vorugunti C.S. OSVFuseNet: Online Signature Verification by feature fusion and depth-wise separable convolution based deep learning / C.S. Vorugunti, V. Pulabaigari, R.K. Gorthi, P. Mukherjee // Neurocomputing. – 2020. – Vol. 409. – P. 157–172.
5. Song X.Y. Online Signature Verification Based on Stable Features Extracted Dynamically / X.Y. Song, X.H. Xia, F.J. Luan // IEEE Transactions on systems man cybernetics-systems. – 2017. – Vol. 47, No. 10. – P. 2663–2676.
6. Lai S.X. Recurrent Adaptation Networks for Online Signature Verification / S.X. Lai, L.W. Jin // IEEE Transactions on information forensics and security. – Vol. 14, No. 6. – P. 1624–1637.
7. Kholmatov A. Identity authentication using improved online signature verification method / A. Kholmatov, B. Yanikoglu // Pattern Recognition Letters. – 2005. – Vol. 26. – P. 2400–2408.
8. Yang L. Online handwritten signature verification based on the most stable feature and partition / L. Yang, X. Jin,

Q. Jiang // Cluster Computing. – 2019. – Vol. 22. – P. 1691–1701.

9. Wu G. Continuous Identity Authentication Scheme Based on Physiological and Behavioral Characteristics / G. Wu, J. Wang, Y. Zhang, S. Jiang // Sensors. – 2018. – Vol. 22. – P. 179.

10. Fierrez-Aguilar J. An On-line signature verification system based on fusion of local and global information / J. Fierrez-Aguilar, L. Nanni, J. Lopez-Penalba, J. Ortega-Garcia, D. Maltoni // Lecture Notes in Computer Science. – 2005. – Vol. 3546. – P. 523–532.

11. Parodi M. Online Signature Verification: Improving Performance through Pre-classification Based on Global Features / M. Parodi, J.C. Gomez // Lecture Notes in Computer Science. – 2013. – Vol. 8158. – P. 69–76.

12. Jain A. Signature verification using geometrical features and artificial neural network classifier / A. Jain, S.K. Singh, K.P. Singh // Multimedia tools and applications. – 2020. – Vol. 79, No. 27–28. – P. 19993–20018.

13. Ahrabian K. Usage of autoencoders and Siamese networks for online handwritten signature verification / K. Ahrabian, B. BabaAli // Neural computing and applications. – 2019. – Vol. 31, No. 12. – P. 9321–9334.

14. Sakoe H. Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition / H. Sakoe, S. Chiba // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 1978. – Vol. 26, No. 1. – P. 43–49.

15. Salvador S. Toward accurate dynamic time warping in linear time and space / S. Salvador, P. Chan // Intelligent Data Analysis. – 2007. – Vol. 11, No. 5. – P. 561–580.

### Андреевских Дарья Алексеевна

Студентка каф. комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7-962-781-73-18  
Эл. почта: andreevskih.dar@yandex.ru

### Разбойников Сергей Дмитриевич

Студент каф. КИБЭВС ТУСУРа Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7-923-608-22-08  
Эл. почта: leodaf36@mail.ru

### Силич Мария Петровна

Д-р техн. наук, профессор каф. автоматизации обработки информации ТУСУРа Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
ORCID: 0000-0002-2555-8145  
Тел.: +7 (382-2) 70-15-91  
Эл. почта: smp@muma.tusur.ru

### Сарин Константин Сергеевич

Канд. техн. наук, доцент каф. КИБЭВС ТУСУРа Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
ORCID: 0000-0003-3264-7768  
Тел.: +7 (382-2) 70-15-29  
Эл. почта: sks@security.tomsk.ru

Andreevskih D.A., Razboynikov S.D., Silich M.P., Sarin K.S.  
**Comparing the use of local and global features of handwritten signatures for user authentication**

The paper compares two methods of user authentication based on a handwritten signature. The first is based on the extraction of local signature features as functions that depend on the time of its application. The second extracts global signature features that characterize it entirely without reference to the moments of application. Authentication algorithms are presented for each of the methods; experiments are carried out on real handwritten signatures obtained during the study.

**Keywords:** handwritten signature, authentication, machine learning, pattern recognition.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-30-34

### References

1. Hodashinsky I.A., Kostyuchenko E.Yu., Sarin K.S., Anfilov A.E., Bardamova M.B., Samsonov S.S., Filimonenko I.V. Dynamic-signature-based user authentication using a fuzzy classifier. *Computer Optics*, 2018, vol. 42, no. 4, pp. 657–666 (in Russ.).
2. Hodashinsky I.A., Sarin K.S. Bagged ensemble of fuzzy classifier and feature selection for handwritten signature verification. *Computer Optics*, 2019, vol. 43, no. 5, pp. 833–845 (in Russ.).
3. Encyclopedia of Biometrics, ed. S.Z. Li, A.K. Jain, Boston, Springer, 2015. 1626 p.
4. Voruganti C.S., Pulabagari V., Gorthi R.K., Mukherjee P. OSVFuseNet: Online Signature Verification by feature fusion and depth-wise separable convolution based deep learning. *Neurocomputing*, 2020, vol. 409, pp. 157–172.
5. Song X.Y., Xia X.H., Luan F.J. Online Signature Verification Based on Stable Features Extracted Dynamically. *IEEE Transactions on systems man cybernetics-systems*, 2017, vol. 47, no. 10, pp. 2663–2676.
6. Lai S.X., Jin L.W. Recurrent Adaptation Networks for Online Signature Verification. *IEEE Transactions on information forensics and security*. vol. 14, no. 6, pp. 1624–1637.
7. Kholmatov A., Yanikoglu B. Identity authentication using improved online signature verification method. *Pattern Recognition Letters*. 2005, vol. 26, pp. 2400–2408.
8. Yang L., Jin X., Jiang Q. Online handwritten signature verification based on the most stable feature and partition. *Cluster Computing*. 2019, vol. 22, pp. 1691–1701.
9. Wu G., Wang J, Zhang Y., S. Jiang Continuous Identity Authentication Scheme Based on Physiological and Behavioral Characteristics. *Sensors*. 2018, vol. 22, pp. 179.
10. Fierrez-Aguilar J., Nanni L., Lopez-Penalba J., Ortega-Garcia J., Maltoni D. An On-line signature verification system based on fusion of local and global information. *Lecture Notes in Computer Science*, 2005, vol. 3546, pp. 523–532.
11. Parodi M., Gomez J.C. Online Signature Verification: Improving Performance through Pre-classification Based on

Global Features. *Lecture Notes in Computer Science*, 2013, vol. 8158, pp. 69–76.

12. Jain A., Singh S.K., Singh K.P. Signature verification using geometrical features and artificial neural network classifier. *Multimedia tools and applications*, 2020, vol. 79, no. 27–28, pp. 19993–20018.

13. Ahrabian K., BabaAli B. Usage of autoencoders and Siamese networks for online handwritten signature verification. *Neural computing and applications*, 2019, vol. 31, no. 12, pp. 9321–9334.

14. Sakoe H., Chiba S. Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 1978, vol. 26, no. 1, pp. 43–49.

15. Salvador S., Chan P. Toward accurate dynamic time warping in linear time and space. *Intelligent Data Analysis*, 2007, vol. 11, no. 5, pp. 561–580.

---

### Daria A. Andreevskih

Student, Department of Complex Information Security of Computer Systems  
 Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)  
 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
 Phone: +7-962-781-73-18  
 Email: andreevskih.dar@yandex.ru

### Sergey D. Razboynikov

Student, Department of Complex Information Security of Computer Systems TUSUR  
 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
 Phone: +7-923-608-22-08  
 Email: leodaf36@mail.ru

### Maria P. Silich

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
 Department of Information Processing Automation, TUSUR  
 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
 ORCID 0000-0002-2555-8145  
 Phone: +7(382-2) 70-15-91  
 Email: smp@muma.tusur.ru

### Konstantin S. Sarin

Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor,  
 Department of Complex Information Security of Computer Systems TUSUR  
 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
 ORCID 0000-0003-3264-7768  
 Phone: + 7 (382-2) 70-15-29  
 Email: sks@security.tomsk.ru

УДК 681.324

С.П. Сущенко, П.В. Приступа, П.А. Михеев, В.В. Поддубный

## Оценка эффективности прямой коррекции ошибок протокольных блоков данных транспортного протокола

Предложена модель транспортного соединения, управляемого транспортным протоколом с технологией прямой коррекции ошибок в режиме селективного отказа в виде цепи Маркова с дискретным временем, учитывающая влияние протокольных параметров, уровня ошибок в каналах связи, длительности круговой задержки и технологических параметров прямой коррекции ошибок на пропускную способность транспортного соединения. Проведен анализ зависимости преимуществ транспортного протокола с прямой коррекцией ошибок перед классическим транспортным протоколом.

**Ключевые слова:** транспортный протокол, прямая коррекция ошибок, тракт передачи данных, цепь Маркова, пропускная способность транспортного соединения, размер окна, длительность тайм-аута, круговая задержка, уровень потерь.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-35-39

Важнейшим показателем качества взаимодействия абонентов компьютерных сетей является пропускная способность транспортных соединений. Данный показатель в значительной мере определяется транспортным протоколом и его параметрами – шириной окна и длительностью тайм-аута [1]. Моделирование абонентского соединения и анализ его потенциальных возможностей выполнялись в [2–9] и других работах. Моделирование классического транспортного протокола с решающей обратной связью выполнено в [2–7]. Но результаты получены при существенных ограничениях на параметры протокола и факторы, определяющие быстродействие транспортного соединения. В современных транспортных протоколах для снижения объема повторно передаваемого трафика получают широкое распространение технологии прямой коррекции ошибок [10–17]. Примером реализации такой технологии является протокол QUIC кампании Google [10].

В [11, 12] выполнено имитационное исследование ряда сценариев работы транспортного протокола с возможностями простейших механизмов прямой коррекции ошибок для проводных и беспроводных сред передачи данных. Целесообразность применения технологии прямой коррекции ошибок в приложениях реального времени при передаче мультимедийного трафика иллюстрируется на натурных экспериментах в [13–16], дается оценка трудоемкости восстановления искаженных данных, издержек и возможных технологических ограничений в различной коммуникационной среде.

Математическая модель транспортного протокола с технологией прямой коррекции ошибок в межсегментном пространстве рассмотрена в [17]. Для редуцированного признакового пространства параметров, характеристик и факторов, определяющих эффективность прямой коррекции ошибок, найдены области предпочтительного применения данной технологии.

Однако исследование эффективности методов прямой коррекции ошибок [10–17] проводилось преимущественно на качественном уровне, числен-

но и в стендовых экспериментах при значительных ограничениях на характеристики каналов связи, параметры протоколов обмена и коррекции ошибок. Целью настоящей работы является поиск условий, при которых следует в рамках надежного транспортного протокола подключать процедуры прямой коррекции ошибок с различными параметрами.

### Модель транспортного соединения

Рассмотрим процесс переноса данных между абонентами транспортного протокола, основанного на алгоритме с решающей обратной связью и функционирующего в режиме селективного или группового отказа. Примером семейства таких надежных протоколов является доминирующий в современных компьютерных сетях протокол TCP [1].

В режиме селективного отказа повторной передаче от источника подлежат только неприятые получателем протокольные блоки данных (сегменты). Полагаем, что взаимодействующие абоненты имеют неограниченный поток данных для передачи, а обмен выполняется протокольными блоками данных транспортного протокола (сегментами) одинаковой длины.

Подтверждения получателя о корректности приема данных переносятся в сегментах встречного потока. Считаем, что управляющий транспортный протокол имеет дополнительную логику внутрисегментной прямой коррекции ошибок. При этом источник перед отправкой каждого сегмента делит его на  $A \geq 1$  фрагментов равного размера, к ним добавляет  $B - A$ ,  $B \geq A$  избыточных фрагментов той же длины и передает в транспортное соединение расширенный сегмент, состоящий из  $B$  фрагментов. Каждый фрагмент снабжается служебной информацией, позволяющей обнаружить в нем возможные ошибки и восстановить из  $B$  фрагментов исходный сегмент в точке приема.

Искажение до  $B - A$  произвольных фрагментов расширенного сегмента позволяет на стороне получателя восстановить исходный сегмент и не инициировать повторные передачи. Пусть  $f_f$  и  $f_r$  – достоверность передачи фрагмента вдоль транспорт-

ного соединения от источника до адресата и обратно соответственно. Тогда вероятность доставки исходного сегмента адресату с учетом возможности его восстановления получателем с помощью механизма прямой коррекции ошибок задается соотношением

$$\psi_f = \sum_{i=A}^B C_i^B f_f^i (1-f_f)^{B-i},$$

а достоверность получения отправителем подтверждения о корректности доставки составит  $\psi_r = \sum_{i=A}^B C_i^B f_r^i (1-f_r)^{B-i}$ . Данные

параметрические зависимости от  $A$  и  $B$  определяют математическую модель различных методов прямой коррекции ошибок. Считаем, что участки переприема вдоль тракта передачи данных имеют одинаковое быстроедействие в обоих направлениях, а длительность цикла передачи расширенного сегмента в отдельном звене составляет  $t$ .

В общем случае длина пути от источника до адресата, переносящего информационный поток, и длина обратного пути, по которому передаются подтверждения на принятые сегменты, могут быть различными. Полагаем, что длина тракта передачи данных, выраженная в количестве участков переприема, в прямом направлении равна  $D_f \geq 1$ . Обратный тракт, по которому доставляются подтверждения отправителю о корректности приема последовательности сегментов, имеет длину  $D_r \geq 1$ . Считаем, что потерь сегментов из-за блокировок буферной памяти в узлах тракта не происходит.

Управление потоком данных реализуется механизмом скользящего окна [1] размера  $W \geq 1$ . Процесс информационного переноса расширенных сегментов в транспортном соединении может быть описан Марковским процессом с дискретным временем, кратным длительности такта  $t$ , в силу того, что время между получениями подтверждений имеет геометрическое распределение с параметром  $\psi_r$  [2]. Цепь Маркова задает активность отправителя и изменение размера очереди расширенных сегментов в источнике, ожидающих подтверждения. Область возможных состояний цепи Маркова определяется длительностью тайм-аута ожидания подтверждения  $S$ , выраженной в количестве циклов продолжительности  $t$ . Размер тайм-аута связан с длиной тракта и шириной окна неравенствами  $S > W$ ,  $S \geq D_f + D_r$ . Сумма длин прямого и обратного трактов может быть интерпретирована как круговая задержка  $D = D_f + D_r$ , выраженная в длительностях  $t$ . Состояниям цепи Маркова  $i = \overline{0, W}$  соответствует размер очереди переданных, но не подтвержденных сегментов в источнике потока, а состояниям  $i = \overline{W+1, S-1}$  – время, в течение которого отправитель не активен и ожидает получение подтверждения о корректности приема переданной последовательности из  $W$  сегментов. Из нулевого состояния в  $(D-1)$ -е источник продвигается с каж-

дым таким  $t$  с вероятностью детерминированного события. В состояниях  $i \geq D-1$  после истечения очередного дискретного цикла  $t$  к отправителю начинают прибывать подтверждения и, в зависимости от результатов доставки, отправитель передает новые сегменты (при положительном подтверждении), либо повторно – искаженные.

Завершение цикла пребывания в состоянии  $D-1$  соответствует времени доведения первого сегмента до адресата и получения на него подтверждения. Дальнейший рост номера состояния происходит с вероятностью искажения подтверждения  $1-\psi_r$  в обратном тракте. В состояниях  $i \geq D-1$  в режиме селективного отказа получение подтверждения порождает переход в  $(D-1)$ -е состояние при  $W \geq D$  или в состояние  $D+W-2-i$  при  $W \leq D$ . В силу того, что в состояниях  $i \geq W$  источник приостанавливает отправку сегментов, получение подтверждений в состояниях  $i = \overline{W, D+W-3}$  приводит к переходу в состояния  $D+W-2-i$ , а из состояний  $i = \overline{D+W-2, S-2}$  – в нулевое. В состоянии  $S-1$  истекает тайм-аут ожидания подтверждения от получателя о корректности принятых сегментов и происходит безусловный переход в нулевое состояние.

#### Показатель быстроедействия транспортного соединения

Для цепи Маркова с представленной структурой переходных вероятностей распределение вероятностей состояний  $P_i$ ,  $i = \overline{0, S-1}$  определяется соотношениями между протокольными параметрами  $W$ ,  $S$  и длительностью круговой задержки  $D$  и имеет функциональный вид, полученный в [2]. Важнейшей операционной характеристикой протокола является его пропускная способность, определяемая параметрами тракта передачи данных, накладными расходами и особенностями протокольных процедур управления передачей [1, 2]. Нормированное быстроедействие транспортного соединения определяется средним числом доставленных получателю неискаженных сегментов за среднее время между двумя последовательными поступлениями подтверждений [2]. Поскольку время между приходами подтверждений распределено по геометрическому закону с параметром  $\psi_r$ , то для селективной процедуры отказа пропускная способность определится зависимостью [2]

$$Z(W, S, D, A, B) = \psi_r \left\{ \sum_{i=D-1}^{D+W-2} (i-D+2) \psi_f P_i + W \psi_f \sum_{i=D+W-1}^{S-1} P_i \right\}.$$

#### Области целесообразности применения прямой коррекции ошибок

Рассмотрим эффективность применения технологии прямой коррекции ошибок протокольных блоков данных на уровне надежного транспортного протокола в пространстве каждого сегмента. Согласно технологической процедуре прямой коррек-

ции ошибок отправитель разбивает каждый передаваемый информационный сегмент на  $A$  фрагментов одинаковой длины, добавляет к ним  $B - A \geq 0$  избыточных фрагментов того же размера, позволяющих восстановить сегмент на принимающей стороне при искажении не более чем  $B - A$  произвольных фрагментов расширенного сегмента.

Получатель при приеме расширенного сегмента с искаженными фрагментами пытается восстановить его и по результатам восстановления высылает отправителю подтверждение, упакованное в аналогичный информационный расширенный сегмент встречного потока.

Эффективное применение технологии прямой коррекции ошибок предполагает поиск коэффициента фрагментации сегмента  $A$  и числа дополнительных избыточных фрагментов  $B - A$  для коррекции ошибок, обеспечивающих максимальное быстродействие транспортного соединения с заданными характеристиками и протокольными параметрами. Наличие избыточных фрагментов в передаваемой последовательности увеличивает вероятность доставки получателю сегмента, однако это достигается за счет роста накладных расходов в виде времени переноса дополнительных данных. В связи с этим возникает задача поиска в многомерном признаковом пространстве области значений характеристик транспортного соединения  $(D, \Psi_f, \Psi_r)$ , параметров транспортного протокола  $(W, S)$  и механизма прямой коррекции ошибок  $(A, B)$ , обеспечивающих превосходство управляющей процедуры с прямой коррекцией ошибок перед классической протокольной процедурой с решающей обратной связью без использования коррекции ошибок. Сравнение управляющих процедур выполним в условиях равных интенсивностей абонентских информационных потоков, предлагаемых к передаче. Определим выигрыш в быстродействии от применения механизма прямой коррекции ошибок по сравнению с классической протокольной процедурой с решающей обратной связью в виде

$$\Delta(A, B) = Z(W, S, D, A, B) - Z(W, S, D, 1, 1).$$

Проанализируем значения выигрыша без учета накладных расходов, связанных с необходимостью введения дополнительных заголовков в каждый фрагмент исходного сегмента для диагностики в них ошибок и корректной сборки сегмента из набора фрагментов. В общем случае сравнительный анализ удастся провести только численно. В ряде случаев за счет снижения размерности признакового пространства область положительных значений выигрыша удастся найти в простом аналитическом виде. В режиме селективного отказа, полагая  $W \rightarrow \infty$  либо абсолютно надежный обратный тракт передачи данных ( $f_r = 1$ ), выигрыш приобретает простой аналитический вид, инвариантный к размеру окна

$$\Delta(A, B) = \frac{A\Psi_f}{B} - f_f^A \text{ при } W \geq D \text{ и зависящий от}$$

$$\text{ширины окна } \Delta(A, B) = \frac{1}{D - W + 1} \left( \frac{A\Psi_f}{B} - f_f^A \right) \text{ при}$$

$W < D$ . Отсюда для параметров прямой коррекции ошибок, удовлетворяющих условию  $B = A + 1$ ,  $A \geq 1$ , нетрудно видеть, что область положительных значений выигрыша существует для  $A \geq 2$  на интервале  $f_f \in \left( 0, 1 - \frac{1}{A^2} \right)$ . Максимальное значение вы

$$\text{игрыша } \Delta(A, A + 1) = \frac{(A - 1)^{A + 1}}{A^A (A + 1)} \text{ при } W \geq D \text{ и}$$

$$\Delta(A, A + 1) = \frac{(A - 1)^{A + 1}}{A^A (A + 1)(D - W + 1)} \text{ при } W < D \text{ дости}$$

гается для  $f_f = 1 - \frac{1}{A}$ . С ростом параметра прямой коррекции ошибок  $A$  положение максимума выигрыша дрейфует вправо по координате  $f_f$ , а максимальный выигрыш растет от значений  $\Delta(2, 3) = 1/12$  и  $\Delta(2, 3) = 1/12(D - W + 1)$  при  $W \geq D$  и  $W < D$  соответственно до  $\Delta(\infty, \infty) = 1/e$  и  $\Delta(\infty, \infty) = 1/e(D - W + 1)$ .

Для технологических параметров механизма прямой коррекции ошибок  $B = A + 2$ ,  $A \geq 1$  положительный выигрыш достигается на области значений достоверности доставки фрагментов  $f_f \in \left( 0, \frac{(A - 1)(A + 2)}{A(A + 1)} \right)$ ,  $A \geq 2$ , а максимум – в точке  $f_f = 1 - \sqrt{\frac{2}{A(A + 1)}}$ . Оптимальные значения выигрыша с увеличением  $A$  растут от 0,103 до 0,587. Численные исследования выигрыша для произвольных значений параметров многомерного признакового пространства показывают, что  $\Delta(A, B)$  имеет унимодальный характер зависимости от достоверности доставки фрагментов данных в области  $f_f \in (0, 1)$ .

Следует отметить, что при прочих равных условиях с увеличением коэффициента разбиения сегмента на фрагменты (параметра  $A$ ) размер фрагментов снижается и как следствие растет достоверность его доставки получателю  $f_f$ . В связи с этим для корректного сравнительного анализа выигрыша при различных значениях параметра  $A$  необходимо перейти к показателю достоверности доставки получателю отдельного бита, байта или слова.

#### Заключение

В работе предложена модель транспортного протокола с технологией прямой коррекции ошибок, реализованной в пространстве каждого сегмента, и подтверждением данных, принятых получателем после процедуры прямой коррекции. Показано, что в режиме селективного повтора применение механизма прямой коррекции ошибок целесообразно и особенно выгодно на полностью загруженных транс

портных соединениях ( $W \geq D$ ) с большой круговой задержкой ( $D$ ). В целом преимущество прямой коррекции ошибок в значительной мере определяется достоверностью передачи фрагментов ( $f_f$  и  $f_r$ ), параметрами фрагментации исходного сегмента ( $A$ ) и дополнительных избыточных данных ( $B-A$ ), а также соотношением между шириной окна и длительностью круговой задержки. Направлением дальнейшего анализа следует выделить проблему исследования операционных характеристик транспортных соединений в условиях конкуренции абонентов за доступную полосу пропускания разделяемых участков переприема сетевого маршрута. Важной задачей является обобщение полученных в данной работе результатов на случай конкурентного использования пропускной способности соединительного пути трафика различных абонентских соединений с разделяемыми каналами тракта передачи данных.

#### Литература

1. Fall K. TCP/IP Illustrated, Vol. 1: The Protocols (2nd Ed.) / K. Fall, R. Stevens. – Addison-Wesley Professional Computing Series, 2012. – 1017 p.
2. Kokshenev V.V. Comparative Analysis of the Performance of Selective and Group Repeat Transmission Models in a Transport Protocol / V.V. Kokshenev, P.A. Mikheev, S.P. Sushchenko // Automation and Remote Control. – 2017. – Vol. 78, No 2. – P. 247–261.
3. Kokshenev V. Analysis of the Throughput in Selective Mode of Transport Protocol / V. Kokshenev, P. Mikheev, S. Suschenko, R. Tkachyov // CCIS. – 2016. – Vol. 678. – P. 168–181.
4. Kassa D.F. Analytic Models of TCP Performance: PhD Thesis. – Stellenbosch: University of Stellenbosch, 2005. – 199 p.
5. Giordano S. Modeling TCP Startup Performance / S. Giordano, M. Pagano, F. Russo, R. Secchi // Journal of Mathematical Sciences. – 2014. – Vol. 200, Iss. 4. – P. 424–431.
6. Kravets O.Ya. Mathematical Modeling of Parameterized TCP Protocol // Automation and Remote Control. – 2013. – Vol. 74, No. 7. – P. 1218–1224.
7. Arvidsson A. A model of a TCP link / A. Arvidsson, A. Krzesinski // Proceedings of the 15th International Teletraffic Congress Specialist Seminar, 2002.
8. Olsen Y. Stochastic modeling and simulation of the TCP protocol // Uppsala Dissertations in mathematics. – 2003. – Vol. 28. – 94 p.
9. Nikitinskiy M.A. Performance analysis of trickles and TCP transport protocols under high-load network conditions / M.A. Nikitinskiy, D.Ju. Chalyy // Automatic Control and Computer Sciences. – 2013. – Vol. 47, No. 7. – P. 359–365.
10. The QUIC Transport Protocol: Design and Internet-Scale Deployment / Langley Adam, Riddoch Alistair, Wilk Alyssa, Vicente Antonio, Krasic Charles, Zhang Dan, Yang Fan, Kouranov Fedor, Swett Ian, Iyengar Janardhan, Bailey Jeff, Dorfman Jeremy, Roskind Jim, Kulik Joanna, Westin Patrik, Tenneti Raman, Shade Robbie, Hamilton Ryan, Vasiliiev Victor, Chang Wan-The, Shi Zhongyi // SIGCOMM '17. – August, 2017. – Los Angeles, CA, USA. – P. 183–196.
11. Lundqvist H. TCP with end-to-end FEC / H. Lundqvist, G. Karlsson // Communications. – 2004 International Zurich Seminar on. – 2004. – P. 152–156.
12. Barakat Ch. Bandwidth tradeoff between TCP and link-level FEC / Ch. Barakat, E. Altman // Computer Networks. – 2002. – No. 39. – P. 133–150.
13. Shalin R. Multimedia Data Transmission through TCP/IP using Hash Based FEC with AUTO-XOR Scheme / R. Shalin, D. Kesavaraja // ICTACT Journal on Communication Technology. – 2012. – Vol. 03, Iss. 03. – P. 604–609.
14. Ribadeneir A.F. An Analysis of the MOS under condition of delay, jitter and packet loss and an analysis of the impact of introducing piggybacking and Reed Solomon FEC for VOIP: Master's thesis. – Georgia State University, 2007.
15. Performance analysis of a high-performance real-time application with several al-fec schemes / K. Matsuzono, J. Detchart, M. Cunche, V. Roca, H. Asaeda // Proceedings of the IEEE 35th Conference on Local Computer Networks (LCN'10). – 2010. – P. 1–7.
16. Herrero R. Modeling and comparative analysis of Forward Error Correction in the context of multipath redundancy // Telecommunication Systems. Modelling, Analysis, Design and Management. – 2017. – Vol. 65(4). – P.783–794.
17. Mikheev P. Estimation of High-Speed Performance of the Transport Protocol with the Mechanism of Forward Error Correction / P. Mikheev, S. Suschenko, R. Tkachev // Communications in Computer and Information Science. – 2017. – Vol. 700. – P. 259–268.

#### Сущенко Сергей Петрович

Д-р техн. наук, профессор, зав. каф. прикладной информатики (ПИ) Национального исследовательского Томского государственного университета (НИ ТГУ) Ленина пр-т, д. 36, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 52-94-96  
Эл. почта: ssp.inf.tsu@gmail.com

#### Приступа Павел Викторович

Ассистент каф. ПИ НИТГУ Ленина пр-т, д. 36, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 52-94-96  
Эл. почта: pristupa@gmail.com

#### Михеев Павел Андреевич

Канд. техн. наук, вед. программист каф. ПИ НИ ТГУ Ленина пр-т, д. 36, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 52-94-96  
Эл. почта: doka.patrick@gmail.com

#### Поддубный Василий Васильевич

Д-р техн. наук, профессор, профессор каф. ПИ НИ ТГУ Ленина пр-т, д. 36, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 52-94-96  
Эл. почта: vvpoddubny@gmail.com

#### Sushchenko S.P., Pristupa P.V., Mikheev P.A., Poddubny V.V. Evaluation of the efficiency of forward error correction of transport protocol data blocks

A model of a transport connection controlled by a transport protocol with the technology of forward error correction in the selective failure mode in the form of a discrete-time Markov chain is proposed. The model takes into account the influence of the protocol parameters, the level of errors in the communication channels, the round-trip delay and the technological parameters of forward error correction on the throughput of

the transport connection. The analysis of the dependence of the advantages of the transport protocol with forward error correction over the classical transport protocol is carried out.

**Keywords:** transport protocol, forward error correction, data transmission path, Markov chain, transport connection throughput, window size, timeout duration, round-trip delay, loss level.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-35-39

### References

1. Fall K., Stevens R. *TCP/IP Illustrated, Vol. 1: The Protocols* (2nd Edition). Addison-Wesley Professional Computing Series, 2012, 1017 p.
2. Kokshenev V.V., Mikheev P.A., Sushchenko S.P. Comparative Analysis of the Performance of Selective and Group Repeat Transmission Models in a Transport Protocol. *Automation and Remote Control*, 2017, vol. 78, no. 2, pp. 247–261.
3. Kokshenev V., Mikheev P., Suschenko S., Tkachyov R. Analysis of the Throughput in Selective Mode of Transport Protocol. CCIS, 2016, vol. 678, pp.168–181.
4. Kassa D.F. *Analytic Models of TCP Performance*. PhD Thesis, University of Stellenbosch, 2005, 199 p.
5. Giordano S., Pagano M., Russo F., Secchi R. Modeling TCP Startup Performance. *Journal of Mathematical Sciences*, 2014, vol. 200, Iss. 4, pp 424–431.
6. Kravets O.Ya. Mathematical Modeling of Parameterized TCP Protocol. *Automation and Remote Control*, 2013, vol. 74, no. 7, pp. 1218–1224.
7. Arvidsson A., Krzesinski A. A model of a TCP link. *In Proceedings of the 15th International Teletraffic Congress Specialist Seminar*, 2002.
8. Olsen Y. Stochastic modeling and simulation of the TCP protocol. *Uppsala Dissertations in mathematics*, 2003, 28, 94 p.
9. Nikitinskiy M.A., Chalyy D.Ju. Performance analysis of trickles and TCP transport protocols under high-load network conditions. *Automatic Control and Computer Sciences*, 2013, vol. 47, no. 7, pp. 359–365.
10. Adam Langley, Alistair Riddoch, Alyssa Wilk, Antonio Vicente, Charles Krasnic, Dan Zhang, Fan Yang, Fedor Kouranov, Ian Swett, Janardhan Iyengar, Jeff Bailey, Jeremy Dorfman, Jim Roskind, Joanna Kulik, Patrik Westin, Raman Tenneti, Robbie Shade, Ryan Hamilton, Victor Vasiliev, Wan–The Chang, Zhongyi Shi. The QUIC Transport Protocol: Design and Internet-Scale Deployment. *SIGCOMM '17*, August, 2017, Los Angeles, CA, USA, pp. 183–196.
11. Lundqvist H., Karlsson G. TCP with end-to-end FEC. *Communications*, 2004 International Zurich Seminar on, 2004, pp. 152–156.
12. Barakat Ch., Altman E. Bandwidth tradeoff between TCP and link-level FEC. *Computer Networks*, 2002, no. 39, pp. 133–150.

13. Shalin R., Kesavaraja D. Multimedia Data Transmission through TCP/IP using Hash Based FEC with AUTO-XOR Scheme. *ICTACT Journal on Communication Technology*, 2012, vol. 03, iss. 03, pp. 604–609.

14. Ribadeneir A.F. *An Analysis of the MOS under condition of delay, jitter and packet loss and an analysis of the impact of introducing piggybacking and Reed Solomon FEC for VOIP*. Master's thesis, Georgia State University, 2007.

15. Matsuzono K., Detchart J., Cunche M., Roca V., Asaeda H. Performance analysis of a high-performance real-time application with several al-fec schemes. *Proceedings of the IEEE 35th Conference on Local Computer Networks*, LCN'10, 2010, pp. 1–7.

16. Herrero R. Modeling and comparative analysis of Forward Error Correction in the context of multipath redundancy. *Telecommunication Systems. Modelling, Analysis, Design and Management*. 2017, vol. 65(4), pp.783–794.

17. Mikheev P., Suschenko S., Tkachev R. Estimation of High-Speed Performance of the Transport Protocol with the Mechanism of Forward Error Correction. *Communications in Computer and Information Science*, 2017, vol. 700, pp. 259–268.

---

### Sergey P. Sushchenko

Doctor of Engineering Sciences, professor,  
head of Applied Informatics department (AI),  
National Research Tomsk State University (NI TGU)  
36, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 52-94-96  
Email: ssp.inf.tsu@gmail.com

### Pavel V. Pristupa

Department assistant, PI, NI TGU  
36, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 52-94-96  
Email: pristupa@gmail.com

### Pavel A. Mikheev

Cand. of Engineering Sciences,  
led. of Programmer PI department, NI TGU  
36, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 52-94-96  
Email: doka.patrick@gmail.com

### Vasiliy V. Poddubny

Doctor of Engineering Sciences,  
professor AI department, NI TGU  
36, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 52-94-96  
Email: vvpoddubny@gmail.com



УДК 681.518(075.8)

А.И. Исакова, А.М. Корилов, С.М. Левин

## Многокритериальный выбор на основе матрицы критериев при оценке эффективности программного обеспечения информационных систем

Обсуждаются проблемы и методы многокритериального выбора на примере анализа эффективности программного обеспечения. Рассмотрены матрица критериев (приоритетов) и методы ее построения. Предложено применение матрицы критериев (приоритетов) для оценки эффективности программного обеспечения. Приведены результаты анализа аналогов программного обеспечения по учету и контролю договоров на предприятии с помощью матрицы приоритетов.

**Ключевые слова:** многокритериальный выбор, матрица критериев, коэффициенты веса, консенсуальный метод, программное обеспечение, информационные системы.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-40-44

Известно, что успех любой компании зависит от того, какие решения принимают ее руководители. Можно положиться на интуицию, а можно использовать методики выбора и принятия решений, базирующиеся на теории систем и системном анализе и помогающие принимать взвешенные и обдуманные решения [1–3].

Кажущаяся очевидность приоритетов, полученная тем или иным методом, подчас бывает ошибочна. Это влечёт за собой ущербные решения, основанные на неверной идентификации каждого из принимаемых во внимание значимых факторов в их общей (совокупной) системе. Чтобы избежать ошибок такого рода и корректно определить весомость каждого важного параметра в реализации поставленной задачи и принимаемого решения, используются различные методы.

На практике современный руководитель для принятия управленческого решения может использовать широкий спектр методов и инструментов. Их обычно делят на качественные и количественные методы. Качественные методы именуются методами, которые используют, как правило, опыт специалистов-экспертов и интуиции [3]. К ним относятся такие методы, как коллективная генерация идей, дерево целей, мозговая атака, экспертные оценки, морфологические методы и т.д. Методы формализованного представления систем обычно называются количественными методами [3]. Применяются также комплексированные методы как комбинация нескольких методов, среди которых в большей степени используются графические методы и статистические. Хотя логические, лингвистические, семиотические, аналитические, теоретико-множественные методы также используются специалистами для принятия решений [2–4].

В данной статье основное внимание уделено матрице приоритетов (матрице критериев) – инструменту, который предоставляет возможность ранжирования полученной на основе матричных диаграмм или мозгового штурма данных в зависимости от степени их важности. Часто участники

процесса принятия решения обладают различными мнениями в отношении приоритетности данных, особенно когда отсутствуют объективные критерии оценки этих данных, тогда использование матрицы приоритетов – одно из возможных решений в данной ситуации.

### Методы построения матрицы приоритетов

Ранее данный инструмент применялся при установлении приоритетов значимых числовых данных, выявленных в таблицах качества (матричных диаграммах) [1]. Со временем, по причинам своей простоты и практичности, область применения матрицы приоритетов расширилась. В наше время метод широко применяется в разных областях, включая управление качеством и стратегию развития организаций и предприятий.

Построение матрицы критериев, или матрицы приоритетов, – условно конечное звено в цепочке процессов, целью которых является определение степени важности данных и информации.

Построить матрицу можно тремя методами – аналитическим, матричным и консенсуальным. Основное отличие этих методов друг от друга – механизм установления рейтинговой шкалы, или баллов, с помощью которых оцениваются все элементы матрицы.

Для решения данной задачи формируется коллектив специалистов-экспертов, обладающих опытом групповой работы в рассматриваемой предметной области, для которой и создаётся матрица критериев. Они и определяют постановку цели и критерии, положенные в основу построения матрицы.

Далее начинается непосредственная работа с матрицей приоритетов – все выбранные критерии подлежат числовой оценке, потом отбрасываются неважные и несущественные. В конечном итоге каждый критерий получает свой рейтинг одним из трёх методов, указанных выше.

При применении *аналитического метода* построения матрицы приоритетов устанавливается шкала баллов для каждого ее элемента и каждому его значению присваивается определенный вес, со-

ответствующий важности (высокая – средняя – низкая). Этот метод следует применять при небольшом числе критериев (не более шести). Еще одно условие применения этого метода – полное согласие всех экспертов, которые участвуют в оценке, их число не должно быть более пяти человек. Если между экспертами не будет достигнуто единство мнений, это может привести к большим потерям.

L-матрица, получившая свое название ввиду ее формы представления, применяется в *матричном методе*. В этой матрице для определения взаимосвязи элементов двух списков и располагаются сравниваемые критерии. Далее попарно выполняются сравнение критериев, и те критерии, которые получили меньший рейтинг, больше не участвуют и отбрасываются. Если вес критериев, которые остались, по отношению друг к другу не удовлетворяют экспертов, то процедура сравнения повторяется, а сравниваемые списки становятся равнозначными друг к другу и еще происходит сравнение элементов между собой.

Суммарная групповая оценка индивидуального ранжирования положена в основу *консенсуального метода*. Условия применения этого метода – число экспертов более шести человек, наличие большого (от шести до пятнадцати) числа критериев и число ранжируемых данных находится в интервале от пяти до десяти элементов. Участники (эксперты) рассматриваемой предметной области распределяют между критериями конкретное число баллов. После этого каждый эксперт субъективно определяет определенное количество баллов из общего числа каждому элементу списка критериев. Затем подсчитывается итоговое число баллов, определенное экспертами каждому из критериев.

Далее рассмотрим применение матрицы критериев (матрицы приоритетов) на задаче выбора программного обеспечения (ПО) для информационной системы (ИС) предприятия и оценки эффективности ПО в ИС предприятия.

#### Применение матрицы критериев для оценки эффективности программного обеспечения

Первое впечатление от применения матрицы критериев – этот метод сложный, громоздкий для получения оперативного управленческого решения. Но в своём упрощённом варианте матрица результативна и проста в использовании [5].

На примере оценки эффективности любого программного обеспечения на предприятии можно рассмотреть, как консенсуальный метод построения матрицы критериев (матрицы приоритетов) работает на практике.

В рассматриваемом случае для сравнения аналогов программного продукта выбор важных критериев происходит с помощью субъективной оценки коллектива экспертов.

В группу экспертов, осуществляющих формирование критериев и их ранжирование, могут входить: руководитель предприятия, бухгалтер, экономист, менеджер, юрист, системный администратор,

а также программист, обслуживающий программное обеспечение (ПО).

Будущие пользователи системы определяют спектр значимых факторов, позднее трансформирующийся в список критериев – требований к самому программному продукту:

1. Стоимость покупки ПО и его дальнейшего сопровождения.

2. Удобство использования ПО – способность быть привлекательным (в плане удобства интерфейса) продуктом для пользователя в заданных условиях [6].

3. Удобство сопровождения ПО – уровень простоты тестирования ПО, его анализа, а также обслуживания программного обеспечения и последующей адаптации к новым условиям.

4. Надёжность ПО – способность программного обеспечения к безотказному выполнению определенных функций при заданных условиях в определенном периоде времени с высокой вероятностью безотказной работы [6].

5. Функциональность ПО – способность к выполнению набора функций, удовлетворяющих предполагаемые потребности пользователей.

6. Защищённость ПО – способность минимизации угроз несанкционированного чтения, копирования или изменения информации.

7. Изменяемость ПО – возможность внесения изменений в рассматриваемое ПО из-за возникших внутренних изменений у потребителей или внешних требований.

Используя принципы консенсуального метода, каждому из экспертов предоставляется определённое количество баллов (в нашем примере выберем семь баллов), которые они должны распределить между элементами отобранного списка критериев. Далее баллы суммируются по каждому критерию, в результате чего элементы списка имеют индивидуальные коэффициенты (коэффициенты веса, рис. 1).

Критерии	Коэффициент веса
Стоимость	5
Удобство использования	7
Удобство сопровождения	3
Надёжность	5
Функциональность	5
Защищённость	4
Изменяемость	6
Сумма баллов	35

Рис. 1. Коэффициенты веса

Поскольку количество критериев невелико (семь) и их значимость обязательна в оценке каждого продукта, то в данном случае сравниваются одинаковые списки (А и Б). После построения L-матрицы итоговые элементы списка (сумма баллов, коэффициент веса, итоговое значение) располагаются в крайних столбцах справа (рис. 2).

Каждый элемент критерия из списка А сравнивается со всеми элементами списка Б. Если критерий списка А существеннее критерия списка Б, то в

поле их пересечения ставится цифра 1, в противном случае – цифра 0. После заполнения матрицы (0 и 1) суммируются результаты в каждой строке и заполняется столбец «Сумма баллов». С помощью определенных ранее коэффициентов веса вычисляются итоговые значения веса или важности каждого из критериев.

Критерии	Список Б							Сумма баллов	Коэффициент веса	Итоговое значение
	Стоимость	Удобство использования	Удобство сопровождения	Надёжность	Функциональность	Защищённость	Изменяемость			
Стоимость	1	1	0	0	0	1	3	5	15	
Удобство использования	0	1	0	0	0	1	2	7	14	
Удобство сопровождения	0	0	1	0	0	1	1	3	3	
Надёжность	1	1	1	0	1	0	4	5	20	
Функциональность	1	1	1	1	0	1	5	5	25	
Защищённость	1	1	1	0	0	0	3	4	12	
Изменяемость	0	0	0	1	1	1	3	6	18	

Рис. 2. Матрица критериев

На рис. 3 представлен список критериев, построенный в порядке их приоритетности.

Индекс приоритета	Критерии	Итоговый вес в баллах
1	Функциональность	25
2	Надёжность	20
3	Изменяемость	18
4	Стоимость	15
5	Удобство использования	14
6	Защищённость	12
7	Удобство сопровождения	3
Суммарное значение		107

Рис. 3. Результирующий список критериев

Понятно, что приоритеты выбранных критериев установлены субъективно. Может возникнуть вопрос, почему, например, «Стоимость» имеет пятнадцать баллов, а «Удобство сопровождения» – всего три?

Ресурсно-ориентированный подход [7] к оценке ПО нацелен на сокращение объёма ручного труда и возможных ошибок, возникающих при адаптации ПО к изменяющимся требованиям внешней среды и пользователей данного программного продукта. В итоге такие критерии, как функциональность, надёжность и изменяемость ПО, получили более высокие баллы, чем стоимость. Но стоимость для любого предприятия является значимым критерием, поэтому ей нашлось место в середине полученного списка критериев. Удобство использования и защищённость в данной ситуации оценены меньше, а критерий «Изменяемость», имеющий восемнадцать баллов, дает возможность изменять программный продукт в период эксплуатации на основании возникших замечаний пользователей, полученных в процессе опытной эксплуатации ПО [7].

### Анализ аналогов программного обеспечения по учету и контролю договоров на предприятии с помощью матрицы приоритетов

Анализ аналогов ПО с помощью матрицы критериев выполним на примере анализа информационных систем (ИС) учета и контроля договоров на предприятиях [8–15].

Матрица критериев при оценке аналогов программного обеспечения в рассматриваемой предметной области, касающейся автоматизации учёта договоров, применялась следующим образом.

Каждый из отобранных программных продуктов должен быть оценен по каждому критерию. Если рассматриваемое ПО обладало в достаточной степени (по мнению экспертов) требуемым качеством, то данному критерию присваивалось значение 1, в противном случае – значение 0. Например, почти у всех рассмотренных ПО критерий «Стоимость» имеет значение 0, так как ПО имеет достаточно высокую собственную стоимость. Например, программа «Юрайт: Согласования и договоры» от ООО «Юрайт» (1С и Битрикс) – 147 000 руб. Система «Управление договорами» от ООО «РКИТ». – 400 тыс. руб. Кроме того, рассматриваемые программные продукты могут иметь дополнительную косвенную стоимость, если ПО разработано как дополнительный модуль к основному ПО, например на платформе 1С.

Таким образом, для использования требуемых модулей ПО необходимо приобретение основного ПО, что влечёт добавочные затраты.

С другой стороны, критерий «Функциональность» у большинства рассматриваемых программ имеет значение 1, поскольку эти ПО способны выполнять набор основных функций, требуемых заказчику.

На рис. 4 показаны результаты первого шага предлагаемой методики оценки аналогов программного обеспечения.

	Стоимость	Удобство использования	Удобство сопровождения	Надёжность	Функциональность	Защищённость	Изменяемость
Вес критерия в баллах	15	14	3	20	25	12	18
ARAX GROUP	0	0	0	1	1	0	0
Мой Склад	0	0	1	1	0	0	0
Респект»	0	0	0	1	1	1	0
СІТЕСК ECOS	0	1	1	0	1	0	0
Класс365	1	0	0	0	1	0	0
Договор Партнер	0	1	1	1	0	1	0
Согласования и договоры	0	0	1	0	1	0	0
РКИТ	0	1	0	1	1	1	0

Рис. 4. Представление оценки аналогов по соответствию требуемым критериям

Как было показано выше, каждый из критериев имеет свой вес в баллах. Очевидно, что для предприятия критерии надёжности и функциональности не равноценны (см. рис. 3). Поэтому на втором шаге поля матрицы умножаются на числовое значение

веса каждого критерия. В результате конечная оценка в баллах по каждому рассматриваемому ПО имеет вид, представленный на рис. 5. Сумма общего веса критериев в баллах равна 107 (см. рис. 3).

Аналоги программного обеспечения	Стоимость		Удобство использования		Удобство сопровождения		Надёжность		Функциональность	Защищённость	Изменяемость	Итоговое значение
ARAX GROUP	0	0	0	0	20	25	0	0	0	0	0	45
Мой Склад	0	0	3	20	0	0	0	0	0	0	0	23
Респект»	0	0	0	20	25	12	0	0	0	0	0	57
CITECK ECOS	0	14	3	0	25	0	0	0	0	0	0	42
Класс365	15	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	40
Договор Партнер	0	14	3	20	0	12	0	0	0	0	0	49
Согласования и договоры	0	0	3	0	25	0	0	0	0	0	0	28
РКИТ	0	14	0	20	25	12	0	0	0	0	0	71

Рис. 5. Представление конечной оценки аналогов

Ни один из рассматриваемых аналогов программного обеспечения не набрал даже половины, кроме программы «Респект: Учёт договоров» (57 баллов). Ей и было отдано предпочтение.

Отметим, что согласно оценке коллектива экспертов для получения требуемого результата необходимы все-таки разработка и создание собственной информационной системы, учитывающей специфику хозяйственной деятельности и документооборота предприятия, требования к функциональности и критерии, предъявляемые экспертами.

#### Заключение

По сравнению с другими методами ранжирования матрица критериев (приоритетов) предоставляет возможность для объективной оценки значимости данных и установления величины этой значимости.

Вместе с тем следует отметить и недостаток описанного инструмента оценки качества программных продуктов – он достаточно трудоемкий, особенно в случае необходимости проведения ранжирования большого числа данных и по большому числу критериев.

Очень часто взвешенные оценки не совпадают с предубеждением разработчика о том, какой из вариантов является «лучшим». И это хорошо! Матрица критериев позволяет реально сравнить варианты без субъективной предвзятости разработчика в отношении какого-либо варианта. Это помогает руководителям в принятии решений. Тот факт, что каждый оценочный критерий предварительно взвешивается, позволяет провести объективный, непредвзятый анализ и выяснить, насколько хорошо каждый вариант конструкции соответствует тому, что является наиболее важным для компании. Результаты редко получаются некорректными (кроме случаев, когда вес или оценки подгоняет сам эксперт, предвзято подходя к оценке с самого начала процесса).

Основные выводы по использованию матрицы критериев при оценке ПО:

– можно использовать неограниченное количество критериев;

– критерии должны иметь разный вес в зависимости от их значимости, который определяют эксперты;

– часто результаты матрицы отличаются от тех, которые казались интуитивно верными. Это заставляет внимательнее оценить альтернативы.

С помощью матрицы критериев можно определить несколько лидеров для дальнейшего использования или сделать вывод, что ни один из рассматриваемых вариантов полностью не удовлетворяет группу экспертов.

#### Литература

1. Бобрышев А.Д. Применение современных управленческих инструментов при внедрении новаций на промышленных предприятиях / А.Д. Бобрышев, Е.С. Панова (Зенова). – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2016. – 152 с.

2. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КНОРУС, 2017. – 322 с.

3. Кориков А.М. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / А.М. Кориков, С.Н. Павлов. – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2008. – 264 с.

4. Орлов А.И. Методы принятия управленческих решений: учеб. / А.И. Орлов. – М.: КНОРУС, 2018. – 286 с.

5. Amitava Mitra. Fundamentals of Quality Control and Improvement. – Third Edition. – John Wiley & Sons, 2008. – 816 p.

6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010–2015. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов. – М.: Стандартинформ, 2015. – 29 с.

7. Джексон Т. Хосин. Как заставить стратегию работать: пер. с англ. – М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2008. – 248 с.

8. Ведение договоров от ARAX GROUP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.araxgroup.ru/opdog/Glava2/vozmozn.htm>, свободный (дата обращения: 20.10.2020).

9. Программа «Мой Склад» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.moysklad.ru/programmy-dlja-biznesa/programma-dlja-ucheta-dogovorov/>, свободный (дата обращения: 18.10.2020).

10. Программа «Респект: Учёт договоров» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dogovorum.ru/product>, свободный (дата обращения: 20.11.2020).

11. Система управления договорами «CITECK» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.citeck.ru/solutions/citeck-ecos-contract-management/>, свободный (дата обращения: 28.10.2020).

12. Программа для учета договоров в организации «Класс365» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://class365.ru/programma-dlya-ucheta-dogovorov/>, свободный (дата обращения: 11.11.2020).

13. Программа «Договор Партнер» от компании «РП Интеграция» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dogovorpartner.ru>, свободный (дата обращения: 21.11.2020).

14. Программа «Юрайт: Согласования и договоры» от ООО «Юрайт» (1С и Битрикс) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://you-right.ru/soglasovaniya-i-dogovory>, свободный (дата обращения: 22.11.2020).

15. Система «Управление договорами» от ООО «РКИТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rkit.ru/upravlenie-dogovorami/>, свободный (дата обращения: 23.11.2020).

#### Исакова Анна Ивановна

Канд. техн. наук, доцент каф. АСУ ТУСУРа  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7-923-408-53-88  
Эл. почта: [iai2@yandex.ru](mailto:iai2@yandex.ru)

#### Кориков Анатолий Михайлович

Д-р техн. наук, профессор каф. АСУ ТУСУРа,  
вед. науч. сотр. Томского ф-ла  
Института вычислительных технологий СО РАН  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 41-42-79  
Эл. почта: [korikov@asu.tusur.ru](mailto:korikov@asu.tusur.ru)

#### Левин Семен Михайлович

Канд. юрид. наук, аналитик ООО «ЛЕМА ГРУПП»  
Авангардная ул., д. 18, г. Москва, 125493  
Тел.: +7-903-208-77-21  
Эл. почта: [2087721@gmail.com](mailto:2087721@gmail.com), [sss@pgtu.bpla.ru](mailto:sss@pgtu.bpla.ru)

Isakova A.I., Korikov A.M., Levin S.M.

#### Multicriteria choice based on a matrix of criteria in assessing the software efficiency of information systems

The problems and methods of multicriteria selection are discussed using the example of software efficiency analysis. The matrix of criteria (priorities) and methods of its construction are considered. The application of a matrix of criteria (priorities) for evaluating the effectiveness of software is proposed. The analysis results for the analogues of software to account and control contracts at an enterprise using a priority matrix are presented.

**Keywords:** multicriteria choice, criteria matrix, weight coefficients, consensual method, software, information systems.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-40-44

#### References

1. Bobryshev A.D. *Application of modern management tools when introducing innovations at industrial enterprises*. Moscow; Berlin, Direct-Media, 2016, 152 p. (in Russ.).
2. Tarasenko F.P. *Applied Systems Analysis: Study Guide*, 2nd ed., Revised and enlarged. Moscow, KNORUS, 2017, 322 p. (in Russ.).
3. Korikov A.M. *System theory and system analysis: textbook*. Tutorial. Tomsk, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, 2008, 264 p. (in Russ.).
4. Orlov A.I. *Methods for making managerial decisions: textbook*. Moscow, KNORUS, 2018, 286 p. (in Russ.).
5. Amitava Mitra. *Fundamentals of Quality Control and Improvement*, Third Edition. John Wiley & Sons, 2008, 816 p.

6. *GOST R ISO / IEC 25010–2015 System and software engineering. Requirements and quality assessment of systems and software (SQuARE). Models of the quality of systems and software products*. Moscow, Standartinfo, 2015, 29 p. (in Russ.).

7. Jackson Th. Hoshin. *How to make the strategy work*. Trans. from English. Moscow, Institute for Complex Strategic Research, 2008, 248 p. (in Russ.).

8. Maintenance of contracts from ARAX GROUP. Available at: <http://www.araxgroup.ru/opdog/Glava2/vozmozn.htm> (Accessed: October 20, 2020) (in Russ.).

9. Program «My Warehouse». Available at: <https://www.moysklad.ru/programmy-dlja-biznesa/programma-dlja-ucheta-dogovorov> (Accessed: October 18, 2020) (in Russ.).

10. Program «Respect: Accounting for contracts». Available at: <https://dogovor.ru/product> (Accessed: October 20, 2020) (in Russ.).

11. System «Contract Management System». Available at: <https://www.citeck.ru/solutions/citeck-ecos-contract-management> (Accessed: October 20, 2020) (in Russ.).

12. Program «Class365» from Business.Ru. Cloud data storage. Available at: <https://class365.ru/programma-dlya-ucheta-dogovorov> (Accessed: October 22, 2020) (in Russ.).

13. Program «Agreement Partner» from the company «RP Integration». Available at: <https://dogovorpartner.ru> (Accessed: October 21, 2020) (in Russ.).

14. Program «Yurayt: Approvals and contracts» from ООО Yurayt (1С and Bitrix). Available at: <https://you-right.ru/soglasovaniya-i-dogovory> (Accessed: October 22, 2020) (in Russ.).

15. System «Contract Management» from LLC «RCIT2». Available at: <https://rkit.ru/upravlenie-dogovorami> (Accessed: October 23, 2020) (in Russ.).

#### Anna I. Isakova

Associate Professor,  
Department of Automated Control Systems  
Tomsk State University of Control System  
and Radioelectronics (TUSUR)  
40, Lenin pr., Tomsk, Russian Federation, 634050  
Phone: +7-923-408-53-88  
Email: [iai2@yandex.ru](mailto:iai2@yandex.ru)

#### Anatoly M. Korikov

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head,  
Department of Automated Control Systems TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russian Federation, 634050  
Leading Researcher at Tomsk Branch of the Institute  
of Computing Technologies SB RAS  
Phone: +7 (382-2) 41-42-79  
Email: [korikov@asu.tusur.ru](mailto:korikov@asu.tusur.ru)

#### Semen M. Levin

Candidate of Law Sciences  
Analyst of «LEMA GROUP» LLC  
Avangardnaya st., 18, Moscow, 125493  
Phone: +7-903-208-77-21  
Email: [2087721@gmail.com](mailto:2087721@gmail.com), [sss@pgtu.bpla.ru](mailto:sss@pgtu.bpla.ru)

УДК 004.056.5

А.С. Мельман, П.О. Петров, А.А. Шелупанов, А.В. Аристов, Ю.П. Похолков

## Встраивание информации в JPEG-изображения с маскировкой искажений в частотной области

Стеганография позволяет обеспечивать конфиденциальность информации за счёт организации скрытых каналов передачи данных. Однако эффективность стеганографической защиты информации напрямую зависит от незаметности вложения как для глаза человека, так и для методов стегоанализа. В статье предлагается подход к решению проблемы уязвимости популярного метода встраивания QIM к статистическому стегоанализу. Для этого предлагается использовать переменный шаг квантования, который адаптивно выбирается для каждого блока изображения-контейнера в формате JPEG. Результаты экспериментов демонстрируют повышение уровня безопасности стеганографического встраивания за счёт применения предложенного подхода.

**Ключевые слова:** защита информации, стеганография, стегоанализ, цифровые изображения, JPEG.  
**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-45-50

Цифровая стеганография – одно из актуальных направлений информационной безопасности. Методами цифровой стеганографии может быть создан скрытый канал передачи данных для обеспечения их конфиденциальности. Скрытие данных выполняется путём их встраивания в цифровые объекты.

Большое количество стеганографических алгоритмов работает с цифровыми изображениями. Обмен изображениями в Интернете в настоящее время является привычным делом, что позволяет без лишних подозрений передавать секретную информацию. Данное исследование также фокусируется на сокрытии информации в цифровых изображениях. В качестве контейнеров для секретных сообщений рассматриваются JPEG-изображения, поскольку большое количество изображений хранится и передаётся в сети именно в формате JPEG.

Стеганографическое встраивание должно быть незаметным, в том числе и для методов стегоанализа. Поэтому целью настоящей работы является разработка алгоритма сокрытия данных, обеспечивающего незаметность встраивания. В работе предлагается адаптивный алгоритм встраивания информации в сжатые JPEG-изображения, основанный на известном стеганографическом методе модуляции индекса квантования (QIM) и позволяющий снизить уязвимость встраивания к стегоанализу.

### Обзор литературы

Методы стеганографического сокрытия информации в цифровых изображениях принято разделять на пространственные и частотные. Пространственные методы [1, 2] оперируют непосредственно значениями пикселей изображения. В основе многих подобных методов лежит замена младших битов битами секретного сообщения. Частотные методы предусматривают встраивание фрагментов сообщения в коэффициенты, полученные в результате некоторого частотного преобразования, например, дискретного косинусного преобразования (ДКП) [3, 4], дискретного вейвлет-преобразования [5, 6] и др.

Популярность метода сжатия JPEG позволяет выделять исследования, посвящённые сокрытию данных в JPEG-изображениях, в отдельное большое

направление в рамках частотного встраивания. Отметим несколько подобных работ последних лет.

Многие алгоритмы для JPEG-стеганографии используют оценку стоимости искажений различных коэффициентов, т.е. влияния вносимых изменений на итоговое изображение. Например, в работе [7] предлагается алгоритм сокрытия данных в JPEG-изображениях, в котором для оценки стоимости искажений используются статистические характеристики в пространственной области.

Распространённым приёмом повышения эффективности встраивания является выбор местоположения битов сообщения в контейнере в зависимости от его характеристик. В статье [8] предлагается при заполнении контейнера отдавать предпочтение блокам с меньшим количеством нулевых коэффициентов. Авторы [9] используют сдвиг гистограммы для сокрытия информации в JPEG-изображениях. Биты сообщения встраиваются в высокочастотные коэффициенты, а наилучшее местоположение для встраивания определяется пороговым значением.

Многие алгоритмы для JPEG-изображений являются обратимыми, т.е. позволяют восстановить контейнер после извлечения сообщения. Например, в [10] представлен алгоритм, отличающийся оригинальным подходом к выбору коэффициентов ДКП, изменение которых приводит к меньшему искажению изображения-контейнера при встраивании. Другой пример обратимого встраивания в изображения JPEG представлен в [11]. В этом случае авторы предлагают использовать нулевые коэффициенты ДКП для встраивания, чтобы увеличить ёмкость.

Таким образом, разработка алгоритмов встраивания данных в JPEG-изображения является актуальной и активно исследуется в настоящее время.

### Сжатие по методу JPEG

Рассмотрим метод сжатия JPEG подробнее. JPEG является одним из наиболее популярных методов сжатия изображений с потерями. Уменьшение размера файла происходит за счёт удаления из изображения некоторой части избыточной информации.

Этапами JPEG-сжатия являются преобразование цветового пространства изображения к виду

УСbСг, «прореживание» каналов Сb и Сг, ДКП, квантование и кодирование. С точки зрения сокрытия данных наибольший интерес представляют этапы ДКП и квантования.

После применения ДКП к матрице значений пикселей изображения (преобразование выполняется блоками 8×8) получается матрица того же размера, элементами которой являются частотные коэффициенты. Коэффициент в левом верхнем углу называется DC-коэффициентом, остальные коэффициенты – AC-коэффициентами. Наиболее значимая информация содержится в низкочастотных (ближе к верхнему левому углу) коэффициентах. Средне- и высокочастотные (ближе к нижнему правому углу) коэффициенты менее важны для последующего восстановления изображения, поэтому именно они чаще всего используются для встраивания дополнительной информации.

Непосредственно сжатие информации происходит на этапе квантования. При этом коэффициенты ДКП делят на определённые значения из матрицы квантования, зависящей от выбранной степени сжатия. Результат деления округляется, в результате чего происходит необратимая потеря информации.

Некоторые алгоритмы сокрытия данных в JPEG-изображениях изменяют коэффициенты ДКП до квантования либо совмещают встраивание с процедурой квантования, например алгоритм [12]. Однако в большинстве случаев изменениям подвергаются уже квантованные AC-коэффициенты. В данной работе реализован именно этот подход.

#### Метод встраивания QIM

Метод QIM [13] является одним из известных методов встраивания информации в цифровые изображения. Его основная идея заключается в изменении элемента данных изображения (значения пикселя либо частотного коэффициента) в зависимости от значения бита секретного сообщения. Изменяемое число делится на заранее определённый коэффициент, а затем округляется. Этот коэффициент называется шагом квантования  $q$ . Формула встраивания бита сообщения  $b_i$  при этом имеет вид

$$c' = q \cdot \left\lfloor \frac{c}{q} \right\rfloor + \frac{q}{2} \cdot b_i, \quad (1)$$

где  $c$  – коэффициент ДКП до встраивания,  $c'$  – коэффициент ДКП после встраивания,  $b_i$  – бит секретного сообщения,  $\lfloor \dots \rfloor$  – целая часть от деления.

Извлечение выполняется по формуле

$$b'_i = \arg \min_{p \in \{0,1\}} |c'' - c'_p|, \quad (2)$$

где  $c''$  – коэффициент ДКП, содержащий бит сообщения,  $c''_0 = q \cdot \left\lfloor \frac{c''}{q} \right\rfloor$ ,  $c''_1 = q \cdot \left\lfloor \frac{c''}{q} \right\rfloor + \frac{q}{2}$ .

Эффективность встраивания в значительной степени зависит от величины шага квантования. Чем больше значение  $q$ , тем больше устойчивость встраивания к искажениям стегоизображения, но больше

уязвимость к стегоанализу, в том числе даже визуальному.

#### Адаптивный выбор шага квантования

Встраивание информации в JPEG-изображения по методу QIM существенно искажает гистограммы квантованных AC-коэффициентов. На рис. 1 представлены примеры гистограмм до (см. рис. 1, а) и после (см. рис. 1, б) встраивания информации в JPEG-изображение. Очевидно, что данные гистограммы существенно отличаются. Гистограмма, представленная на рис. 1, б, содержит характерные «провалы», поскольку из-за применения формулы (1) частота возникновения отдельных значений AC-коэффициентов меняется.

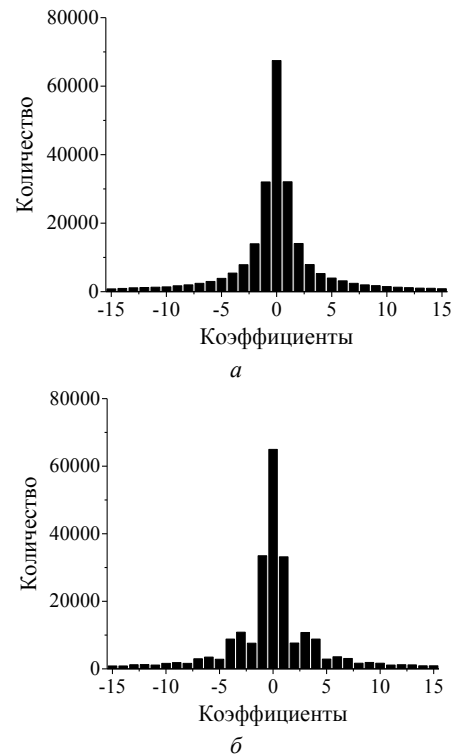


Рис. 1. Гистограммы AC-коэффициентов: а – до встраивания; б – после встраивания

Эта проблема является характерной для классического метода QIM. Для решения этой проблемы можно использовать переменный шаг квантования для каждого блока изображения. Например, в работе [12] подобный подход позволяет обеспечить статистическую незаметность встраивания. Серьёзным недостатком такого решения является необходимость использования некоторой дополнительной информации при встраивании. В частности, в данном случае речь идёт о вспомогательных последовательностях для генерации шагов квантования. Передача такой информации отдельно от стегоизображения создаёт угрозу обнаружения вложения, поскольку она привлечёт внимание злоумышленника и проинформирует его о наличии скрытого канала передачи данных. Также в случае, когда дополнительная информация уникальна для каждой пары контейнер – вложение, при каждом сеансе связи необходимо

решать проблему её защиты, например шифрованием. В этом случае использование стеганографии становится нецелесообразным, поскольку удобнее применять шифрование к самому секретному сообщению.

Отметим, что передача фиксированной ключевой информации не представляет такой же серьёзной проблемы, поскольку выбирается единожды для группы собеседников.

В работе [14] одного из авторов настоящего исследования было предложено решение, лишённое данного недостатка. Для выбора шага квантования предлагалось использовать часть ДКП-коэффициентов блока, не использовавшихся для сокрытия сообщения (для несжатых изображений). Шаг квантования определяется как наименьший из наименее часто встречаемых коэффициентов по области невстраивания. Область невстраивания – это диапазон коэффициентов, которые не изменяются при встраивании информации. Область встраивания – это диапазон коэффициентов, которые будут изменены. Области встраивания и невстраивания в блоке коэффициентов ДКП представлены на рис. 2.

	Область невстраивания							
DC	2	6	7	15	16	28	29	
3	5	8	14	17	27	30	43	
4	9	13	18	26	31	42	44	
	10	12	19	25	32	41	45	54
	11	20	24	33	40	46	53	55
	21	23	34	39	47	52	56	61
	22	35	38	48	51	57	60	62
	36	37	49	50	58	59	63	64
	Область встраивания							

Рис. 2. Области встраивания и невстраивания в блоке коэффициентов ДКП

В данной работе для выбора шага квантования для каждого блока JPEG-изображения также предлагается выбирать наименьшее значение квантованного AC-коэффициента по области невстраивания из самых редких. Это позволит перераспределить «провалы» на гистограмме и повысить безопасность встраивания. Такой выбор шага квантования обладает двумя преимуществами. Во-первых, это делает встраивание адаптивным, т.е. учитывающим особенности конкретного контейнера. Во-вторых, это позволяет не передавать дополнительную информацию, уникальную для каждого случая встраивания и служащую демаскирующим вложением признаком.

Опишем последовательность этапов встраивания информации в JPEG-изображения:

1. Открыть изображение-контейнер в формате JPEG, восстановить массив квантованных коэффициентов ДКП.

2. Последовательно обходя блоки квантованных коэффициентов, выполнить следующее:

2.1. Определить значение шага квантования  $q$  как наименьшее значение из самых редких по области невстраивания.

2.2. Отделить от секретного сообщения фрагмент, равный количеству коэффициентов в области встраивания, т.е. 10 битов.

2.3. Встроить фрагмент сообщения в блок по формуле (1) с шагом квантования  $q$ , определённым на шаге 2.1.

3. Осуществить кодирование коэффициентов и сформировать стегоизображение.

При извлечении информации биты сообщения извлекаются по формуле (2) из области встраивания после предварительного вычисления шага квантования  $q$  по области невстраивания. Поскольку область невстраивания не изменяется при сокрытии секретного сообщения, значение  $q$  при извлечении совпадает со значением  $q$  при встраивании и встроены данные извлекаются без каких-либо ошибок.

### Результаты экспериментов

Для оценки эффективности встраивания были выполнены вычислительные эксперименты. Для экспериментов использовались 10 стандартных изображений из базы USC-SIPI [15] с разрешениями  $512 \times 512$ , таких как «Airplane», «Lena» и др. Каждое изображение было сжато в JPEG-формат с качеством 95.

На рис. 3 представлен усреднённый по всей выборке изображений график зависимости показателя пиковое отношение сигнала к шуму (PSNR), используемого для численной оценки визуального качества стегоизображений, от ёмкости встраивания. Метрика PSNR вычисляется по формуле

$$PSNR = 20 \log_{10} \left( \frac{255}{RMSE} \right), \quad (3)$$

где  $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}$ ;  $n$  – общее количество пикселей;  $P_i$  – значение пикселя контейнера;  $Q_i$  – значение пикселя стегоизображения.

Стеганографическое встраивание считается незаметным, если величина PSNR составляет 30–35 дБ, предложенный алгоритм обеспечивает необходимый уровень качества. При этом достигается приемлемый уровень максимальной ёмкости около 50 000 битов.

На рис. 4 представлен график зависимости коэффициента структурного сходства (SSIM) для аналогичных значений ёмкости. Метрика SSIM вычисляется по формуле (4). Даже при максимальном объёме вложения величина SSIM близка к единице, что говорит о полной незаметности вложения.

$$SSIM = \frac{(2\mu_c \mu_s + K_1) \cdot (2\sigma_{cs} + K_2)}{(\mu_c^2 + \mu_s^2 + K_1) \cdot (\sigma_c^2 + \sigma_s^2 + K_2)}, \quad (4)$$

где  $\mu_c$  – среднее значение пикселей контейнера;  $\mu_s$  – среднее значение пикселей стегоизображения;  $\sigma_c^2$  – дисперсия пикселей контейнера;  $\sigma_s^2$  – дисперсия пикселей стегоизображения;  $\sigma_{cs}$  – ковариация пикселей обоих изображений;  $K_1$  и  $K_2$  – константы.



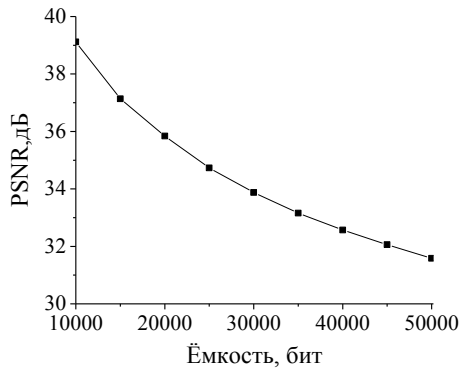


Рис. 3. Зависимость PSNR от ёмкости

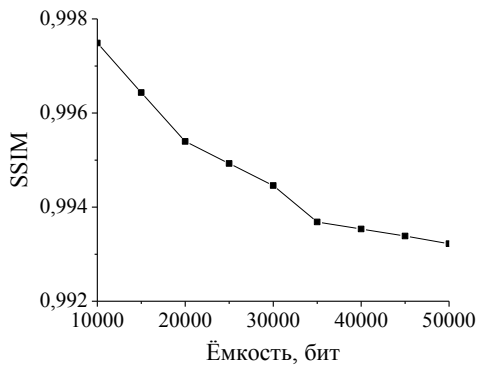


Рис. 4. Зависимость SSIM от ёмкости

Рисунок 5 показывает, как выглядит гистограмма ДКП-коэффициентов стеганоизображения после встраивания по описанному алгоритму. Сравнивая рис. 1, б и рис. 5 очевидно, что адаптивный выбор шага квантования позволил избежать существенных искажений гистограммы.

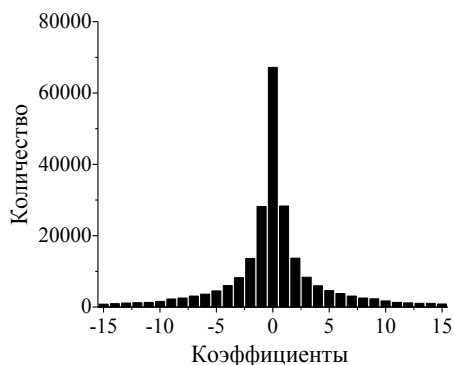


Рис. 5. Гистограмма АС-коэффициентов стеганоизображения при переменном шаге квантования

Была также исследована устойчивость встраивания к методу стегоанализа, основанному на законе Бенфорда. Согласно закону Бенфорда, для реальных величин вероятность цифры  $x \neq 0$  располагается на первом месте в числе тем выше, чем меньше эта цифра. Эта вероятность выражается формулой

$$P(x) = \log_{10} \left( 1 + \frac{1}{x} \right). \quad (5)$$

В работе [16] предлагается применять данный закон для цифр квантованных коэффициентов ДКП. Для принятия решения о том, содержит ли некото-

рое изображение стеганографическое вложение, необходимо сравнить реальное распределение вероятностей с теоретическим. Если отклонение рассчитанных величин от теоретических превышает некоторый порог, изображение считается содержащим встроенную информацию.

На рис. 6 представлена гистограмма, отражающая вероятности возникновения различных цифр на первом месте чисел квантованных АС-коэффициентов. По данной гистограмме видно, что увеличение разброса значений шага квантования не оказывает существенного влияния на распределение вероятности по сравнению с малым фиксированным значением ( $q = 3$ ). Метод стегоанализа, предложенный в работе [16], сравнивает фактическую вероятность для цифры «2» с фиксированным пороговым значением. Результаты экспериментов с новым алгоритмом показали, что во всех случаях стегоанализатор не обнаружил наличие вложения.

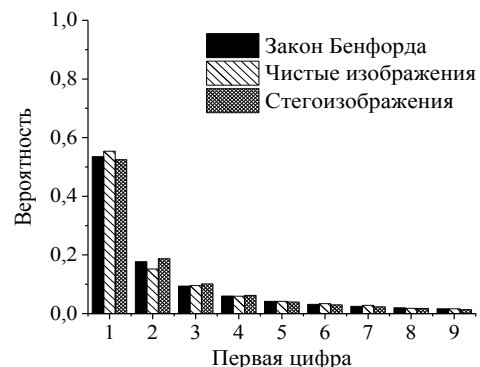


Рис. 6. Вероятности возникновения различных цифр на первом месте чисел квантованных АС-коэффициентов

### Заключение

В работе был предложен и исследован алгоритм стеганографического встраивания информации в сжатые JPEG-изображения на основе метода QIM. Отличительной особенностью предложенного алгоритма является адаптивный выбор шага квантования в зависимости от конкретного изображения-контейнера. Результаты экспериментов показывают не только высокие значения метрик визуального качества PSNR и SSIM, но и устойчивость к анализу гистограмм, а также к стегоанализу на основе закона Бенфорда.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2020–2022 гг. (проект № FEWM-2020-0037).

### Литература

1. Image steganography in spatial domain: A survey / M. Hussain, A.W.A. Wahab, Y.I.B. Idris, A.T.S. Ho, K.-H. Jung // Signal Processing: Image Communication. – 2018. – Vol. 65. – P. 46–66.
2. Comprehensive survey of image steganography: Techniques, Evaluations, and trends in future research / I.J. Kadhim, P. Premaratne, P.J. Vial, B. Halloran // Neurocomputing. – 2019. – Vol. 335. – P. 299–326.

3. Biswas R. Random selection based GA optimization in 2D-DCT domain color image steganography / R. Biswas, S.K. Bandyapadhyay // *Multimedia Tools and Applications*. – 2020. – Vol. 79, No. 11. – P. 7101–7120.
4. A steganographic approach for secure communication of medical images based on the DCT-SVD and the compressed sensing (CS) theory / R. Thanki, S. Borra, V. Dwivedi, K. Borisagar // *The Imaging Science Journal*. – 2017. – Vol. 65, No. 8. – P. 457–467.
5. Miri A. Adaptive image steganography based on transform domain via genetic algorithm / A. Miri, K. Faez // *Optik*. – 2017. – Vol. 145. – P. 158–168.
6. Fakhredanesh M. Steganography in discrete wavelet transform based on human visual system and cover model / M. Fakhredanesh, M. Rahmati, R. Safabakhsh // *Multimedia Tools and Applications*. – 2019. – Vol. 78. – P. 18475–18502.
7. Liu G. Designing adaptive JPEG steganography based on the statistical properties in spatial domain / G. Liu, F. Huang, Z. Li // *Multimedia Tools and Applications*. – 2019. – Vol. 78. – P. 8655–8665.
8. Улучшенный алгоритм встраивания информации в сжатые цифровые изображения на основе метода РМ1 / О.О. Евсютин, А.С. Кокурина, А.А. Шелупанов, И.И. Шепелев // *Компьютерная оптика*. – 2015. – Т. 39, № 4. – С. 572–581.
9. A High-Imperceptibility and Histogram-Shifting Data Hiding Scheme for JPEG Images / Y. Li, S. Yao, K. Yang, Y. Tan, Q. Zhang // *IEEE Access*. – 2019. – Vol. 7. – P. 73573–73582.
10. Reversible data hiding in JPEG image based on DCT frequency and block selection / D. Hou, H. Wang, W. Zhang, N. Yu // *Signal Processing*. – 2018. – Vol. 148. – P. 41–47.
11. Reversible data hiding in JPEG images based on zero coefficients and distortion cost function / F. Di, M. Zhang, F. Huang, J. Liu, Y. Kong // *Multimedia Tools and Applications*. – 2019. – Vol. 78, No. 24. – P. 34541–34561.
12. Noda H. Application of QIM with dead zone for histogram preserving JPEG steganography / H. Noda, M. Niimi, E. Kawaguchi // *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*. – Italy, Genova, 2005. – P. 1082–1085.
13. Митекин В.А. Алгоритмы встраивания информации на основе QIM, стойкие к статистической атаке / В.А. Митекин, В.А. Федосеев // *Компьютерная оптика*. – 2018. – Т. 42, № 1. – С. 118–127.
14. A new approach to reducing the distortion of the digital image natural model in the DCT domain when embedding information according to the QIM method / O.O. Evsutin, A.S. Melman, R.V. Meshcheryakov, A.O. Ishakova // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2019. – Vol. 2485. – P. 268–272.
15. The USC-SIPI image database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sipi.usc.edu/database/> (дата обращения: 17.08.2020).
16. Andriotis P. JPEG steganography detection with Benford's Law / P. Andriotis, G. Oikonomou, T. Tryfonas // *Digital Investigation*. – 2013. – Vol. 9. – P. 246–257.

**Мельман Анна Сергеевна**

Аспирант каф. безопасности информационных систем (БИС) Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
 ORCID 0000-0001-6444-7774  
 Тел.: +7-923-434-11-18  
 Эл. почта: annakokurina94@yandex.ru

**Петров Павел Олегович**

Студент каф. комплексной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС) ТУСУР  
 Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
 Тел.: +7-960-912-94-04  
 Эл. почта: 725\_ppo@fb.tusur.ru

**Шелупанов Александр Александрович**

Д-р техн. наук, профессор, зав. каф. КИБЭВС ТУСУР  
 Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
 ORCID: 0000-0003-2393-6701  
 Тел.: +7 (382-2) 90-71-55, внут. 10-20  
 Эл. почта: saa@fb.tusur.ru

**Аристов Анатолий Владимирович**

Д-р техн. наук, профессор Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета (НИ ТПУ)  
 Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050  
 Тел.: +7 (382-2) 56-32-55  
 Эл. почта: aristovav@tpu.ru

**Похолков Юрий Петрович**

Д-р техн. наук, профессор, рук. учебно-научного центра «Организация и технологии высшего профессионального образования» НИ ТПУ  
 Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050  
 Тел.: +7 (382-2) 60-62-81  
 Эл. почта: yurp@tpu.ru

Melman A.S., Petrov P.O., Shelupanov A.A., Aristov A.V., Pokholkov Y.P.

**Embedding information into JPEG images with distortion masking in frequency domain**

Steganography allows to ensure the confidentiality of information by organizing covert data transmission channels. However, the effectiveness of steganographic information protection directly depends on the invisibility of a secret message, both for the human eye and for steganalysis methods. The paper proposes an approach that allows solving the problem of vulnerability of the popular QIM embedding method to statistical steganalysis. For this, it is proposed to use a variable quantization step, which is adaptively selected for each block of the JPEG cover image. The experimental results demonstrate an increase in the security level of steganographic embedding due to the application of the proposed approach.

**Keywords:** information security, steganography, steganalysis, digital images, JPEG.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-45-50

*References*

1. Hussain M., Wahab A.W.A., Idris Y.I.B., Ho A.T.S., Jung K.-H. Image steganography in spatial domain: A survey. *Signal Processing: Image Communication*, 2018, vol. 65, pp. 46–66.
2. Kadhim I.J., Premaratne P., Vial P.J., Halloran B. Comprehensive survey of image steganography: Techniques, Evaluations, and trends in future research. *Neurocomputing*, 2019, vol. 335, pp. 299–326.
3. Biswas R., Bandyapadhyay S.K. Random selection based GA optimization in 2D-DCT domain color image steganography. *Multimedia Tools and Applications*, 2020, vol. 79, no. 11, pp. 7101–7120.
4. Thanki R., Borra S., Dwivedi V., Borisagar K. A steganographic approach for secure communication of medical images based on the DCT-SVD and the compressed sensing

(CS) theory. *The Imaging Science Journal*, 2017, vol. 65, no. 8, pp. 457–467.

5. Miri A., Faez K. Adaptive image steganography based on transform domain via genetic algorithm. *Optik*, 2017, vol. 145, pp. 158–168.

6. Fakhredanesh M., Rahmati M., Safabakhsh R. Steganography in discrete wavelet transform based on human visual system and cover model. *Multimedia Tools and Applications*, 2019, vol. 78, pp. 18475–18502.

7. Liu G., Huang F., Li Z. Designing adaptive JPEG steganography based on the statistical properties in spatial domain. *Multimedia Tools and Applications*, 2019, vol. 78, pp. 8655–8665.

8. Evsutin O.O., Kokurina A.S., Shelupanov A.A., Shepelev I.I. An improved algorithm for data hiding in compressed digital images based on PM1 method. *Computer Optics*, 2015, vol. 39, no. 4, pp. 572–581 (in Russ.).

9. Li Y., Yao S., Yang K., Tan Y., Zhang Q. A High-Imperceptibility and Histogram-Shifting Data Hiding Scheme for JPEG Images. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 73573–73582.

10. Hou D., Wang H., Zhang W., Yu N. Reversible data hiding in JPEG image based on DCT frequency and block selection. *Signal Processing*, 2018, vol. 148, pp. 41–47.

11. Di F., Zhang M., Huang F., Liu J., Kong Y. Reversible data hiding in JPEG images based on zero coefficients and distortion cost function. *Multimedia Tools and Applications*, 2019, vol. 78, no. 24, pp. 34541–34561.

12. Noda H., Niimi M., Kawaguchi E. Application of QIM with dead zone for histogram preserving JPEG steganography. *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, 2005, pp. 1082–1085.

13. Mitekin V.A., Fedoseev V.A. New secure QIM-based information hiding algorithms. *Computer Optics*, 2018, vol. 42, no. 1, pp. 118–127 (in Russ.).

14. Evsutin O.O., Melman A.S., Meshcheryakov R.V., Ishakova A.O. A new approach to reducing the distortion of the digital image natural model in the DCT domain when embedding information according to the QIM method. *CEUR Workshop Proceedings*, 2019, vol. 2485, pp. 268–272.

15. The USC-SIPI image database. Available at: <http://sipi.usc.edu/database/> (Accessed: August 17, 2020).

16. Andriotis P. JPEG steganography detection with Benford's Law / P. Andriotis, G. Oikonomou, T. Tryfonas // *Digital Investigation*, 2013, vol. 9, pp. 246–257.

#### **Anna S. Melman**

Postgraduate student, Department of Information Systems Security, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
ORCID 0000-0001-6444-7774  
Phone: +7-923-434-11-18  
Email: annakokurina94@yandex.ru

#### **Pavel O. Petrov**

Student, Department of Complex Information Security of Computer Systems, TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7-960-912-94-04  
Email: 725\_ppo@fb.tusur.ru

#### **Alexander A. Shelupanov**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Head of Department of Complex Information Security of Computer Systems TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
ORCID: 0000-0003-2393-6701  
Phone: +7 (382-2) 90-71-55, ext. 10-20  
Email: saa@fb.tusur.ru

#### **Anatoly V. Aristov**

Doctor of Engineering Sciences,  
National Research Tomsk Polytechnic University (NR TPU)  
30, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 56-32-55  
Email: aristovav@tpu.ru

#### **Yuri P. Pokholkov**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Head of Educational and Scientific Center «Organization and Technologies of Higher Professional Education» NR TPU  
30, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 60-62-81  
Email: pyp@tpu.ru

УДК 004.942

К.И. Хан, М.А. Кажмаганбетова, Т.Н. Зайченко

## Концептуальная модель комплекса программ для проектирования акустико-эмиссионной системы диагностики

Представлена обобщенная схема акустико-эмиссионной системы диагностики и предложен комплекс программ для ее проектирования. Выполнено моделирование распространения акустической волны в COMSOL Multiphysics на примере плоской задачи в различных условиях и показано совпадение результатов с системой COSMOS/M.

**Ключевые слова:** система диагностики, акустическая эмиссия, модель, компьютерное моделирование, комплекс программ.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-51-56

Контроль и диагностика целостности механической части технических систем в течение всего жизненного цикла является актуальной задачей. С этой целью используются методы и средства диагностики, основанные на различных физических принципах действия.

Одним из перспективных методов диагностики является метод акустической эмиссии, заключающийся в сборе и анализе параметров акустических волн в среде с целью обнаружения развивающихся дефектов [1, 2]. Его достоинства связаны с возможностью получения информации без вмешательства в конструкцию и непрерывность мониторинга контролируемого объекта в процессе эксплуатации. К недостаткам относятся: быстрое ослабление акустических волн при прохождении по конструкции, высокая зависимость результатов измерения от фонового шума, невозможность точного сопоставления акустико-эмиссионных характеристик с типом неисправности. В настоящее время данный метод используется для контроля технического состояния широкого класса машин и механизмов. В связи с совершенствованием электронной компонентной базы, появлением новых датчиков, технологических процессов и объектов контроля процесс модернизации существующих и разработки новых систем, методов и алгоритмов диагностики продолжается. В настоящей работе на основании анализа задач проектирования систем диагностики и программных средств моделирования акустической эмиссии рассматривается концептуальная модель комплекса программ проектирования акустико-эмиссионной системы диагностики (АЭСД).

### Обобщенная схема и задачи проектирования акустико-эмиссионной системы диагностики

Система диагностики – это телеметрическая система, на нижнем уровне которой происходит сбор, преобразование, обработка и хранение первичной информации об объекте контроля, а на верхнем – их последующая обработка и интерпретация с целью определения контролируемых параметров и дефектов (рис. 1).

Для интерпретации результатов измерений и разработки алгоритмов диагностики рекомендуется

использовать [1] экспериментальные данные о процессе функционирования в различных режимах, штатных и аварийных состояниях. Поэтому программные средства верхнего уровня содержат базы данных и знаний.

### Модель комплекса программ проектирования акустико-эмиссионной системы диагностики

В процессе разработки АЭСД возникают задачи выбора мест установки датчиков и их типа, проектирования аппаратно-программных средств нижнего и верхнего уровня. Наиболее сложными являются задачи выбора типа и мест размещения датчиков, разработки алгоритмов интерпретации экспериментальных данных и диагностики дефектов [3]. Решение данных задач предполагает использование методов и средств компьютерного моделирования и оптимизации. Концептуальная модель комплекса программ проектирования АЭСД представлена на рис. 2.

Центральной частью комплекса являются средства моделирования акустической эмиссии 1 и оптимизации 2. Для создания геометрической модели объекта диагностики, источников АЭ и датчиков предназначены средства геометрического моделирования 3. Результатом моделирования деформации объекта с датчиками и АЭ являются: смещения  $\Delta$  и мгновенные ускорения  $\epsilon$ , деформации  $\delta$ , акустическое давление  $P$ , сигнал на выходе датчиков  $u$ ,  $i$ . На основании анализа данной информации принимается решение о правильности выбора количества и местоположения датчиков. Для проектирования аппаратно-программных средств используются САПР электронных схем 4.1 и 4.2, например Altium Designer [4].

Как указывалось, выше, для разработки алгоритмов диагностики рекомендуется использовать экспериментальные данные, которые являются результатами как физического, так и вычислительного эксперимента. Для хранения данных, как первичных, так и преобразованных, предусмотрена база данных и знаний 5.

Обработка и анализ данных осуществляются в блоке 6. Он служит для разработки алгоритмов диагностики. Блок может быть реализован на базе системы MATLAB/Simulink [13].

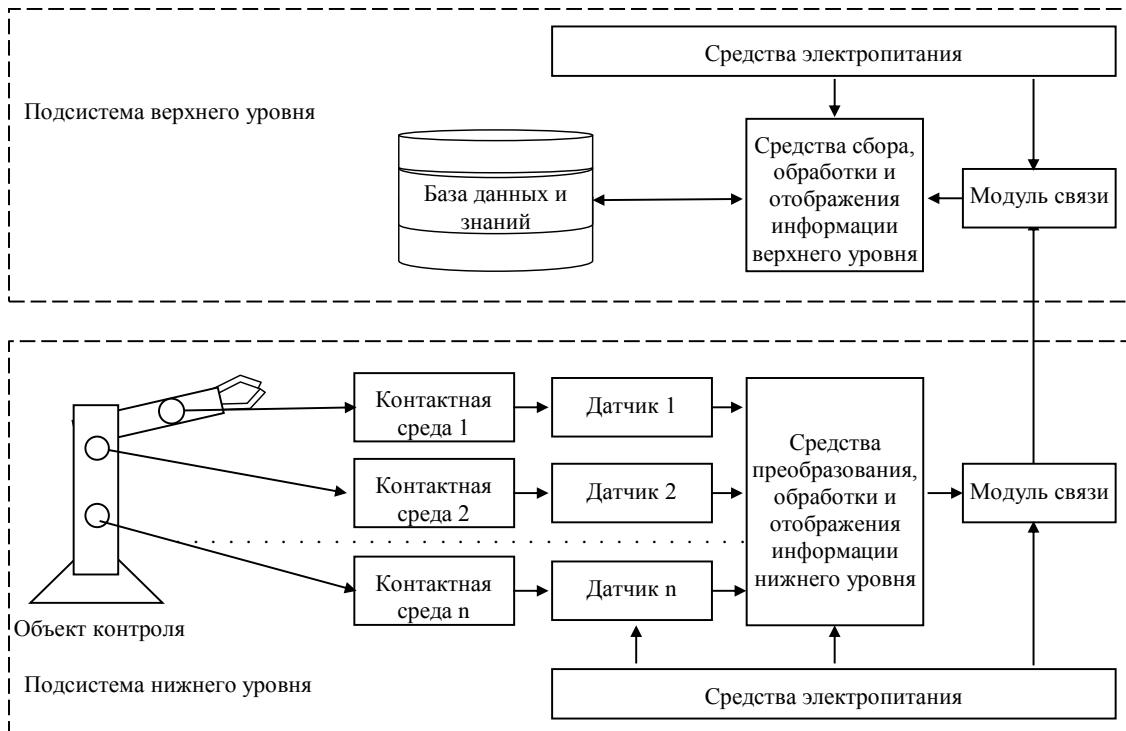


Рис. 1. Обобщенная схема АЭСД

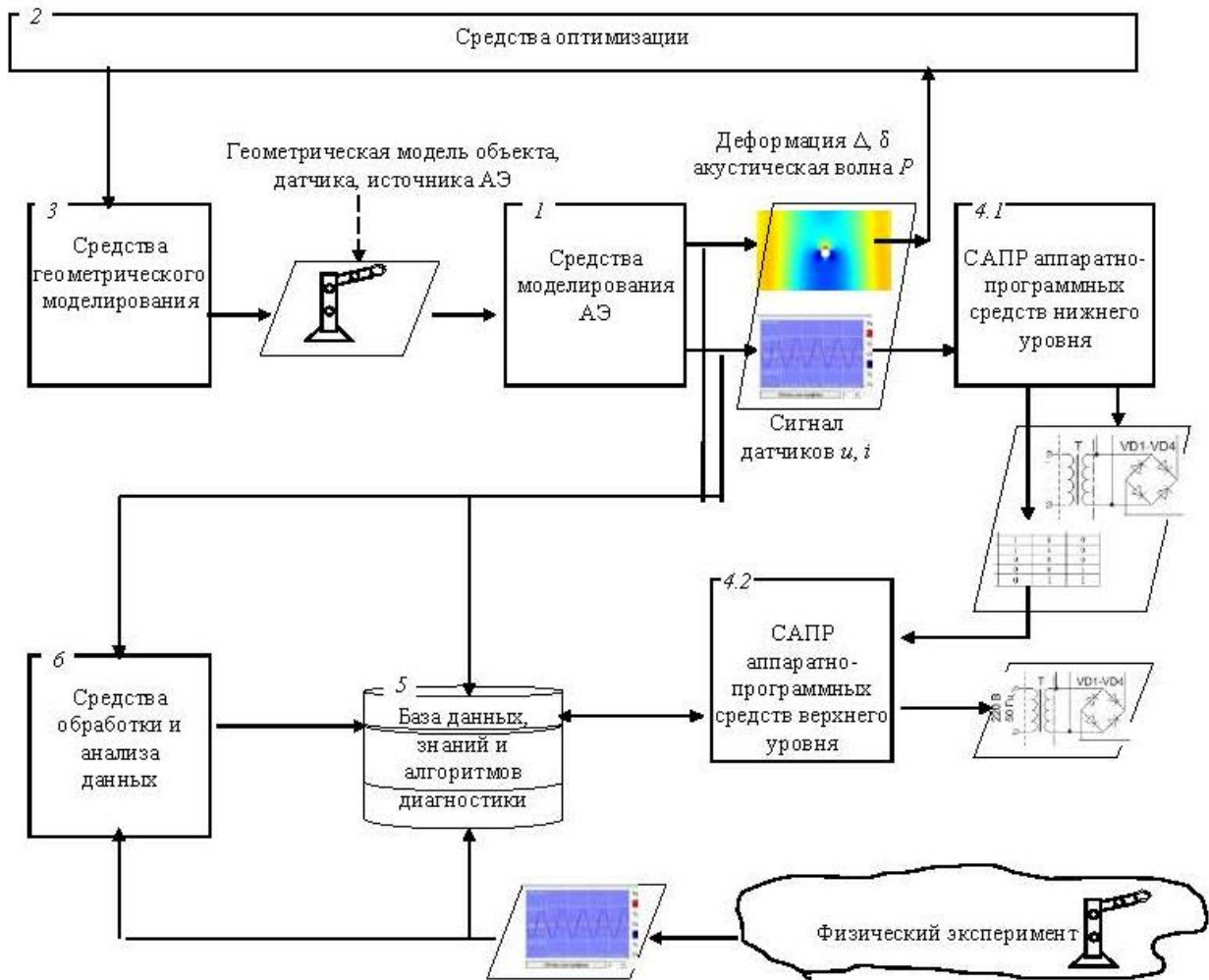


Рис. 2. Обобщенная структура комплекса программ для проектирования АЭСД

### Сравнительный анализ программных средств для моделирования АЭ

Теоретической основой моделирования АЭ являются теория упругости и методы решения волнового уравнения (1) [5]:

$$\frac{\partial^2 g}{\partial t^2} = a^2 \left( \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \right) + f, \quad (1)$$

где  $g(x, y, z, t)$  – неизвестная функция, определяющая отклонение точки пространства с координатами  $x, y, z$  в момент времени  $t$  от положения равновесия;  $f$  – вынуждающее воздействие;  $a$  – константа, характеризующая свойства материала.

В связи со сложностью объектов контроля и процессов распространения акустических волн для решения практических задач используются численные методы и программные средства моделирования. Численными методами решения волновых уравнений (1) во временной области являются методы конечных элементов и конечных разностей [6–8].

Численному моделированию процесса распространения акустических волн посвящено достаточно большое число работ. В основном для моделирования линейных и нелинейных акустических процессов в твердых и текучих средах используется программный комплекс COSMOS/M (Structural Research & Analysis Corporation) [9, 10]. Аналогичные возможности имеются в системе COMSOL Multiphysics (COMSOL Inc.) с модулем Pressure acoustic [11, 12].

Процесс моделирования состоит из следующих основных этапов:

- построение геометрической модели объекта контроля и дефекта, задание технических показателей материалов;
- задание граничных условий;
- выбор режима анализа (во временной либо частотной областях);
- задание пространственной сетки;
- расчет и представление результатов.

Для создания геометрических моделей COSMOS/M имеет интерфейс с САПР Autodesk Inventor, Solid Edge и SolidWorks, а COMSOL Multiphysics – с Autodesk Inventor и SolidWorks. Эта информация доступна из эскизов и конструкторских чертежей. К техническим показателям материалов, используемых в акустических моделях, относятся плотность, модуль упругости, коэффициент Пуассона, скорость распространения звука. Последняя – для изотропных материалов задается одним значением для всей геометрической модели, а для анизотропных – для каждой элементарной области индивидуально. При отсутствии справочных данных о параметрах материалов необходима постановка экспериментов с целью их определения. В противном случае модель будет неадекватной. При задании граничных условий определяются свободные грани, смещение которых совпадает со смещением соседних элементарных областей, и грани с фиксированным положением, от которых волна отражается. Угол отражения и изменение свойств волны зависят от геометрии грани и характеристик набегающей на эту грань волны.

Для изучения акустических процессов некоторые свободные грани могут быть подвержены внешнему воздействию, подчиняющемуся определенному закону. Воздействие может быть любого вида: гармоническое, циклическое, импульсное, постоянное и т.д. В COMSOL Multiphysics это воздействие определяется как функция зависимости смещения свободной грани от времени, кроме того, в этой функции могут быть использованы любые переменные, использующиеся в процессе вычисления модели.

Результатом численного моделирования является набор данных, представляющих собой векторные поля смещений  $\Delta$ , деформаций  $\delta$ , акустического давления  $P$ , мгновенных ускорений и пр. в дискретные моменты времени с заданным шагом. Результаты расчетов могут быть представлены в виде двухмерной или трехмерной поверхности, определяющей величину исследуемого параметра в любой точке геометрической модели в заданный момент времени. Представления в каждый момент времени могут быть объединены в анимацию, позволяющую наблюдать процесс распространения волны в динамике. С целью последующей обработки результатов моделирования COMSOL Multiphysics имеет интерфейс с системой MATLAB/Simulink [13].

### Моделирование распространения акустической волны в плоском объекте в COMSOL Multiphysics

В качестве тестового примера рассматривается моделирование акустической волны в стальной пластине размером  $1 \times 1$  м<sup>2</sup>, рассмотренное в работе [9]. Технические показатели материала: модуль упругости –  $2,1 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент Пуассона – 0,28, плотность –  $7,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; скорость звука в стали –  $5,2 \cdot 10^3$  м/с.

Граничные условия имеют вид:

- левая грань обладает двумя степенями свободы, верхняя и нижние грани имеют одну степень свободы – вдоль оси  $X$  (горизонтальной оси);
- к правой грани приложена сила величиной 1 кН, действующая в направлении центра пластины в течение 10 мкс.

Для решателя заданы: относительная точность 0,1% и переменный шаг решения модели. Результаты моделирования стальной пластины –  $x$ -компонента поля смещения элементарных областей относительно положения равновесия – представлены на рис. 3.

Из рис. 3, *а* видно, что волновой фронт при  $t = 100$  мкс достигает середины объекта, что соответствует теоретическому расчету для распространения звука в стали. Изменив граничные условия так, что смещение верхней грани вдоль оси  $X$  равно нулю, получим результаты, представленные на рис. 3, *б*. Запрет перемещения верхней грани привел к возникновению переотражений акустической волны и к изменению поля смещения [9]. Результаты для случая приложения силы к точке вдоль правой грани и по нормали к ней приведены на рис. 3, *в*. В результате формируются две зоны деформации с противоположными знаками.

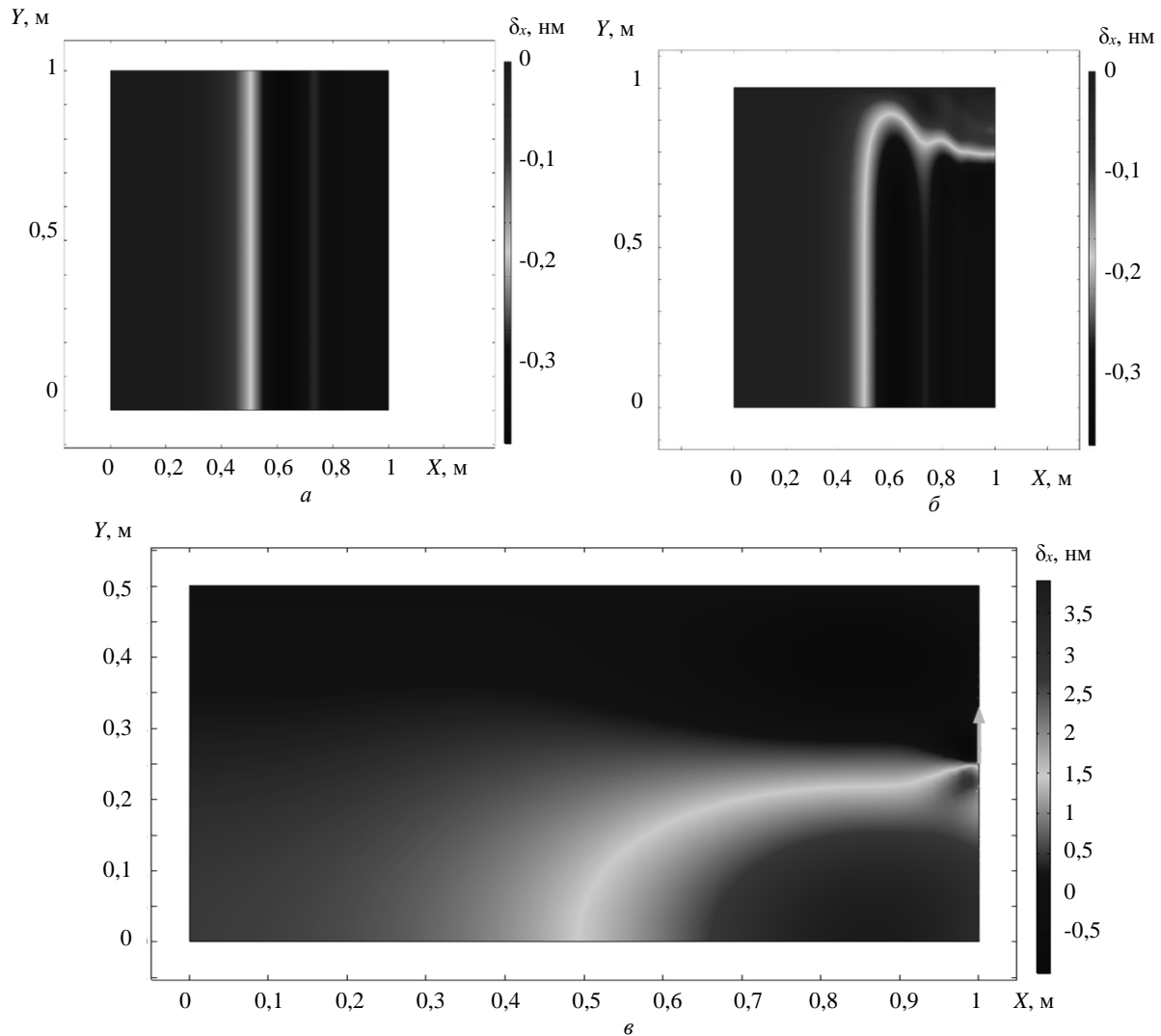


Рис. 3. Результаты моделирования пластины в COMSOL Multiphysics –  $x$ -компонента поля смещения  $\delta_x$ , нм:  
 а – со свободными верхней и нижней границами; б – с фиксированной верхней гранью;  
 в – с приложением силы к точке вдоль правой грани

На рис. 4 приведены результаты моделирования пластины с геометрическим концентратором (отверстием) диаметром 5 см по центру. Сила приложена к боковым граням по направлению внутрь, нижняя грань зафиксирована вдоль оси  $Y$ , верхняя грань имеет все степени свободы. Плотность механической энергии в момент времени 150 мкс представлена на рис. 4, а. По результатам видно, что скорость распространения волны соответствует теоретической скорости. Возле отверстия наблюдается сложение волн, что приводит к эффекту концентрации напряжения вблизи отверстия. На рис. 4, б. представлена поверхность, иллюстрирующая механическое напряжение фон Мизеса вблизи геометрического концентратора в виде трещины в момент времени  $t = 100$  мкс. Воздействие приложено к точке разрыва атомарной связи и моделирует возникающее при этом высвобождение квантиля энергии. Продольная волна распространяется вдоль разорвавшейся связи, но при этом наблюдается и поперечная волна, распространяющаяся в перпендикулярном направле-

нии. С помощью такого представления о разрыве атомарных связей можно описать дискретный характер генерации акустической волны. Определение и исследование параметров такой волны позволяют определить скорость роста трещины и её расположение.

#### Заключение

Для моделирования процесса распространения акустических волн можно использовать как систему COSMOS/M, так и COMSOL Multiphysics. Тестирование COMSOL Multiphysics показало совпадение с результатами расчетов в COSMOS/M.

Использование COMSOL Multiphysics является более предпочтительным при моделировании и проектировании систем диагностики, поскольку в ней имеется интерфейс с системой MatLab/Simulink, что позволяет использовать возможности MATLAB/Simulink для моделирования средств сбора и обработки данных и разработки алгоритмов диагностики.

Предложена концептуальная модель комплекса программ проектирования акустико-эмиссионных систем диагностики.

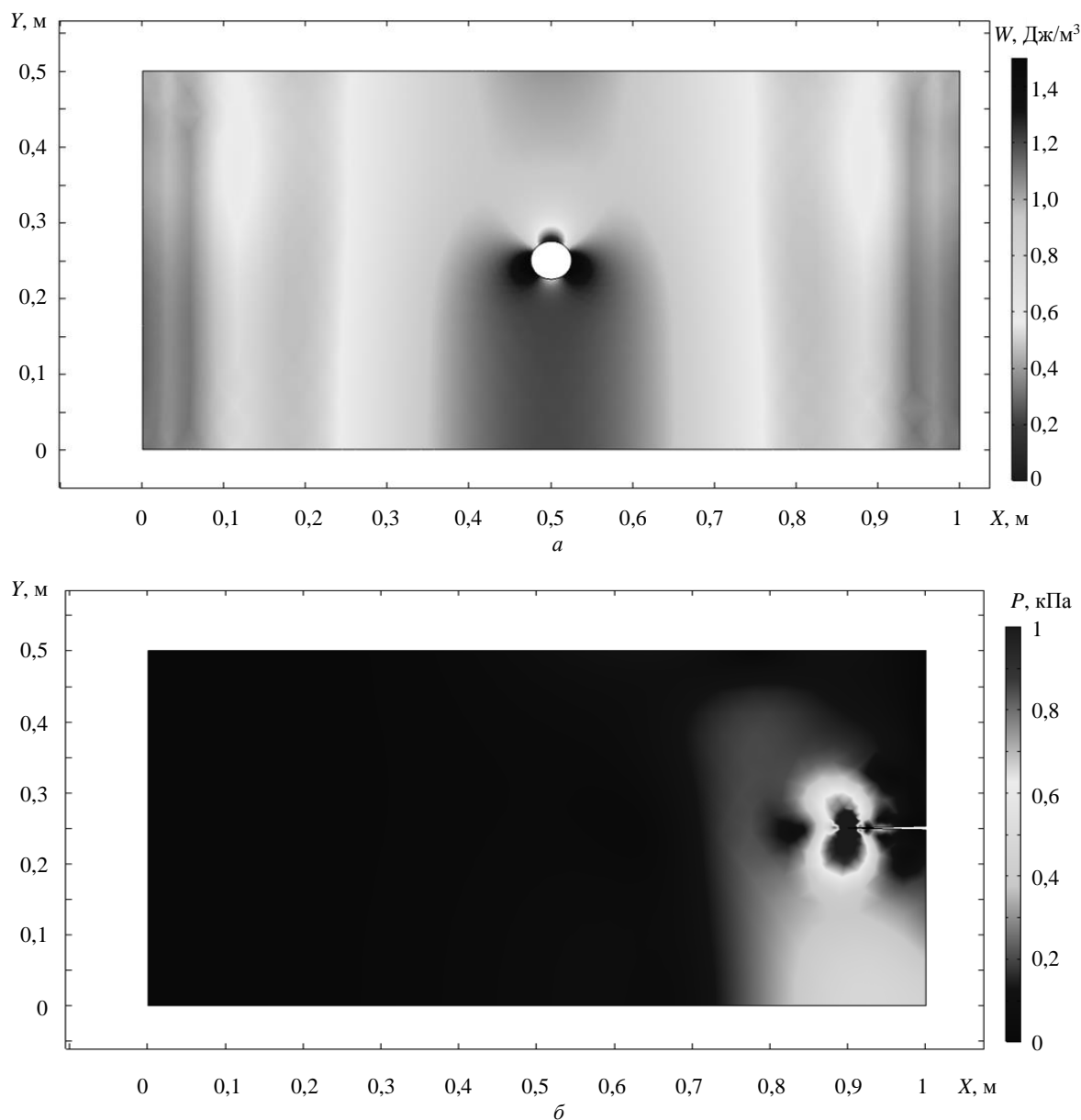


Рис. 4. Результаты моделирования пластины с концентратором в COMSOL Multiphysics: *a* – плотность энергии при  $t = 150$  мкс; *б* – напряжение вблизи трещины при  $t = 100$  мкс

### Литература

- ГОСТ Р ИСО 22096–2015. Контроль состояния и диагностика машин. Метод акустической эмиссии. – М.: Стандартинформ, 2019. – 11 с.
- Eaton M.J. Acoustic emission source location in composite materials using Delta T Mapping / M.J. Eaton, R. Pullin, K.M. Holford. – Cardiff, UK: Cardiff School of Engineering, 2011. – P. 856–863.
- Blitz J. Ultrasonic Methods of Non-Destructive Testing // J. Blitz, G. Simpson. – New York, US: Springer-Verlag, 1991. – 264 p.
- Сабунин А.Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. – М.: Солон-Пресс, 2009. – 432 с.
- Владимиров В.С. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1981. – 512 с.
- Самарский А.А. Методы решения сеточных уравнений / А.А. Самарский, Е.С. Николаев. – М.: Наука, 1978. – 592 с.
- Штеттер Х. Анализ методов дискретизации для обыкновенных дифференциальных уравнений. – М.: Мир, 1978. – 461 с.
- Morton K.W. Numerical Solution of Partial Differential Equations / An Introduction. – Cambridge: Cambridge university press, 2012. – 105 p.
- Сыч Т.В. Совершенствование технологии акустико-эмиссионного контроля на основе конечно-элементного анализа акустического тракта: дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск: Сибирский гос. ун-т путей сообщения, 2016. – 149 с.
- Девятов С. Программы семейства COSMOS – универсальный инструмент конечно-элементного анализа // CADmaster. Машиностроение, 2002. – № 1. – URL:



[https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm\\_11\\_cosmos.html](https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_11_cosmos.html) (дата обращения: 15.08.2020).

11. COMSOL Documentation. – URL: <https://www.comsol.com/documentation>. (дата обращения: 15.08.2020).

12. Tabatabain M. COMSOL for Engineers. – Dulles, US: Mercury Learning & Information, 2014. – 254 p.

13. Дьяконов В.П. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник / В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.

#### Хан Кирилл Иннокентьевич

Аспирант каф. компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУРа

Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050

Тел.: +7-983-349-26-58

Эл. почта: kazmorebig@ya.ru

#### Кажмаганбетова Малика Аскарровна

Аспирант каф. КСУП ТУСУРа

Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050

Тел.: +7-960-977-44-87

Эл. почта: malikauku@gmail.com

#### Зайченко Татьяна Николаевна

Д-р техн. наук, проф. каф. КСУП ТУСУРа

Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050

Тел.: +7 (382-2) 41-47-17

Эл. почта: ztntomsk@rambler.ru

Khan K.I., Kazhmaganbetova M.A., Zaichenko T.N.

#### Conceptual model of software to develop acoustic emission diagnostic system

A generalized diagram of an acoustic emission diagnostic system is presented and a set of programs for its design is proposed. The propagation of an acoustic wave simulation is carried out by COMSOL Multiphysics in plane case under various conditions and the coincidence of the results with the COSMOS / M modelling system results is shown.

**Keywords:** diagnostic system, acoustic emission, model, computer modelling, software package.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-51-56

#### References

1. ISO 22096:2007. *Condition monitoring and diagnostics of machines. Acoustic emission method*. M.: Standartinform, 2019, 11 p. (in Russ.).

2. Eaton M.J. *Acoustic emission source location in composite materials using Delta T Mapping*. Cardiff School of Engineering, 2011, pp. 856–863.

3. Blitz J. *Ultrasonic Methods of Non-Destructive Testing*. New York, US: Springer-Verlag, 1991, 264 p.

4. Sabunin A.E. Altium Designer. *Novye resheniya v proektirovanii elektronnykh ustrojstv* [Altium Designer. New solutions in the design of electronic devices]. Moscow, Solon-Press, 2009, 432 p. (in Russ.).

5. Vladimirov V.S. *Uravneniya matematicheskoy fiziki* [Vladimirov V.S. Equations of mathematical physics.] Moscow, Science, 1981, 512 p. (in Russ.).

6. Samarskiy A.A., *Metody resheniya setochnykh uravnenij* [Samarskiy A.A., Methods for solving grid equations]. Moscow, Science, 1978, 592 p. (in Russ.).

7. Shtetter H. *Analiz metodov diskretizatsii dlya obyknovennykh differentsial'nykh uravnenij* [Stetter H. Analysis of discretization methods for ordinary differential equations]. Moscow, World, 1978, 461 p. (in Russ.).

8. Morton K.W. *Numerical Solution of Partial Differential Equations. An Introduction*. Cambridge university press, 2012, 105 p.

9. Sych T.V. *Sovershenstvovanie tekhnologii akustiko-emissionnogo kontrolya na osnove konechno-elementnogo analiza akusticheskogo trakta* [Improving the technology of acoustic emission control based on finite element analysis of the acoustic tract. Cand. Diss.], Novosibirsk: Siberian transport university, 2016, 149 p. (in Russ.).

10. Devyatov S. *Programmy semeystva COSMOS – universal'nyj instrument konechno-elementnogo analiza*. [Devyatov S. Programs of the COSMOS family - a universal tool for finite element analysis]. Available at: [https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm\\_11\\_cosmos.html](https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_11_cosmos.html) (Accessed: 15 August 2020) (in Russ.).

11. COMSOL Documentation. Available at: <https://www.comsol.com/documentation> (Accessed: 15 August 2020).

12. Tabatabain M. COMSOL for Engineers. *Mercury Learning & Information*, 2014. 254 p.

13. D'yakonov V.P. *MATLAB. Obrabotka signalov i izobrazhenij* [Signal and image processing. Special reference]. St. Petersburg, Peter, 2002. 608 p. (in Russ.).

#### Kirill I. Khan

Postgraduate student, Faculty of Computer Systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)

40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050

Phone: +7-983-349-26-58

Email: kazmorebig@ya.ru

#### Malika A. Kazhmaganbetova

Postgraduate student, Faculty of Computer Systems, TUSUR

40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050

Phone: +7-960-977-44-87

Email: kazmorebig@ya.ru

#### Tatyana N. Zaichenko

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Faculty of Computer Systems, TUSUR

40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050

Phone: +7 (382-2) 41-47-17

Email: ztntomsk@rambler.ru

УДК 004.021

М.Б. Бардамова, А.Г. Буймов, В.Ф. Тарасенко

## Способы адаптации алгоритма прыгающих лягушек к бинарному пространству поиска при решении задачи отбора признаков

Отбор признаков является важным этапом построения любого классификатора. Для проведения отбора часто используются бинарные версии метаэвристических алгоритмов оптимизации. Однако многие метаэвристики изначально создаются для работы в непрерывном пространстве поиска, поэтому их необходимо специально адаптировать к бинарному пространству. В работе предложены пятнадцать способов бинаризации алгоритма прыгающих лягушек на основе трех методов: модифицированных алгебраических операций, операции слияния и функций трансформации. Эффективность бинарного алгоритма прыгающих лягушек проверена в задаче отбора признаков для нечеткого классификатора на наборах данных из репозитория KEEL. Результаты показывают, что все описанные способы бинаризации позволяют сокращать признаки, повышая при этом общую точность классификации.

**Ключевые слова:** нечеткий классификатор, алгоритм прыгающих лягушек, отбор признаков, бинаризация.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-57-62

Операция отбора признаков в машинном обучении является эффективным инструментом для уменьшения сложности модели. Удаление избыточных признаков помогает уменьшить переобучение, а исключение шумовых атрибутов может позволить улучшить качество прогноза. Кроме того, выделение наиболее информативных переменных позволяет получить новые знания о решаемой задаче, поэтому отбор с применением интеллектуальных алгоритмов часто рассматривается как исследовательский инструмент.

Существуют две основные стратегии отбора признаков: фильтрация [1] и обертка [2]. Фильтры оценивают взаимосвязь между признаками и выходной переменной с помощью информационных критериев, например взаимной информации или коэффициента корреляции. Такие алгоритмы используются на этапе подготовки данных. С одной стороны, фильтры являются стабильным и универсальным средством отбора, так как не зависят от особенностей классификатора, но по этой же причине обладают довольно низкой эффективностью.

Обертки, напротив, функционируют в совокупности с решающим алгоритмом. Они осуществляют подбор наиболее информативных подмножеств признаков на основе качества получаемых моделей. Это позволяет им находить наборы признаков, наиболее важных для конкретного классификатора. В качестве оберток часто используются метаэвристики, в том числе и при построении нечетких систем [3–5]. Однако этот класс алгоритмов зачастую разрабатывается для оптимизации в непрерывном пространстве. В данной работе речь пойдет о способах адаптации алгоритма прыгающих лягушек к бинарному пространству с целью отбора признаков в нечетких классификаторах.

### Алгоритм прыгающих лягушек (АПЛ)

Популяция входных векторов в данной метаэвристике имитирует социальное поведение лягушек, осуществляющих поиск пропитания [6, 7]. Популяция разбивается на более мелкие группы, в каждой

из которых есть свой локальный лидер – лягушка, сумевшая отыскать наиболее удачное место с пищей. Остальные лягушки групп перемещаются в направлении к своему лидеру. Параллельно происходит обмен информацией между популяцией путем перетасовки групп, выделение среди лидеров самого успешного и постепенное движение всех лягушек к глобальному лидеру.

Метаэвристика имеет небольшое количество параметров. Требуется задать количество групп  $G$ , число лягушек в данной группе  $F$ , константу для обновления входных векторов  $c$ , количество итераций для глобального и локального поиска  $T_{gl}$  и  $T_{lc}$  соответственно.

Последовательность действий в непрерывном АПЛ следующая. На вход алгоритму поступает популяция векторов  $\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N\}$ . Размер популяции устанавливается как  $N = F \times G$ . Для всех векторов оценивается значение целевой функции  $\text{fit}(\mathbf{x}_i)$ ,  $i \in [1, N]$ . В качестве целевой функции может выступать, например, точность классификации. В таком случае задача метаэвристики – найти вектор, обеспечивающий максимальное значение точности.

Далее происходит глобальный поиск, в котором популяция сортируется по убыванию целевой функции и разбивается на  $G$  групп по  $F$  векторов следующим образом:  $\mathbf{x}_1$  попадет в первую подгруппу,  $\mathbf{x}_2$  – во вторую, вектор  $\mathbf{x}_G$  окажется в группе с номером  $G$ ,  $\mathbf{x}_{G+1}$  будет направлен в первую группу и т.д. Внутри каждой группы происходит локальный поиск, заключающийся в итерационном повторении трех этапов. На первом этапе генерируется временный вектор  $\mathbf{New}$ :

$$\mathbf{New} = r \times c \times (\mathbf{best}(t) - \mathbf{worst}(t)) + \mathbf{worst}(t), \quad (1)$$

где  $r$  – случайное число в промежутке от 0 до 1,  $\mathbf{best}(t)$  и  $\mathbf{worst}(t)$  – векторы с лучшей и худшей фитнес-функцией в группе на локальной итерации  $t$ ,  $t \in [1, T_{lc}]$ . Если выполняется условие  $\text{fit}(\mathbf{New}) \geq \text{fit}(\mathbf{worst}(t))$ , то временный вектор записывается в  $\mathbf{worst}(t)$  и итерация локального поиска завершается.

В противном случае осуществляется переход ко второму этапу.

На втором этапе вектор **New** генерируется заново, но вместо **best**(*t*) используется глобально лучший вектор **x<sub>1</sub>**. Если и в этом случае условие  $\text{fit}(\mathbf{New}) \geq \text{fit}(\mathbf{worst}(t))$  не выполняется, то на третьем этапе на месте **worst**(*t*) создается вектор случайным образом.

Когда во всех группах заданное количество локальных итераций  $T_{lc}$  будет выполнено, популяция объединяется и весь процесс повторяется заново с сортировки. Алгоритм останавливается при достижении  $T_{gl}$ , на выход подается алгоритм с лучшей целевой функцией.

#### Бинаризация алгоритма прыгающих лягушек

Варианты бинаризации АПЛ в литературе обычно сводятся к его совмещению с наиболее известными метаэвристиками – алгоритмом роящихся частиц и генетическим алгоритмом [8, 9]. Например, в [8] вместо применения оператора (1) для худшей лягушки рассчитывается непрерывный вектор скорости. Формула для расчета является довольно громоздкой и оперирует большим количеством параметров. Далее вектор скорости переводится в бинарный эквивалент с помощью порога и заменяет худшую лягушку в случае улучшения целевой функции. В противном случае к этой же лягушке поэтапно применяются операции мутации и кроссовера. Ввиду объемности вычислений алгоритм теряет свои достоинства – быструю скорость работы и вычислительную простоту.

Мы предлагаем более простые способы бинаризации АПЛ, позволяющие сохранить его достоинства. Все методы принимают на вход популяцию из бинарных векторов. В задаче отбора признаков размерность каждого вектора совпадает с количеством признаков в таблице наблюдения; элемент вектора, соответствующий единице, указывает на наличие признака в обучении, ноль – на отсутствие.

#### Модифицированные алгебраические операции

Идея метода заключается в том, что для перехода алгоритма в бинарную версию достаточно поставить в соответствие исходным математическим операциям используемых формул их логические аналоги [10, 11]. Например, вместо сложения использовать операцию дизъюнкции ( $\vee$ ), а вместо умножения – конъюнкции ( $\wedge$ ). Таким образом, (1) можно изменить следующим образом:

$$\mathbf{New} = \mathbf{r} \wedge (\mathbf{best}(t) \oplus \mathbf{worst}(t)) \vee \mathbf{worst}(t), \quad (2)$$

где **r** – случайный бинарный вектор, символ  $\oplus$  обозначает операцию строгой дизъюнкции, являющейся заменой вычитанию.

#### Метод слияния

При использовании данного метода (1) заменяется операцией слияния двух векторов – худшей лягушки в группе и локального или глобального лидера в зависимости от этапа локального поиска. Операция слияния заключается в следующем. Элементы двух входных векторов поэлементно сравниваются.

Если два элемента, стоящие на одной и той же позиции, одинаковы, то в результирующем векторе в этой позиции будет записано значение этих элементов. Если элементы различаются, то осуществляется генерация случайного числа. Если оно меньше или равно 0,5, то в соответствующую позицию нового вектора записывается элемент из худшей лягушки. В противном случае на этом месте будет выставлен элемент из лучшего вектора [12].

#### Комбинация модифицированных арифметических операций и слияния

При совмещении двух ранее описанных способов бинаризации сначала генерируется вектор **New** на основе (2), затем **New** и **worst**(*t*) подаются на вход операции слияния.

#### Функции трансформации

Некоторые метаэвристики не способны оперировать бинарными векторами напрямую. Часто для перехода из непрерывного пространства в бинарное в таком случае используют функции трансформации, которые осуществляют отображение вещественного числа на промежуток от нуля до единицы. Если вычисленное значение функции больше случайного числа, то соответствующий элемент вектора либо принимает значение единицы, либо заменяется на противоположное [13, 14].

В данной работе были опробованы три функции трансформации. Первая функция принадлежит к семейству S-образных и определяется по следующей формуле:

$$F_1(z) = 1 / (1 + e^{-z}), \quad (3)$$

где *z* – некоторое входное вещественное число. Вторая рассчитывается с помощью гиперболического тангенса и относится к числу V-образных функций:

$$F_2(z) = |\tanh(z)|. \quad (4)$$

К тому же семейству относится третья функция:

$$F_3(z) = |z / \sqrt{1 + z^2}|. \quad (5)$$

Для обновления элементов в бинарном векторе признаков будем использовать два правила. В первом явно задается бинарное значение элемента:

$$\text{Если } \text{rand}(0,1) < F(z), \text{ то } x^d = 1, \text{ иначе } x^d = 0, \quad (6)$$

где *F*(*z*) – одна из трех функций трансформации, *d* – номер позиции элемента в векторе **x**. Во втором трансформационном правиле элемент либо меняется на противоположный, либо остается прежним:

$$\text{Если } \text{rand}(0,1) < F(z), \text{ то } x^d = x^d \oplus 1. \quad (7)$$

Для использования описанного метода в SFLA вместо (1) вводится расчет вектора скорости следующим образом:

$$\mathbf{V} = (\mathbf{x}_1 - \mathbf{worst}(t)) \times \mathbf{r}_1 + (\mathbf{best}(t) - \mathbf{worst}(t)) \times \mathbf{r}_2, \quad (8)$$

где **r<sub>1</sub>** и **r<sub>2</sub>** – непрерывные векторы, заполненные случайными вещественными значениями в диапазоне от 0 до 1. Затем вектор **V** подается на вход одной из трех функций трансформации.

Результат применения функции трансформации и одного из двух правил обновления элементов записывается в вектор **worst(t)** в том случае, если происходит улучшение фитнес-функции. В противном случае на месте **worst(t)** генерируется вектор случайным образом.

**Комбинация функций трансформации и слияния**

К предыдущему методу добавляется второй этап локального поиска. На нем получившийся ранее вектор проходит через операцию слияния с глобальным лидером  $x_1$ . Если и он не улучшает худший вектор, то проводится случайная генерация.

**Эксперимент**

В эксперименте были использованы наборы данных из открытого репозитория KEEL [15]. Описание наборов приведено в табл. 1. В качестве решающего алгоритма использовался нечеткий классификатор с треугольными термами. Структура классификатора генерировалась алгоритмом на основе экстремальных значений классов [16].

Эксперимент был проведен по схеме десятикратной кроссвалидации: каждый набор был разбит на десять обучающих и тестовых выборок в пропорции 9:1. Параметры алгоритма прыгающих лягушек следующие: количество групп равняется 4, в каждой из них по 10 векторов; локальных итераций 5, глобальных итераций 30. В табл. 2 представлены перечень использованных в АПЛ способов бинаризации и их краткое обозначение.

Таблица 1

**Параметры наборов данных**

Данные	Аббр.	Признаки	Экземпляры	Классы
magic	mgc	10	19020	2
wine	wn	13	178	3
heart	hrt	13	270	2
cleveland	clv	13	297	5
vowel	vwl	13	990	11
penbased	pnb	16	10992	10
vehicle	vhc	18	846	4
hepatitis	hpt	19	80	2
segment	sgm	19	2310	7
ring	rng	20	7400	2
twonorm	twn	20	7400	2
thyroid	thr	21	7200	3
wdbc	wdbc	30	569	2
ionosphere	ion	33	351	2
dermatology	drm	34	358	6
satimage	stm	36	6435	7
spectfheart	spc	44	267	2
spambase	spm	57	4597	2
sonar	snr	60	208	2
optdigits	optd	64	5620	10
coil2000	cl2000	85	9822	2

Таблица 2

**Методы бинаризации АПЛ**

Обозначение	Метод
АО	Модифицированные алгебр. операции
m	Слияние
АОm	МАО + слияние
F <sub>11</sub>	ФТ* (3) + правило (6)
F <sub>21</sub>	ФТ (4) + правило (6)
F <sub>31</sub>	ФТ (5) + правило (6)
F <sub>12</sub>	ФТ (3) + правило (7)
F <sub>22</sub>	ФТ (4) + правило (7)
F <sub>32</sub>	ФТ (5) + правило (7)
F <sub>11m</sub>	ФТ (3) + правило (6) + слияние
F <sub>21m</sub>	ФТ (4) + правило (6) + слияние
F <sub>31m</sub>	ФТ (5) + правило (6) + слияние
F <sub>12m</sub>	ФТ (3) + правило (7) + слияние
F <sub>22m</sub>	ФТ (4) + правило (7) + слияние
F <sub>32m</sub>	ФТ (5) + правило (7) + слияние

\*ФТ – функция трансформации

В табл. 3 приведена результирующая точность при построении классификатора на отобранных подмножествах признаков, усредненная по десяти тестовым выборкам.

Таблица 3

**Точность классификации при использовании различных версий бинарного АПЛ для отбора признаков**

Данные	ЭК	АО	m	АОm	F <sub>11</sub>	F <sub>21</sub>	F <sub>31</sub>	F <sub>12</sub>	F <sub>22</sub>	F <sub>32</sub>	F <sub>11m</sub>	F <sub>21m</sub>	F <sub>31m</sub>	F <sub>12m</sub>	F <sub>22m</sub>	F <sub>32m</sub>
mgc	71,9	71,8	72,1	73,1	72,7	73,1	72,8	71,9	72,1	72,3	72,4	73,1	73,1	72,1	72,2	71,8
wn	88,1	92,1	93,2	93,8	92,7	93,8	93,2	92,1	92,6	93,2	93,2	92,6	92,6	94,4	92,1	92,1
hrt	71,5	66,3	66,7	66,7	66,3	66,3	66,7	65,6	65,6	66,3	66,3	65,6	65,6	65,6	66,7	65,9
clv	45,2	53,5	54,5	54,5	54,5	54,5	54,5	54,5	54,5	54,2	54,5	54,5	54,5	54,5	53,9	54,2
vwl	43,8	47,8	47,9	47,4	47,5	45,9	47,5	46,7	47,9	47,6	47,9	47,6	47,1	47,6	47,6	47,6
pnb	56,7	57,7	57,7	56,9	57,5	56,8	56,7	56,8	57,7	57,7	57,3	57,2	56,7	57,0	57,6	57,7
vhc	30,4	38,8	46,3	42,2	41,1	43,0	40,0	41,3	45,3	45,3	42,8	44,2	44,7	42,4	45,4	45,9
hpt	83,4	80,3	78,1	77,9	78,1	79,0	79,4	81,0	79,0	80,8	76,1	79,4	79,0	78,1	79,2	82,5
sgm	80,5	84,9	85,5	84,7	85,1	85,1	84,7	84,7	86,0	85,7	85,4	85,6	85,4	85,5	85,6	85,9
rng	64,4	55,9	65,5	65,3	60,5	64,7	65,6	55,4	65,6	65,5	63,2	65,6	65,6	60,1	65,6	65,6
twn	96,1	96,1	96,2	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,2	96,1	96,0	96,1	96,1	96,1	96,2	96,2
thr	7,4	88,8	96,8	96,7	96,6	96,7	96,7	93,8	96,8	96,8	96,8	96,8	96,8	96,8	96,8	96,8
wdbc	92,8	94,5	95,6	94,4	95,1	95,3	95,1	94,0	96,0	95,6	95,3	95,1	95,1	95,1	95,1	95,4
ion	79,8	83,2	83,2	83,8	83,5	82,3	82,9	82,9	83,2	83,2	83,2	82,9	83,5	83,2	83,2	83,2
drm	80,7	83,0	87,2	80,7	83,3	78,2	83,2	83,6	88,2	88,6	85,8	83,8	81,5	81,6	88,6	88,0
stm	60,3	63,6	69,1	66,4	65,2	64,7	65,3	63,2	68,9	69,1	66,4	68,6	68,8	64,6	69,3	68,5
spc	78,6	78,6	79,7	80,9	79,0	76,7	80,1	80,2	77,5	79,0	77,1	79,4	80,1	78,6	79,1	78,6
spm	39,4	56,1	76,9	74,7	66,5	72,4	72,1	59,2	77,0	77,4	72,0	78,2	78,4	62,0	75,1	74,2
snr	62,5	54,4	57,1	58,1	52,9	57,2	51,5	53,4	52,9	57,2	54,4	53,5	60,5	54,8	54,8	53,3
optd	13,5	28,1	33,3	27,0	28,1	27,1	26,7	26,9	33,1	33,1	30,1	29,1	28,6	29,5	32,9	32,4
cl2000	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0
<b>Ср.</b>	<b>63,9</b>	<b>70,0</b>	<b>73,2</b>	<b>72,2</b>	<b>71,3</b>	<b>71,6</b>	<b>71,7</b>	<b>70,3</b>	<b>72,9</b>	<b>73,3</b>	<b>71,9</b>	<b>72,5</b>	<b>72,7</b>	<b>71,1</b>	<b>72,9</b>	<b>72,9</b>

Для сравнения приведены результаты построения нечеткого классификатора алгоритмом экстремальных значений классов до отбора признаков (столбец ЭК).

В последней строке таблицы содержатся средние значения точности классификации по всем наборам данных. По сравнению с точностью, полученной без отбора признаков, все методы бинаризации позволили улучшить среднее качество классификации. Лучшие результаты были получены бинарным АПЛ с помощью функции трансформации (5) с правилом (7), а также при использовании метода слияния в отдельности.

В табл. 4 представлено усредненное по десяти выборкам количество признаков, оставшихся в обучении после отбора признаков. На разных выборках может получиться различное количество признаков, поэтому числа в таблице могут принимать дробные значения. В столбце ЭК приведено исходное количество признаков в наборе данных до проведения отбора. В последней строке табл. 3 подсчитаны сред-

ние значения количества отобранных с помощью АПЛ признаков.

Лучшие способности к отбору признаков алгоритма прыгающих лягушек позволили показать следующие методы: V-образные функции трансформации с правилом (6) и операцией слияния, а также модифицированные алгебраические операции в комбинации с операцией слияния.

На рис. 1 представлен фронт Парето между средними рангами, вычисленными согласно критерию Фридмана, по ошибке классификации и количеству отобранных признаков. В сносках к точкам указаны следующие значения: название метода, средний ранг метода по числу признаков, средний ранг метода по ошибке классификации. Во фронт попали три точки; две из них принадлежат V-образным функциям трансформации с правилом отбора, которое явно задает равенство элемента входного вектора нулю или единице, и операцией слияния. Третья точка принадлежит бинарной версии АПЛ, которая использует функцию слияния без каких-либо других методов.

Таблица 4

**Точность классификации при использовании различных версий бинарного АПЛ для отбора признаков**

Данные	ЭК	АО	m	AOm	F <sub>11</sub>	F <sub>21</sub>	F <sub>31</sub>	F <sub>12</sub>	F <sub>22</sub>	F <sub>32</sub>	F <sub>11m</sub>	F <sub>21m</sub>	F <sub>31m</sub>	F <sub>12m</sub>	F <sub>22m</sub>	F <sub>32m</sub>
mgc	10	5,7	5,1	1,4	3,3	1,5	1,9	5,1	5,2	4,6	3,4	1,5	1,5	5,2	4,6	4,1
wn	13	7,7	6,0	5,4	5,8	6,4	5,2	7,1	6,3	5,3	6,0	5,3	5,1	6,3	5,6	5,3
hrt	13	6,2	6,3	6,1	6,7	6,5	5,5	6,6	6,8	7,2	6,2	5,9	6,6	6,6	7,3	6,6
clv	13	5,3	3,5	3,1	3,0	3,4	2,8	3,4	3,9	4,3	3,3	3,2	2,5	3,9	3,5	4,3
vwl	13	8,2	7,3	6,8	7,5	6,8	6,6	7,8	7,5	8,1	7,6	7,1	7,2	7,6	7,7	7,9
pnb	16	14,3	14,3	15,6	13,5	15,6	16,0	14,4	14,2	14,3	14,0	13,8	13,6	14,0	14,2	14,3
vhc	18	9,6	6,3	5,2	7,2	5,7	6,2	8,5	7,3	7,2	6,5	6,0	5,6	7,6	7,1	6,1
hpt	19	9,1	9,0	7,5	8,8	7,4	7,7	8,6	8,5	9,3	8,1	7,7	8,3	8,5	8,9	9,2
sgm	19	11,0	9,2	7,9	9,6	8,6	9,0	10,6	9,4	9,4	9,0	8,0	7,6	9,9	8,8	8,3
rng	20	5,2	2,9	2,6	3,5	2,3	2,7	6,0	2,8	2,9	3,6	2,8	2,8	3,8	2,8	2,8
twm	20	18,8	18,7	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,7	18,9	19,4	20,0	20,0	19,5	18,7	18,7
thr	21	10,6	7,4	6,0	8,1	7,1	6,0	8,8	7,6	7,7	8,1	6,6	6,7	9,2	7,7	7,8
wdbc	30	13,5	11,1	7,6	10,9	9,8	8,6	13,8	11,3	12,4	11,3	8,4	6,5	14,2	11,3	12,0
ion	33	20,8	19,1	17,6	19,0	17,8	17,6	20,6	19,2	18,9	19,4	16,9	17,1	19,8	18,8	19,7
drm	34	24,8	21,5	16,9	19,5	17,2	16,7	20,6	21,1	19,4	19,2	16,3	14,0	21,7	20,1	18,2
stm	36	16,7	6,0	7,7	12,1	10,5	10,3	15,0	5,9	6,3	10,4	5,1	5,1	13,8	6,3	6,3
spc	44	31,9	24,0	24,3	23,6	22,5	22,3	28,6	24,1	23,8	22,4	20,4	20,4	28,1	24,7	23,2
spm	57	20,5	14,0	8,9	19,5	15,5	15,8	20,2	14,6	14,8	20,4	8,0	7,6	20,5	15,2	15,5
snr	60	44,7	28,4	16,9	33,8	20,6	22,3	37,4	31,5	28,7	27,3	17,1	12,7	33,9	30,8	32,2
optd	64	35,3	32,1	25,1	33,1	29,0	26,0	35,4	32,7	30,9	30,6	24,1	21,3	36,6	31,9	31,7
cl2000	85	76,0	74,7	85,0	74,1	82,1	85,0	68,7	82,2	85,0	78,2	81,6	72,9	74,7	82,3	82,1
<b>Среднее</b>	<b>30,4</b>	<b>18,9</b>	<b>15,6</b>	<b>14,2</b>	<b>16,3</b>	<b>15,1</b>	<b>15,0</b>	<b>17,5</b>	<b>16,2</b>	<b>16,2</b>	<b>15,9</b>	<b>13,6</b>	<b>12,6</b>	<b>17,4</b>	<b>16,1</b>	<b>16,0</b>

### Заключение

В данной работе была проведена проверка эффективности пятнадцати методов бинаризации алгоритма прыгающих лягушек. Все методы являются вычислительно простыми, поэтому скорость алгоритма довольно высокая. Самую высокую скорость, 5,3 с, алгоритм прыгающих лягушек продемонстрировал при использовании функции трансформации (4) с правилом (7). Дольше всего метаэвристика работала при комбинации функции трансформации (4) с правилом (6) и операцией слияния; этот метод в среднем обрабатывал за 9 с.

Несмотря на то, что разные способы бинаризации лидировали по двум измеряемым характеристикам, можно отметить следующее. Метод алгебраических операций продемонстрировал худшие ре-

зультаты, поэтому использовать его как единственный метод бинаризации не стоит.

Операция слияния попала во фронт Парето как метод с наименьшим средним рангом по ошибке классификации. Кроме того, добавление слияния к другим способам бинаризации практически во всех случаях позволило улучшить точность классификации этих методов при уменьшении количества отобранных признаков.

S-образная функция трансформации показала более скромные результаты, чем функции из V-образного семейства. Первое трансформационное правило позволило отобрать меньшее количество признаков, но и этот результат удалось сократить при добавлении операции слияния. Второе правило помогло получить большую среднюю точность.

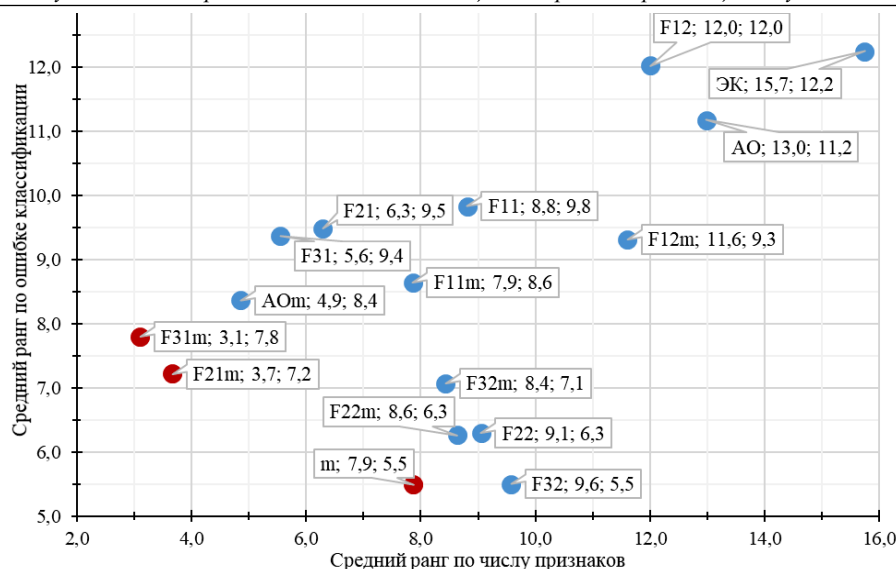


Рис. 1. Парето фронт по рангам критерия Фридмана по соотношению «ошибка классификации»–«число признаков»

Выделить один метод, который можно рекомендовать как универсальный для любых данных и задач, невозможно. При необходимости получения наибольшей точности классификации стоит воспользоваться методом слияния. Алгоритм прыгающих лягушек, использующий в качестве способа бинаризации V-образную функцию, вычисляемую по выражению (5), правило обновления векторов (6) и операцию слияния, может позволить получить наименьшее подмножество информативных признаков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90064.

#### Литература

- Vergara J.R. A review of feature selection methods based on mutual information / J.R. Vergara, P.A. Estevez // *Neural Computing and Applications*. – 2014. – Vol. 24. – P. 175–186.
- Kohavi R. Wrappers for feature subset selection / R. Kohavi, G. John // *Artificial Intelligence*. – 1997. – Vol. 97, No. 1. – P. 273–324.
- Hodashinsky I.A. Feature selection for fuzzy classifier using the spider monkey algorithm / I.A. Hodashinsky, M.M. Nemirovich-Danchenko, S.S. Samsonov // *Business Informatics*. – 2019. – Vol. 13, No. 2. – P. 29–42.
- Метаэвристические методы отбора информативных классифицирующих признаков / А.Е. Анфилофьев, М.Б. Бардамова, И.А. Ходашинский, К.С. Сарин // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. – 2017. – № 2(6). – С. 11–20.
- Improving the OVO performance in Fuzzy Rule-Based Classification Systems by the genetic learning of the granularity level / P. Villar, A. Fernández, R. Montes, A.M. Sánchez, F. Herrera // *Proc. of 2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*. – Istanbul, 2015. – P. 1–7.
- Eusuff M. Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization / M. Eusuff, K. Lansey, F. Pasha // *Engineering Optimization*. – 2006. – Vol. 38, No. 2. – P. 129–154.
- Elbeltagi E. A modified shuffled frog-leaping optimization algorithm: applications to project management / E. Elbeltagi, T. Hegazy, D. Grierson // *Structure and Infrastructure Engineering*. – 2007. – Vol. 3, No. 1. – P. 53–60.

8. Vakil Baghmisheh M.T. A discrete shuffled frog optimization algorithm / M.T. Vakil Baghmisheh, K. Madani, A. Navarbah // *Artificial Intelligence Review*. – 2011. – Vol. 36. – P. 267–284.

9. A novel hybrid optimization method of shuffled frog leaping algorithm and particle swarm optimization / M.J. Lin, F. Luo, Y.G. Xu, L. Luo // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 717. – P. 433–438.

10. Jia D. Binary artificial bee colony optimization using bitwise operation / D. Jia, X. Duan, M.K. Khan // *Computers and Industrial Engineering*. – 2014. – Vol. 76. – P. 360–365.

11. Afshinmanesh F. A novel binary particle swarm optimization method using artificial immune system / F. Afshinmanesh, A. Marandi, A. Rahimi-Kian // *Proc. of the International Conference on Computer as a Tool*. – IEEE, 2005. – Vol. 1. – P. 217–220.

12. Feature selection based on swallow swarm optimization for fuzzy classification / I. Hodashinsky, K. Sarin, A. Shelupanov, A. Slezkin // *Symmetry*. – 2019. – Vol. 11, No. 11. – P. 1423.

13. Mirjalili S. S-shaped versus V-shaped transfer functions for binary Particle Swarm Optimization / S. Mirjalili, A. Lewis // *Swarm and Evolutionary Computation*. – 2013. – Vol. 9. – P. 1–14.

14. Putting continuous metaheuristics to work in binary search spaces / B. Crawford, R. Soto, G. Astorga, J. García, C. Castro, F. Paredes // *Complexity*. – 2017. – Vol. 2017. – P. 1–19.

15. Knowledge Extraction Based on Evolutionary Learning [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.keel.es>, свободный (дата обращения: 24.08.2020).

16. Алгоритмы структурной идентификации компактных и точных нечетких систем / И.А. Ходашинский, И.В. Горбунов, К.С. Сарин, С.П. Субханкулова // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. – 2016. – № 1. – С. 82–93.

#### Бардамова Марина Борисовна

Преп. каф. комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС) Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
ORCID: 0000-0002-0567-590X  
Тел.: +7-903-951-61-13  
Эл. почта: 722bmb@gmail.com

**Буймов Аркадий Георгиевич**

Д-р техн. наук, профессор каф. экономики ТУСУРа  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
ORCID: 0000-0003-1335-6922  
Эл. почта: arkadii.g.buimov@tusur.ru

**Тарасенко Владимир Феликсович**

Д-р техн. наук, профессор каф. государственного  
и муниципального управления НИ ТГУ  
Тел.: 8 (382-2) 70-15-91  
Эл. почта: vtara54@mail.ru

Bardamova M.B., Buymov A.G., Tarasenko V.F.

**Methods for adapting the leaping frog algorithm to the binary search space when solving the feature selection problem**

The feature selection is an important step in constructing any classifier. Binary versions of metaheuristic optimization algorithms are often used for selection. However, many metaheuristics are originally created to work in the continuous search space, so they need to be specially adapted to the binary space. In this paper, the authors propose fifteen ways to binarize the Shuffled frog leaping algorithm based on the following methods: modified algebraic operations, merge operation, and transformation functions. The efficiency of the binary algorithm was tested in the problem of feature selection for fuzzy classifiers on data sets from the KEEL repository. The results show that all the described methods of binarization allow reducing the features, while increasing the overall accuracy of classification.

**Keywords:** fuzzy classifier, shuffled frog leaping algorithm, fuzzy selection, binarization.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-57-62

*References*

1. Vergara J.R., Estevez P.A. A review of feature selection methods based on mutual information. *Neural Computing and Applications*, 2014, vol. 24, pp. 175–186.
2. Kohavi R., John G. Wrappers for feature subset selection. *Artificial Intelligence*, 1997, vol. 97, no. 1, pp. 273–324.
3. Hodashinsky I.A., Nemirovich-Danchenko M.M., Samsonov S.S. Feature selection for fuzzy classifier using the spider monkey algorithm. *Business Informatics*, 2019, vol. 13, no. 2, pp. 29–42.
4. Anfilofiev A.E., Bardamova M.B., Hodashinsky I.A., Sarin K.S. [Metaheuristic methods for selecting informative classifying features]. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*, 2017, no. 2(6), pp. 11–20 (in Russ.).
5. Villar P., Fernández A., Montes R., Sánchez A. M., Herrera F. Improving the OVO performance in Fuzzy Rule-Based Classification Systems by the genetic learning of the granularity level. Proc. of 2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems. Istanbul, IEEE, 2015, pp. 1–7.
6. Eusuff M., Lansey K., Pasha F. Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization. *Engineering Optimization*, 2006, vol. 38, no. 2, pp. 129–154.
7. Elbeltagi E., Hegazy T., Grierson D. A modified shuffled frog-leaping optimization algorithm: applications to pro-

ject management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2007, vol. 3, no. 1, pp. 53–60.

8. Vakil Baghmisheh M.T., Madani K., Navarraf A. A discrete shuffled frog optimization algorithm. *Artificial Intelligence Review*, 2011, vol. 36, pp. 267–284.

9. Lin M.J., Luo F., Xu Y.G., Luo L. A novel hybrid optimization method of shuffled frog leaping algorithm and particle swarm optimization. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 717, pp. 433–438.

10. Jia D., Duan X., Khan M. K. Binary artificial bee colony optimization using bitwise operation. *Computers and Industrial Engineering*, 2014, vol. 76, pp. 360–365.

11. Afshinmanesh F., Marandi A., Rahimi-Kian A. A novel binary particle swarm optimization method using artificial immune system. Proc. of the International Conference on Computer as a Tool. IEEE, 2005. Vol. 1, pp. 217–220.

12. Hodashinsky I., Sarin K., Shelupanov A., Slezkin A. Feature selection based on swallow swarm optimization for fuzzy classification. *Symmetry*, 2019, vol. 11, no. 11, pp. 1423.

13. Mirjalili S., Lewis A. S-shaped versus V-shaped transfer functions for binary Particle Swarm Optimization. *Swarm and Evolutionary Computation*, 2013, vol. 9, pp. 1–14.

14. Crawford B., Soto R., Astorga G., Garcia J., Castro C., Paredes F. Putting continuous metaheuristics to work in binary search spaces. *Complexity*, 2017, vol. 2017, pp. 1–19.

15. Knowledge Extraction Based on Evolutionary Learning. Available at: <http://www.keel.es/> (Accessed: August 24, 2020).

16. Hodashinsky I.A., Gorbunov I.V., Sarin K.S., Subhankulova S.R. [Algorithms for structural identification of compact and precise fuzzy systems]. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*, 2016, no. 1, pp. 82–93 (in Russ.).

**Marina B. Bardamova**

Lecturer, Department of Complex Information Security of Computer Systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR) 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
ORCID: 0000-0002-0567-590X  
Phone: +7-903-951-61-13  
Email: 722bmb@gmail.com

**Arkadiy G. Buymov**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Department of Economics, TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
ORCID: 0000-0003-1335-6922  
Email: arkadii.g.buimov@tusur.ru

**Vladimir F. Tarasenko**

Dr. Tech. Sciences, Professor of the Department state and municipal administration, NR TSU  
36, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: 8 3822 70 15 91  
Email: vtara54@mail.ru

УДК 004.9

М.Ю. Катаев, М.О. Крылов, П.П. Гейко

## Программа сравнения изображений вегетационного индекса по данным, полученным со спутников и беспилотного летательного аппарата

В настоящее время практика поддержки многих видов деятельности человека требует применения инфраструктуры пространственно-временных данных (Spatial data infrastructure). Такая инфраструктура интегрирует внутри себя пространственно-временные наборы из многих источников информации, предоставляя пользователю различного вида методы обработки, анализа и визуализации. В данной статье описываются архитектура программной системы и процессы управления наборами пространственно-временных данных для решения задач сельского хозяйства. В качестве входной информации берутся данные измерений с помощью многоспектральных спутниковых систем, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), а также априорная информация (метеорология, агрохимическая информация и др.). Пользователем программной системы предоставляется возможность контроля пространственной информации территории сельскохозяйственных полей, наборов временных данных от разнородных пространственных данных. Важным результатом работы является совмещение результатов спутниковых и БПЛА изображений по контролируемым параметрам, что позволяет расширить область использования БПЛА и верифицировать их. Приведены результаты обработки реальных данных.

**Ключевые слова:** спутниковые приборы дистанционного зондирования, беспилотные летательные аппараты, изображения, вегетационные индексы, структура программы.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-63-70

Актуальность выбранной темы исследования связана с тем, что в настоящее время наблюдается обострение проблемы перехода от старой системы управления и ведения хозяйства к цифровой экономике [1–3]. Наступающая новая эра цифровой трансформации практически всех сфер человеческой деятельности требует разработки и внедрения решений по переходу на новую форму хозяйствования. Одной из отраслей, в которой ведется переход на цифровую форму, является сельское хозяйство [4, 5]. Сложность новой формы работы связана с переходом от интуитивных, полученных на опыте решений к использованию результатов анализа больших массивов данных, возникающих в применяемых цифровых технологиях. Это требует пересмотра или изменения отработанных временем методик, принципов сложившихся практик.

Одной из важных существующих проблем, препятствующих внедрению цифровых технологий в виде программно-аппаратных решений, в ходе которых генерируются пространственно-временные данные, является удаленность от центров их обработки и хранения. В настоящее время инфраструктура таких центров локализована более в городах. Это обстоятельство требует разработки интернет-ресурсов, способных удовлетворять потребности сельскохозяйственных работников в получении и использовании результатов обработки пространственно-временной информации. Заметим, что существующие программно-аппаратные решения, используемые для предоставления информации для сельского хозяйства, не в полной мере отвечают современным требованиям, которые предъявляются к функционированию интернет-ресурсов.

Несмотря на то, что системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) развиты достаточно хо-

рошо, отсутствует процесс сбора, хранения, обработки и анализа для целевого использования в сельском хозяйстве. Нет постоянной основы (включая финансирование) и регулярности в обеспечении заинтересованных потребителей актуальными данными ДЗЗ из космоса.

Известные программные продукты [6] предоставляют возможности для использования спутниковой информации на практике, но они связаны с решением узких задач и требуют наличия опытного специалиста, способного интерпретировать получаемые результаты. Отметим, что невозможно сделать одну программу обработки, например спутниковых данных или БПЛА, которая может быть использована всеми и во всех направлениях народного хозяйства. Разработка систем, напрямую связанных с специалистами-практиками, по определенному виду хозяйствования, например сельскому хозяйству, является важной задачей. Другой проблемой, которая требует решения, – это необходимость качества получаемой информации по объему, параметрам и их точности, которая требует сравнительного анализа с известной информацией, получившей достаточное доверие.

### Постановка задачи

Изображения, полученные с помощью цифровых камер, установленных на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), все больше находят применение в научных исследованиях и практических целях. На практике наибольшее применение БПЛА находят в сельском хозяйстве как инструмент мониторинга растительности и лесных массивов, окаймляющих поля. Несмотря на увеличение присутствия БПЛА в различных практических задачах, отсутствуют стандартизированные протоколы передачи данных потребителям информации и нет соот-



ветствующего программного обеспечения. Имеющиеся программные продукты, например, фирмы Agisoft [7], Панорама [8], UASMaster фирмы Совзонд [9] и некоторые другие, решают больше задачи сбора информации, географической привязки, построения панорам, но не решения всех необходимых задач потребителя. В данной работе нами показываются варианты сбора и анализа RGB-изображений БПЛА и многоспектральных данных, полученных с помощью спутниковых платформ (рис. 1).



Рис. 1. Исследование поверхности земли методами совмещения изображений БПЛА и спутников

Разработанная авторами концепция совместного анализа данных измерений одной и той же территории спутниковыми, БПЛА и наземными приборами основана на предшествующем опыте авторов в области дистанционного зондирования [10, 11].

БПЛА являются важным дополнением к техническому обеспечению задач точного земледелия, так как способны отображать точно поверхность земли с высокой географической точностью. Использование изображений БПЛА в качестве источника информации о поверхности земли не всегда оправдано, так как требует их большого числа для облета всей исследуемой территории. Поэтому необходимо привлекать спутниковые данные, которые позволяют единым образом зафиксировать большую площадь, которая должна быть исследована. Однако в этом случае получаемые данные БПЛА и со спутников должны быть согласованы по пространству (географическая сетка) и извлекаемой информации (например, температура поверхности или вегетационные индексы).

Классификация растительного покрова в больших масштабах более всего возможна на основе данных спутников. Для этих целей разработано множество методов, например, К-средних, дерева решений, метод опорных векторов, нейронных сетей, объектного анализа (OBIA) [11, 12], пространственно-временных изменений вегетационного индекса NDVI и др. Большинство указанных методов классификации позволяют с высокой точностью выделять различные классы типов поверхности, такие как растительность, вода, город, пашня т.п. Однако классификация выполняется только там, где наблю-

даются достаточно однородные по типу поверхности участки территории, а в случае смешанных типов точность классификации существенно падает. Особенно это значимо проявляется при изучении состояния растений на сельскохозяйственных полях, ввиду длительного (5–16 дней) и нерегулярного временного разрешения, а также незначительных по пространству очагов заражения сорняками, болезнями и т.д.

Надо отметить, что задача классификации типов поверхности в задачах точного сельского хозяйства является сложной и трудоемкой. Полностью эта задача решается на объединении данных разнотипных наземных измерений, БПЛА и спутников. Одним из возможных вариантов является объединение информации спутниковых данных с изображениями БПЛА. Ранее было сказано, что спутниковые многоспектральные изображения позволяют получить информацию сразу для большой территории, а БПЛА – лишь только на некоторой территории. Кроме того, спутниковые данные являются нерегулярными и с длительными интервалами между измерениями (в виду облачности), а БПЛА позволяют получать регулярную информацию (кроме времени дождя). Однако использование БПЛА должно быть таким, чтобы его многократное применение было экономически эффективным решением.

Многоспектральные изображения широко используются в спутниковом дистанционном зондировании для мониторинга состояния растительности. Для этого применяются спектральные каналы (отдельные изображения) в видимом спектре и ближней инфракрасной области спектра. С помощью БПЛА измерения проводятся чаще всего в видимой области (RGB-спектральные каналы), так как многоканальные устройства являются достаточно дорогими и требуют наличия специалиста для использования.

Для извлечения данных о состоянии растительности по многоспектральным изображениям БПЛА (включая и RGB) цифровых камер применяется информация об отражательной способности типов поверхности. Для этой цели выбираются два или более определенных спектральных канала, которые служат основой для расчета вегетационного индекса. Для спутников это нормированный вегетационный индекс NDVI, а для БПЛА его аналог Greenness. Изучая на изображении области с различными значениями этих индексов, появляется возможность проводить классификацию покрытия поверхности земли разными типами. Отражательная способность разных типов поверхности, таких как земля, вода, разреженная или густая растительность, является разной для выбранных спектральных каналов. Анализируя изображения БПЛА, появляется возможность выявлять различные показатели состояния растений: структуру листьев, содержание хлорофилла, площадь листьев, заболевания и др. Таким образом, объединяя результаты спутниковых приборов и БПЛА, появляется возможность получать информацию о состоянии растений.

### Сбор и обработка данных

Вопросы точного применения методов обработки и получения выходных данных, необходимых для использования в практических задачах, пока являются открытой темой. В настоящий момент в исследования нет стандартизированного процесса обработки и анализа результатов измерений БПЛА, который помог бы пользователям избежать распространенных ошибок, которые влияют на качество получаемых данных. Нами предлагается найти пространственную взаимосвязь между детальными многоспектральными спутниковыми данными и RGB-изображениями БПЛА. Рассмотрение масштаба данной взаимосвязи имеет решающее значение для количественного определения и интерпретации результатов измерений БПЛА, что определит требования при планировании исследований при получении пространственно-временных данных. Для решения данной задачи необходимо построение такой программной системы, которая будет оперировать большими объемами данных измерений БПЛА, спутников, а также априорной информацией (рельеф, метеорологические данные и т.д.).

Данные о погодных условиях и солнечной активности являются дополнительными факторами, которые влияют на полученные спутником и БПЛА измерения в различных участках спектра. Большинство БПЛА не могут проводить измерения при сильном ветре и дожде. Однако облачное покрытие и угловое положение солнца существенно влияют на спектральный состав измеряемого излучения. Кроме того, наличие разорванной облачности приводит к появлению изменений объектов на изображении, когда кроме поверхности и облачности возникают тени, что искажает спектральную структуру измерений. Также заметим, что изменение солнечного угла может привести к изменению величины излучения даже в течение одного дня и периода полета (несколько дней).

В области задач точного земледелия возникает необходимость эффективного управления разнотипными данными, например, для получения оценки размеров областей всхожести, ареалов распространения сорняков, листовой массы, влажности, температуры почвы и т.д. Основой для решения этих задач являются спектральные индексы, среди которых самым распространенным является нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI). Спутниковые мультиспектральные изображения, благодаря оптическим характеристикам спектральных приборов, покрывают значительные территории в соответствии с некоторым временным разрешением 1,5 или 16 дней. Спутниковые приборы MODIS [13], Landsat-8 [14] и Sentinel-2 [15] являются популярными у ученых и практиков, так как предоставляют бесплатные и качественные наборы данных. Минимальное пространственное разрешение спутниковых спектральных каналов для MODIS составляет 250 м, для Landsat-8 – 30 м и Sentinel-2 – 10 м. Полученные по этим программам спутниковые

изображения применимы для решения многих сельскохозяйственных задач (посевная, созревание, уборка и т.д.).

При проведении мониторинга за состоянием растений на сельскохозяйственном поле важным фактором являются периодичность получения изображений и пространственное разрешение. Спутниковый прибор MODIS Terra позволяет получать изображения несколько раз в сутки при пространственном разрешении от 250 м (видимая и ближняя ИК-область спектра) до 1 км (ИК-область спектра). Такое пространственное разрешение позволяет проводить лишь качественное обследование больших пространств, так как один пиксель составляет площадь 5 га. Измерения, проводимые спутниковыми приборами Landsat-8 и Sentinel-2, имеют более высокое пространственное разрешение и позволяют более детально оценивать ситуацию на поле, но имеют меньшее временное разрешение (16 и 5 дней). Учитывая высокую вероятность покрытия территории сплошной или разорванной облачностью, для этих спутниковых приборов пропадает фактор регулярности измерений. Для получения регулярности измерений состояния растений возможно использовать сочетание данных спутниковых приборов и беспилотных летательных аппаратов. Однако при этом необходимо быть уверенным, что результаты обработки данных спутникового прибора и БПЛА коррелируют между собой.

Проблема сходимости данных спутникового прибора Landsat-8 и БПЛА частично рассмотрена в литературе на уровне сравнения вегетационных индексов [6, 16, 17]. Вегетационный индекс NDVI, рассчитанный по спутниковым измерениям, достоверно отражает состояние сельскохозяйственной растительности, о чем говорят множественные исследования [5]. Похожие по качеству измерения проводятся с борта БПЛА многоспектральными приборами (учитывается канал в ближней ИК-области спектра). Однако в большей своей части измерения проводятся с помощью RGB-цифровых камер, по результатам которых восстанавливается аналог вегетационного индекса Greenness. Поэтому, найдя сходимость вегетационного индекса NDVI, полученного по данным спутникового прибора Landsat-8, и Greenness, полученного по данным БПЛА, появляется возможность сделать мониторинг СХ полей регулярным. Кроме того, измерения БПЛА позволяют увеличить пространственное разрешение спутниковых данных для некоторых областей, в которых наблюдается неясная ситуация. Учитывая этот факт, целью проводимого в работе исследования является построение информационной системы, позволяющей совместно анализировать измерения спутниковых и БПЛА приборов.

### Измерения с помощью БПЛА

Быстрый рост технологических возможностей БПЛА подтолкнул к разработке инновационных методологий практического применения в строительных, экологических и сельскохозяйственных целях.

Наибольшее количество исследований с использованием БПЛА было проведено для оценки потенциала RGB- и мультиспектральных изображений для поддержки задач точного земледелия [18–20]. Важнейшими задачами в этом направлении являются поиск сорняков на полях, мониторинг урожая пшеницы, поиск взаимосвязи вегетационного индекса (Greenness) и индексам площади листьев (LAI), чтобы иметь характеристики роста растений и оценки времени уборки урожая. Большинство исследователей сходится к мысли, что RGB-изображения, полученные с помощью БПЛА, с учетом соответствующей методической базой обработки могут стать полезным инструментом в задачах мониторинга СХ растений на всех фазах роста. Надо заметить, что работ, где выполнены пространственно-временные измерения RGB-изображений БПЛА не так уж и много, что связано с отсутствием устоявшейся методической основой обработки. Для изучения многовременных изображений необходимо выполнять дополнительные работы на стадии предварительной обработки, связанные с геометрической и атмосферной коррекцией.

Процесс измерения достаточно простой и связан с разработкой определенного маршрута полета БПЛА, учетом перекрытия изображений между собой и получением ортофотоплана участка местности. Стоит отметить, что во время полета БПЛА, все полученные изображения имеют разные геометрические и радиометрические характеристики. Указанные характеристики зависят от времени съемки, высоты полета, различных углов обзора, характеристик цифровой камеры, скорости полета и т.д. В той или иной мере данные характеристики учитываются на уровне предварительной обработки полученных изображений. Созданные двумерные изображения исследуемой области (ортофотоплан) переходят на уровень тематической обработки.

Для получения изображения всей исследуемой территории заранее составляется траектория полета БПЛА, которая состоит из схемы параллельных линий, расстояние между которыми составляет примерно размер изображения цифровой камеры. Траектория полета должна обеспечивать достаточное количество изображений с учетом того, что они перекрываются так, чтобы никакие внешние условия (более всего ветер) не позволили получить разрывов изображений. Для этого выполняется прямое и боковое перекрытие между изображениями, чтобы успешно восстановить изображение всей исследуемой территории. Высота полета, фокусное расстояние камеры и размер датчика (RGB-матрицы) определяют размер территории, попадающей в изображение GSD (Ground Sampling Distance) или пространственное разрешение, и размер пикселя на земле GRC (Ground Resolution Cell). Определение подходящей высоты полета БПЛА является важным аспектом при решении практических задач точного земледелия.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что высота полета 30 м обеспечивает лучшую точность для картирования растительности на поле с использованием RGB-каналов, чем высота 60 м. Однако при более низкой высоте время облета территории поля существенно возрастает. Поэтому возникает компромисс между восстановлением пространственной детальности и временем полета.

Важной характеристикой БПЛА является цифровая камера и ее параметры: число пикселей изображения, светочувствительность, спектральные RGB-каналы. Число пикселей, с одной стороны, увеличивает детальность на изображении, но одновременно увеличивает время предварительной и тематической обработки. Спектральная форма RGB-каналов важна при получении, на стадии тематической обработки вегетационных индексов Greenness.

Формирование изображения БПЛА существенно зависит от солнечного излучения, которое распространяется в атмосфере до поверхности земли. Наличие аэрозольных образований на этой оптической трассе может существенно меняться каждый день или даже в течение дня. Кроме того, измерения с помощью БПЛА могут выполняться даже в присутствии сплошной облачности, когда существует только рассеянное излучение в облачных образованиях. Также часть измерений может иметь покрытие тенью от облака, а другая часть быть освещенной солнечным светом, что приводит к значительному изменению значений RGB-изображения. Поэтому для выравнивания световых характеристик изображения необходимо выполнять атмосферную коррекцию изображений БПЛА. Основной причиной, почему атмосферной коррекцией ранее пренебрегали, считалось, что для низких высот полета БПЛА наблюдается малое атмосферное ослабление. Однако атмосферное ослабление существенно меняется на оптической трассе распространения солнечного излучения до поверхности земли.

Расчет пропускания солнечного излучения видимой области спектра в атмосфере на различных траекториях, связанных с зенитным углом положения солнца, зависит от состава атмосферы и метеорологических параметров. Состав атмосферы связан с газовым и аэрозольным составом, который варьирует в течение дня и во время года, как и метеорологические параметры. Помимо естественных вариаций, в атмосфере существуют волновые процессы, которые связаны с рельефом местности, что важно знать при решении задач [21, 22].

Изучение типов поверхности, особенно растительности, требует точного знания их отражательной способности. Именно эта величина является основой расчета вегетационного индекса (для спутниковых многоспектральных изображений) [16, 17] и индекса зелены [18, 19]. Расчет по изображениям RGB-индекса зелены ExG или NGRDI, нормализованного индекса растительности рассматривается в статье. Приводится методика, позволяющая

улучшить точность оценки индексов, рассчитанных на основе RGB-изображений БПЛА:

$$ExG = (2G - R - B) / (R + G + B), \quad (1)$$

$$NGRDI = (G - R) / (G + R). \quad (2)$$

Объектом исследования является сельскохозяйственное поле в районе г. Томска (широта 56° и долгота 84,58°). Для получения изображений использован беспилотный летательный аппарат DJI Mavic с цифровой камерой. Измерения проводились каждую субботу для времени 11–13 ч дня, в течение июня, июля и августа, кроме дней, когда был дождь.

### Структура программы

Для решения задач проекта была разработана структура программы (рис. 2) и на ее основе прототип программного продукта, работающий в консольном режиме, имитирующем работу интернет-системы. После отработки основных элементов программы в направлении обработки и анализа данных данная программа будет переведена на веб-платформу. За основу были взяты два набора данных, связанных с БПЛА и спутниковыми изображениями, согласованными по времени и территории.



Рис. 2. Структура программы обработки и анализа совместных данных БПЛА и спутников

Спутниковые данные брались в совпадающий день или наиболее близкий ко дню, когда выполнялось измерение с помощью БПЛА. Далее полученные данные записываются в файловое хранилище, откуда поступают для предварительной (выравнивание освещенности всех изображений с учетом положения Солнца и метеорологической информации) и тематической обработки (расчет индексов зелени и NDVI). Полученная информация является основой для пространственно-временного анализа изменения вегетационных индексов со временем, по территории поля, которая является исследуемой. Анализ позволяет выявить такие элементы сельскохозяйственных процессов, как всхожесть, скорость роста, заболевания, вызревание и т.д.

Важным агрибутом пакета программ является возможность построения регрессионной модели

зависимости вегетационных индексов, например от температуры и влажности атмосферы. Значения метеорологических параметров нами берутся с сайта [23], где по API можно получать информацию каждый час в формате json с привязкой WMS (web map service) для картографии [24].

### Полученные результаты

Полеты БПЛА на высоте 30 м были выполнены над сельскохозяйственным полем, центр которого имеет координаты 56,46199567690829, 84,91686131500356, и которое показано на рис. 3 [25]. Белым прямоугольником на поле показан план полета (территория поля, для которого составляется определенный маршрут получения набора изображений, по которому строится ортофотоплан) беспилотного летательного аппарата. Для этой же территории получены спутниковые данные (многоканальные спектральные изображения) приборами Landsat-8 и Sentinel-2.



Рис. 3. Сельскохозяйственное поле, на территории которого были проведены измерения изображений БПЛА и спутниковыми приборами Landsat-8 и Sentinel-2

Далее для всех типов данных, согласно программе, структура которой представлена на рис. 2, выполнялись этапы предварительной и тематической обработки. Результат расчетов вегетационных индексов для спутникового прибора Sentinel-2 представлен на рис. 4, где каждый пиксель имеет размер 10×10 м. Анализируя рис. 4, можно сказать, что спутниковый прибор фиксирует неоднородность отражательных свойств растительности, что вполне достаточно для практического использования на практике. Так, напомним, что 1 га будет составлять 10×10 пикселей прибора Sentinel и 3×3 пикселя Landsat, а для БПЛА в нашем случае, если округлить разрешение пространственное до 2 см на пиксель, будет 500×500 пикселей.

Так как пространственное разрешение БПЛА при высоте полета 30 м составляет  $P = 1,8 \text{ см/Пх}$  ( $P [\text{см/Пх}] = (2 \cdot \text{tg}(a/2) \cdot H) / N_x$ , где  $a$  – угол поля зрения камеры [град],  $H$  – высота полета [см] и  $N_x$  – число пикселей на изображениях по оси  $X$ ), то нами проводился расчет среднего значения зелени для ячеек размером 10×10 м. Для этого изображение

зелености ExG разбивалось на ячейки, совпадающие по координатам со структурой ячеек Sentinel-2. Это необходимо было для совмещения сетки спутникового прибора Sentinel-2 и БПЛА. На рис. 4 показано изображение вегетационного индекса в части поля, чтобы была видна пиксельная структура (черным цветом показана область, которая не связана с зоной полета БПЛА).

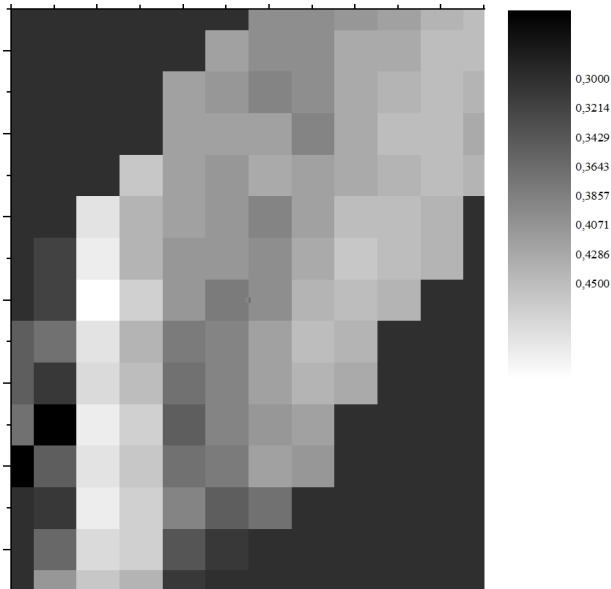


Рис. 4. Изображение вегетационного индекса по спутниковым данным Sentinel-2 (А)

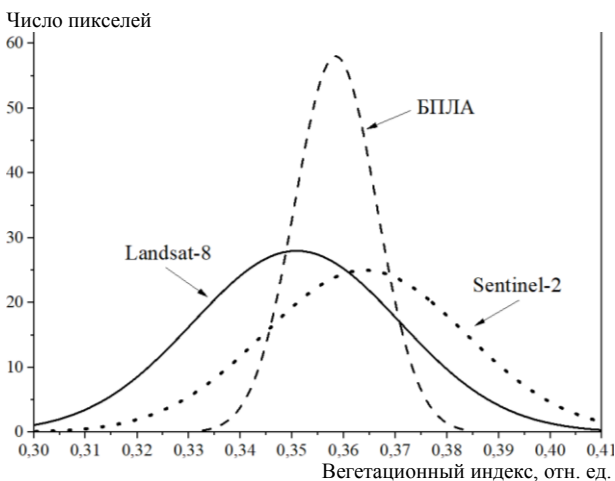


Рис. 5. Гистограммы распределения числа пикселей с значениями в районе исследуемого сельскохозяйственного поля для трех типов данных

Для этого же поля и времени проводилась обработка данных спутникового прибора Landsat-8, который имеет пространственное разрешение  $30 \times 30$  м. Далее нами проводилась билинейная интерполяция результатов расчета вегетационного индекса до сетки  $10 \times 10$  м. Это позволило нам совместить результаты трех измерений в виде гистограмм значений, которые показаны на рис. 5. Из рис. 5 видно, что значения всех трех измерений весьма близки, так, например, центр пика гистограммы значений Landsat-8 равен 0,35, для БПЛА – 0,357 и для Sentinel-2 –

0,363. Учитывая, что данные принадлежат трем разным измерителям, имеющих различные характеристики спектральных каналов, чувствительность и пространственное разрешение, отклонение составило не более 0,007 и 0,013. Близость значений спутниковой информации о растительности и БПЛА (рассчитанной только по RGB-значениям) приводит к возможности калибровки данных БПЛА, а также верификации спутниковых измерений.

#### Заключение

В работе представлено описание подхода к сравнению возможностей двух спутниковых приборов и цифровой RGB-камеры, установленной для БПЛА, для анализа растительности на сельскохозяйственном поле. Для этих целей были разработаны структура и сама программа, которая позволяет считывать данные спутниковых приборов Landsat-8 и Sentinel-2 для времени, близкого к получению изображений с помощью БПЛА. Спутниковые изображения были обработаны ранее разработанными программами и восстановлены вегетационные индексы NDVI. По данным измерений БПЛА на основе RGB-каналов рассчитан индекс зелености ExG. Далее, для выяснения совпадения значений спутниковых и БПЛА данных были выполнены преобразования пространственной сетки к масштабу прибора Sentinel-2 (10 м). Сравнение показало близость средних значений гистограмм распределений значений вегетационного индекса для трех типов спектральных приборов (0,35 – для Landsat-8, для БПЛА – 0,357 и для Sentinel-2 – 0,363). Результат сравнения позволяет увеличить возможность получать информацию о вегетационных индексах растительности на сельскохозяйственном поле в период наличия облачности, когда спутниковые данные недоступны.

Данная работа выполнена в Центре космического мониторинга земли (ЦКМЗ) ТУСУР при финансовой поддержке гранта РФФИ р\_а 19-45-700008.

#### Литература

1. Maguire D.J. The emergence of geoportals and their role in spatial data infrastructures / D.J. Maguire, P.A. Longley // Computers, environment and urban systems. – 2005. – Vol. 29. – P. 3–14.
2. ГОСТ Р 58571–2019. Инфраструктура пространственных данных. Требования к информационному обеспечению. – М., 2019. – 16 с.
3. Аверьянов М.А. Цифровая экономика. Трансформация отраслей / М.А. Аверьянов, С.Н. Евтушенко, Е.Ю. Кочетова // Экономические стратегии. – 2016. – Т. 18, № 8 (142). – С. 52–55.
4. Актуальные направления совершенствования аграрной политики России / И.Г. Ушачев, А.Ф. Серков, В.В. Маслова, В.С. Чекалин // АПК: Экономика, управление. – 2019. – № 3. – С. 4–16.
5. Ариничева И.В. Развитие цифровой экономики в аграрной сфере / И.В. Ариничева, С.С. Бессарабова, У.А. Лихота // Современные фундаментальные и прикладные исследования. – 2018. – № 2(29). – С. 36–38.
6. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») / Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, С.А. Барталев, В.А. Толпин, И.В. Балашов, Д.Е. Плотников // Со-

временные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 1. – С. 190–198.

7. Agisoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agisoft.com>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).

8. Gisinfo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gisinfo.ru>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).

9. Sovzond [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sovzond.ru>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).

10. Катаев М.Ю. Методы технического зрения для картирования состояния сельскохозяйственных полей / М.Ю. Катаев, К.С. Ёлгин, И.Б. Сорокин // Доклады ТУСУР. – 2018. – Т. 21, № 4. – С. 75–80.

11. Катаев М.Ю. Интеллектуальный ситуационный центр, основанный на комплексировании космических и наземных данных / М.Ю. Катаев, А.А. Скугарев // Доклады ТУСУР. – 2016. – Т. 19, № 3. – С. 61–64.

12. Xiang H. Method for Automatic Georeferencing Aerial Remote Sensing (RS) Images from an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Platform / H. Xiang, L. Tian // Biosystems Engineering. – 2011. – Vol. 108. – P. 104–113.

13. Modis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://modis.gsfc.nasa.gov>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).

14. Landsat [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://landsat.gsfc.nasa.gov>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).

15. Sentinel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sentinel.esa.int>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).

16. Кочубей С.М. Спектральные свойства растений как основа методов дистанционной диагностики / С.М. Кочубей, Н.И. Кобец, Т.М. Шадшина. – Киев: Наукова думка, 1990. – 136 с.

17. Черепанов А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 28–32.

18. Ide R. Use of digital cameras for phenological observations / R. Ide, H. Oguma // Ecological Informatics. – 2010. – Vol. 5. – P. 339–347.

19. Color Indexes for Weed Identification under Various Soil, Residue, and Lighting Conditions / D.M. Woebbecke, G.E. Meyer, K. Vonbargen, D.A. Mortensen // Trans. ASABE. – 1995. – Vol. 38. – P. 259–269.

20. Rokhmana S.A. The Potential of UAV-based Remote Sensing for Supporting Precision Agriculture in Indonesia? / S.A. Rokhmana // Procedia Environmental Sciences. – 2015. – Vol. 24. – P. 245–253.

21. Маричев В.Н. Лидарные исследования термического режима стратосферы над Томском за 2012–2015 гг. // В.Н. Маричев, Д.А. Бочковский // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т. 31, № 1. – С. 28–37.

22. Кашкин В.Б. Внутренние гравитационные волны в тропосфере // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26, № 10. – С. 908–916.

23. Openweather [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://openweathermap.org>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).

24. Web Map Service [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ogc.org/standards/wms>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).

25. Google maps [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com/maps>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).

#### **Катаев Михаил Юрьевич**

Д-р техн. наук, профессор каф. автоматизированных систем управления (АСУ)

Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050

Тел.: +7 (382-2) 70-15-36, +7-960-975-27-85

Эл. почта: [kmy@asu.tusur.ru](mailto:kmy@asu.tusur.ru)

#### **Крылов Максим Олегович**

Магистрант каф. АСУ ТУСУРf

Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050

Тел.: +7 (382-2) 70-15-36

Эл. почта: [maxkmo96@gmail.com](mailto:maxkmo96@gmail.com)

#### **Гейко Павел Пантелеевич**

Д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.

Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, профессор каф. оптико-электронных систем и дистанционного зондирования (ОЭСИДЗ)

Национального исследовательского

Томского государственного университета (НИ ТГУ)

Академический пр-т, д. 10, г. Томск, Россия, 634055

Тел.: +7-905-991-9762, +7 (382-2) 41-38-87

Эл. почта: [ppg@imces.ru](mailto:ppg@imces.ru)

Kataev M.Yu., Krylov M.O., Geiko P.P.

#### **Software to compare images of the vegetation index obtained by satellite devices and unmanned aircraft**

At present, the practice of supporting many types of human activities requires the use of the spatial data infrastructure. Such an infrastructure integrates spatio-temporal sets from many sources of information within itself, providing the user with various types of processing, analysis and visualization methods. This article describes the architecture of the software system and the processes for managing sets of spatio-temporal data to solve agricultural problems. Measurement data using multispectral satellite systems, unmanned aerial vehicles (UAVs), as well as a priori information (meteorology, agrochemical information, etc.) are taken as input information. The User of the Software System is provided with the opportunity to control the spatial information of the territory of agricultural fields, sets of temporal data from various spatial data. An important achievement of the work is the combination of the results of satellite and UAV images according to the controlled parameters, that makes possible to expand the area of use of UAVs and verify them. The results of real data processing are presented.

**Keywords:** satellite remote sensing devices, unmanned aerial vehicles, images, vegetation indices, program structure.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-63-70

#### *References*

1. Maguire D.J., Longley P.A. The emergence of geoportals and their role in spatial data infrastructures. *Computers, environment and urban systems*, 2005, vol. 29. pp. 3–14.

2. GOST R 58571–2019. *Infrastructure for spatial data. Information support requirements*. Moscow, 2019, 16 p.

3. Averyanov M.A., Evtushenko S.N., Kochetova E.Yu. Digital economy. Transformation of industrie. *Economic strategies*, 2016, Vol. 18, no. 8 (142), pp. 52–55.

4. Ushachev I.G., Serkov A.F., Maslova V.V., Chekalin V.S. Actual directions of improving the agrarian policy of Russia. *APK: Economics, Management*, 2019, no. 3, pp. 4–16.

5. Arinicheva I.V., Bessarabova S.S., Likhota U.A. Development of the digital economy in the agricultural sector. *Modern fundamental and applied research*, 2018, no. 2 (29), pp. 36–38.
6. Lupyan E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A. Satellite service for monitoring the state of vegetation («Vega»). *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 2011, Vol. 8, no. 1, pp. 190–198.
7. Agisoft [Electronic resource]. Available at: <https://www.agisoft.com>, free (Accessed: November 25, 2020).
8. <https://gisinfo.ru> [Electronic resource]. Available at: <https://gisinfo.ru>, free (Accessed: November 25, 2020).
9. Sovzond [Electronic resource]. Available at: <https://sovzond.ru>, free (Accessed: November 25, 2020).
10. Kataev M.Yu., Yolgin K.S., Sorokin I.B. Methods of technical vision for mapping the state of agricultural fields. *Proceedings of TUSUR University*, 2018, vol. 21, no. 4, pp. 75–80.
11. Kataev M.Yu., Skugarev A.A. Intelligent situational center based on the integration of space and ground data. *Proceedings of TUSUR University*, 2016, vol. 19, no. 3, pp. 61–64.
12. Xiang H., Tian L. Method for Automatic Georeferencing Aerial Remote Sensing (RS) Images from an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Platform. *Biosystems Engineering*, 2011, vol. 108, pp. 104–113.
13. Modis [Electronic resource]. Available at: <https://modis.gsfc.nasa.gov>, free (Accessed: November 25, 2020).
14. Landsat [Electronic resource]. Available at: <https://landsat.gsfc.nasa.gov>, free (Accessed: November 25, 2020).
15. Sentinel [Electronic resource]. Available at: <https://sentinel.esa.int>, free (Accessed: November 25, 2020).
16. Kochubei S.M., Kobets N.I., Shadshina T.M. Spectral properties of plants as a basis for remote diagnostic methods. Kiev: Naukova Dumka, 1990, 136 p.
17. Cherepanov A.S., Druzhinina E.G. Spectral properties of vegetation and vegetation indices. *Geomatics*, 2009, no. 3, pp. 28–32.
18. Ide R., Oguma H. Use of digital cameras for phenological observations. *Ecological Informatics*, 2010, no. 5, pp. 339–347.
19. Woebbecke D.M., Meyer G.E., Vonbargen K., Mortensen D.A. Color Indexes for Weed Identification under Various Soil, Residue, and Lighting Conditions. *Trans. ASABE*, 1995, vol. 38, pp. 259–269.
20. Rokhmana C.A. The Potential of UAV-based Re-mote Sensing for Supporting Precision Agriculture in Indonesia? *Procedia Environmental Sciences*, 2015, vol. 24, pp. 245–253.
21. Marichev V.N., Bochkovsky D.A. Lidar studies of the thermal regime of the stratosphere over Tomsk for 2012–2015. *Optics of the atmosphere and ocean*, 2018, vol. 31, no. 1, pp. 28–37.
22. Kashkin V.B. Internal gravitational waves in the troposphere. *Optics of the atmosphere and ocean*, 2013, vol. 26, no. 10, pp. 908–916.
23. <https://openweathermap.org> [Electronic resource]. Available at: <https://openweathermap.org>, free (Accessed: November 25, 2020).
24. <https://www.ogc.org/standards/wms> [Electronic resource]. Available at: <https://www.ogc.org/standards/wms>, free (Accessed: November 25, 2020).
25. <https://www.google.com/maps> [Electronic resource]. Available at: <https://www.google.com/maps>, free (Accessed: November 25, 2020).

---

#### Mikhail Yu. Kataev

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Department of Automated Control Systems (ACS),  
Tomsk State University of Control Systems  
and Radioelectronics (TUSUR)  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 70-15-36, +7-960-975-27-85  
Email: kmy@asu.tusur.ru

#### Maxim O. Krylov

Master Student, Department of ACS TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 70-15-36  
Email: maxkmo96@gmail.com

#### Pavel P. Geiko

Doctor of Physics and Mathematics,  
Leading researcher employee, Monitoring institute climatic  
and ecological systems SB RAS, Professor, Department  
optoelectronic systems and remote sensing (OESiRS),  
National Research Tomsk State University  
10, Akademichesky pr., Tomsk, Russia, 634055  
Phone: +7-905-991-9762, +7 (382-2) 41-38-87  
Email: ppg@imces.ru

УДК 519.25

М.Ю. Катаев, В.В. Орлова

## Анализ данных событий социальных сетей

Анализ данных открытых социальных сетей (контент) может быть выполнен на количественном и качественном уровне. Этот контент является богатым источником данных для построения и анализа взаимодействия пользователей социальных сетей при формировании различных групп, что используется не только для статистических расчетов, социальных направлений анализа, но и в торговле, для разработки рекомендательных систем. Большое количество пользователей социальных сетей приводит к огромному объему неструктурированных данных (по времени, типу общения, типу сообщения и географическому месту). Данная статья направлена на обсуждение проблемы анализа социальных сетей и получения информации из неструктурированных данных. В статье обсуждаются методы извлечения информации, известные программные продукты и наборы данных.

**Ключевые слова:** социальные сети, методы анализа, наборы данных, динамика сетей.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-71-77

Как следствие изменений в технических и вычислительных решениях повысилась доступность крупномасштабных проектов, реализующих социальные сети (social network), которые позволили общаться всему населению Земли между собой. С другой стороны, эти же решения открыли новую эру исследований в области анализа данных, которые генерируются социальными сетями [1]. Количество разнородных данных (текст, звук, изображения и др.), которые ежедневно генерируются традиционными Интернет, почтовыми службами и социальными сетями через стационарные компьютеры и мобильные устройства решают потребности в общении населения. Кроме того, передаваемая информация обеспечивает отличную возможность для глубокого анализа, составления прогнозов, аналитики методами искусственного интеллекта и больших данных.

В этом направлении важными являются исследования подходов к вычислительной сложности социальных сетей (телекоммуникации), анализ потоков сообщения и групп, структуры и динамики групп. Эти исследования решают задачи не только технического развития социальных сетей, безопасности, но и практические задачи торговых направлений, маркетинга и т.д. Уже фундаментальной стала задача анализа социальных сетей (social network analysis – SNA) [2] для обнаружения сообщества пользователей сети, действия которых являются однородными по каким-то признакам (кластеризация). Далее возникает необходимость не только обнаружения, но и определения структуры сообщества, включая динамику и взаимодействие с другими сообществами (группами). Понимание процессов, которые определяют зарождение, развитие и динамику сообщества, может быть использовано для поиска знаний, необходимых для решения практических задач.

Социальные сети являются, с одной стороны, генераторами одних данных и, с другой стороны, потребителями других данных в разных масштабах не только текста, изображений, звуков, но и структурированной, сжатой информации в виде лайков,

пиктограмм и т.д. Проблема понимания текстовой информации связана с возможностью двусмысленности выражения разных тем, представления слов на разных языках, использования нетиповых сокращений [3]. Это делает возможным легкость общения, но сложность в анализе этой информации. Кроме того, источники сообщений пересекаются между собой, например ленты новостей и социальные сети, что усложняет понимание передачи информации внутри группы и между группами. Обеспечение закрытости персональных данных приводит к возможным пересечениям событий разных членов группы. При передаче большого количества сообщений наблюдается нестабильность качества пользовательского контента (проблема спама и пустые аккаунты). Также изменения интерфейса сетевого общения приводят к обновлению пользовательской модели данных, что ограничивает временные сроки анализа данных (от одной версии до другой) [4]. Тем не менее имеющиеся наборы данных являются однородными по выбранным параметрам и возможными для получения качественного анализа событий социальной сети.

Надо отметить, что существуют открытые и закрытые сообщения, что не позволяет оценить в полной мере сущность сообщества в заданном информационном направлении, однако метаинформация о каждом сообщении является открытой. Эта часть сообщения позволяет видеть локализацию точки отправления и точки назначения, оценивать частоту сообщения и объем, что также важно для анализа социальных сетей. Данная статья представляет собой обзор информации, которая позволяет разобраться в таком направлении, как анализ данных социальных сетей.

### Представление социальной сети в виде набора данных

Так как социальные сети представлены пользователями, которые обмениваются сообщениями между собой, образуют некоторые сообщества, связанные с некоторым единым направлением сообщений, то описание этого на уровне данных достаточно сложно и требует пояснения. На рис. 1 показан



простейший вариант графического представления социальной сети, которая состоит из набора узлов (пользователей) и связей (сообщений).

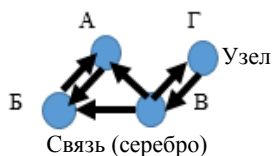


Рис. 1. Простейший вариант графического представления социальной сети

Для описания функционирования социальной сети [4, 5] вводят термины и понятия, такие как узлы, связи, отношения, края, мера центральности, меры на уровне сети, меры на уровне пути, мосты, диады и клики и т.д. Для построения графиков социальной сети (graphics social network – GSN) требуются два ключевых компонента сети, это пользователи (узлы) и связи (отношения между ними в виде сообщений). При этом сообщение может иметь ссылки на другие сообщения и веб-страницы в Интернете, которые тоже, в свою очередь, ссылаются на другие веб-страницы. Эти ссылки принято также включать в отношения между участниками процесса обмена сообщениями. Есть два типа ребер – направленные и ненаправленные. Например, если два человека (А и Б) являются друзьями в социальной сети, эти отношения не ориентированы (явно ненаправленные), так как человек А дружит с человеком Б, но также равнозначно, что человек В дружит с человеком А. Другой пример ненаправленного ребра связан с тем, что человек А находится в одной группе с человеком Б и при этом человек Б находится в группе с человеком А. Такой параметр, как вес ребра, показывает, какое количество раз ребро появляется между двумя конкретными узлами (число сообщений).

Центральность – это набор показателей, используемых для количественной оценки важности и влияния конкретного узла на сеть в целом [6]. Степень узла – это количество ребер, которое он имеет. Параметр «близость» показывает, насколько хорошо конкретный узел связан со всеми остальными узлами в сети, или, иначе, среднее количество переходов, необходимых для достижения каждого другого узла в сети. Переход – это путь ребра от одного узла к другому. Например, из рис. 1 видно, что узел А связан с узлом Б, а узел В связан с узлом Г, и, чтобы информация от узла А достигла узла Г, потребовалось бы два перехода (АВ)→(ВГ). Размер сети – это количество узлов в сети и не учитывает количество ребер (например, сеть на рис. 1 с узлами А, Б и В имеет размер 3). Плотность сети – это количество ребер, деленное на общее количество возможных ребер (например, сеть на рис. 1 с узлами А, В, Г имеет плотность сети равную 2/3, потому что есть два ребра из возможных 3). Длина – это количество ребер между начальным и конечным узлами, и расстояние – это количество ребер или переходов между начальным и конечным узлами по кратчайшему пути. Диады и клики – это пары узлов, соединенных

ребрами, где диада представляет собой пару из двух узлов, а клика – это пара из трех или более узлов. Данное описание показывает, что исследование данных социальных сетей представляет собой непростой вычислительный процесс, включающий разнообразные алгоритмы.

#### Динамический анализ социальных сетей

В настоящее время динамика событий общества является достаточно высокой, и в этом плане социальные сети позволяют события одной страны и даже человека превращать в информацию для всего мира. Это делает возможным использование этой информации не только в научных, но и коммерческих целях, что позволило достигнуть значительного прогресса в области, связанной с анализом социальных сетей. Однако большинство известных работ сосредоточено на изучении статических ситуаций в социальных сетях или оценке динамики в глобальном масштабе (например, примером является распространение заболевания Covid). За последние годы существенно выросла доступность больших динамических наборов данных социальных сетей, что подогревает интерес к разработке автоматических подходов анализа временных событий социальных сетей.

Динамический подход в изучении поведения структуры узлов и связей социальных сетей позволяет выявить скорость роста или уменьшения размера сети, перераспределение связей между и т.д. Количественная мера оценки этих показателей позволяет определить закономерность изменений и соответственно строить прогнозные ситуации формирования тех или иных связей в социальных сетях. Понятно, что для выявления динамики изменений важным является оценка временных интервалов, определяющих четко обозначенное изменение. Разработка методик визуализации структуры сети в текущий момент времени и сравнение с прошлыми временными промежутками предоставляет возможность для более точного понимания тенденций.

Динамический анализ социальных сетей (ДАС) является новой областью, где имеется существенный потенциал для исследований и разработок аналитических программных приложений. ДАС направлен на анализ поведения социальных сетей в различных масштабах времени [1], обнаружение повторяющихся паттернов [2], структуру сообщества (формирование, развитие, существование или роспуск) [3].

#### Обзор баз данных, содержащих примеры данных социальных сетей

Один из способов сбора данных из социальных сетей [6] связан с использованием инструмента веб-скрапинга [7], который помогает извлекать данные из каналов социальных сетей, таких как Facebook, Twitter, LinkedIn и Instagram. Надо отметить, такой способ получения информации для некоторых сайтов социальных сетей является нарушением условий конфиденциальности, например для интернет-магазинов. Другой способ извлечения данных связан с применением API (application programming interface –

интерфейс прикладного уровня доступа к данным) для сайтов социальных сетей, таких как Facebook [8] или Twitter [9]. Третий способ получения данных основан на заранее подготовленных тестовых базах данных, например, крупнейшая по объему и систематизации Stanford Large Network Dataset Collection [10] (или SNAP). Для примера в этой базе представлены данные известных социальных сетей с характеристиками, показанными в табл. 1.

Таблица 1  
Данные о социальных сетях в базе-данных SNAP

Имя набора данных	Узлов	Связей	Описание
ego-Facebook	4039	88234	Социальные круги из Facebook (анонимно)
ego-Gplus	107614	13673453	Социальные круги из Google+
ego-Twitter	81306	1768149	Социальные круги из Twitter
soc-Epinions	75879	508837	Кто кому доверяет в сети Epinions.com
soc-LiveJournal	4847571	68993773	LiveJournal онлайн-социальная сеть

Другой известный набор данных The Network Data Repository with Interactive Graph Analytics and Visualization [11] представляет данные, которые накоплены в соответствии ребер, максимальную и среднюю степень, количество треугольников, средний коэффициент локальной и глобальной кластеризации и др. Также можно выделить Datasets соглашений с различными социальными сетями и группами. При получении данных, пользователь сразу видит некоторые характеристики наборов данных, например количество узлов. Значимым является ресурс, содержащий большие наборы данных Social Network Analysis. Структура и объем информации показаны на примере Twitter в табл. 2.

Таблица 2  
Структура и объем информации на примере Twitter

Имя набора данных	Узлов	Связей	Описание
Twitter-Dynamic-Net	90908	443399	10 <sup>7</sup> твитов (tweets) связанных с 156487 пользователями в динамическом режиме
Twitter-Dynamic-Action	7514	304275	Тексты пользователей по конкретной теме «Землетрясение в Гаити»
Twitter-Competitor	87603		Контент Twitter, связанный с компаниями
Twitter-Net-Tweet	4·10 <sup>7</sup>	1,47·10 <sup>9</sup>	Весь сайт Twitter в 2010 г.
Weibo-Net-Tweet	1,8·10 <sup>6</sup>	3,1·10 <sup>8</sup>	Пользователи Sina Weibo [12], отношения, их твиты и ретвиты

### Обзор программного обеспечения анализа данных социальных сетей

Одним из распространенных программ визуализации данных социальных сетей является Gephi [13], так как не требует знаний программирования,

при этом позволяя создавать разнообразные типы графиков. Входными данными могут быть разнообразные форматы, в которых записываются данные социальных сетей: узлы, связи, степень, центральность и т.д. В этой программе есть функция, которая автоматически обновляет набор данных выбранной социальной сети.

Пакет программ «sna», написанный на языке программирования R [14], предназначен для статистических вычислений и анализа данных. Этот пакет программ является полезным инструментом в области анализа социальных сетей, однако требует владения навыками программирования. Приложение UCInet [15] создано для анализа и визуализации данных социальных сетей. Важной особенностью приложения является решение задачи кластеризации для больших наборов данных, стандартных типов визуализации и формирования файлов, совмещенных с форматом Excel для Microsoft.

Программа NodeXL [16] встраивается в среду Excel, что упрощает обнаружение закономерностей и визуализации полученных результатов. Графический инструмент Graphviz [17] поддерживает графовые модели, кластеризацию, вычисляет статистические критерии, реализует стандартные топологические алгоритмы (минимальное остовное дерево и др.). Программное обеспечение NetMiner [18] предназначено для анализа и визуализации сетей передачи данных, в том числе и социальных сетей.

Особенностью программы является использование шаблонов для распознавания сетевой инфраструктуры на основе подходов интеллектуального анализа данных. Программа AutoMap [19] позволяет извлекать текст и выполнять его интеллектуальный анализ. Программное обеспечение Cytoscape [20] выполняет анализ и визуализацию данных социальных сетей, включая и семантические сети. Приложение GraphChi [21] предназначено для анализа и визуализации данных социальных сетей на основе алгоритма обработки графов. Программа NetWorkit [22] обеспечивает анализ и визуализацию данных социальных сетей с высокой производительностью и визуализацией, использует многоядерную архитектуру процессоров и видеокарт (например, NVidia [23]).

### Методы анализа данных социальных сетей

Традиционный анализ данных социальных сетей выполняется на серии узлов и ребер [9], обычно получаемых из метаданных о взаимодействиях между несколькими участниками сети, без фактического анализа содержимого этих взаимодействий (сообщений). Для этих целей можно использовать информацию из баз данных, описанных выше (см. табл. 1), или из текущего набора данных, полученных по соответствующим программам. Если есть такая возможность (открытые социальные сети), то возможно объединение метаданных с данными информационного содержания каждого сообщения. Далее, применяя указанные выше программные продукты, можно перейти к выполнению анализа данных социальных сетей. Анализ позволяет полу-

чить признак, описывающий поведение субъектов сети (пользователей и групп), их настроений, а также изменения той или иной тенденции во времени. Кроме того, имея исторические данные о сети, появляется возможность анализировать ее динамику, а также предсказывать скрытые взаимосвязи, существующие в наборе данных. Кластеризация сообществ на основе поведения с течением времени может быть осуществлена путем анализа только метаданных или совместного анализа с содержанием сообщений [24].

Одной из проблем традиционного анализа социальных сетей является то, что часто рассматриваются только отношения между участниками, а не то, о чем они на самом деле отправляют друг другу сообщения. При этом не учитывается частота передачи сообщений (например, несколько раз в день, в неделю или другой промежуток времени). Часто подходы игнорируют информацию о направлении сообщений, т.е. сколько сообщений отправлено участником А для участника Б и сколько раз, участник Б ответил А. Однако заметим, что вся эта информация требуется для разных направлений исследований, например выделения тем сообщений: семейные, научные, технические и т.д. К тому же, потоки сообщений могут совмещать несколько тем для одних и тех же участников. Сложным является проблема, когда, например, два человека не являются друзьями в социальной сети, но у них есть общие друзья, поэтому они могут узнать друг друга после некоторого времени общения, а могут и не узнать, если список претендентов достаточно большой.

Самый простой способ анализа социальной сети – это отобразить сеть в виде матрицы. По столбцам и строкам матрицы расположены участники социальной сети, и тогда в каждой ячейке «1» указывает, что два человека знают друг друга, и «0», если нет. Частота их общения обозначается числом больше «1». Задача представления данных социальной сети состоит в том, чтобы была возможность использования разных математических подходов (графы, кластеризация, метод главных компонент, Марковские цепи и т.д.). Далее каждую ячейку можно превратить в другое множество данных, учитывая ключевые слова сообщений, типичное время сообщений, пространственную локацию и т.д. Как правило, эти многомерные матрицы являются разреженными. Анализ многомерных матриц содержания сообщений может быть выполнен с помощью технологии «автор–получатель–тема» (или модель ART) [25].

Так как каждый пользователь социальной сети – это узел, то в зависимости от их «дружбы» или пересылки сообщений (дуга) строится граф. К данному графу можно задать меру модулярность (modularity) [26], которая показывает, что чем эта мера меньше, тем меньше будет размер сообщества. Таким образом, можно определить понятие сообщества как определенную группу вершин, связи между которыми более плотные, чем вне группы. Величина

модулярности лежит в диапазоне  $[-1, 1]$ , и считается, что значения, превышающие 0,5, определяют структуру связей, связанную с сообществом.

#### **Методы выделения сообществ социальных сетей**

Рассмотрим несколько методов выделения сообществ социальных сетей. Первый метод основан на анализе близости [27] расстояний между узлами в некотором радиусе контроля. Мониторинг структуры сети позволяет определить точки перехода, т.е. процесс появления новых связей во времени в динамической развивающейся социальной сети. Для определения этих точек применяют несколько метрик: плотность графа и центральность по посредничеству (Betweenness Centrality), близости (Closeness Centrality) и радиальности (Radiality Centrality). Центральность по посредничеству показывает значимость субъекта при распространении информации в социальной сети и вычисляется как число кратчайших путей между всеми парами субъектов, которые связаны с рассматриваемым субъектом. Центральность по близости позволяет вычислить скорость распространения информации в сети. Центральность по радиальности связана с расстоянием между узлами в некоторой окрестности заданного диаметра.

Другой метод связан с расчетом модулярности на основе жадного алгоритма оптимизации (Fastgreedy) [28, 29], одной из идей которого является перебор не всех пар из сообщества, а только тех, между вершинами которых существуют связи. Это делает алгоритм не настолько точным, но существенно быстрым, чтобы использовать для анализа больших графов социальных сетей. Следующий метод кластеризации [30–33] на графах связан с решением двух противоположных задач, связанных с поиском максимальных и минимальных расстояний внутри кластеров, и выполняет перебор всех пар из сообщества. Не менее известным является метод, основанный на многоуровневой оптимизации функции модулярности (Multilevel) [34, 35], где для каждой вершины рассматриваем изменение модулярности при перемещении данной вершины в другое сообщество вершины.

На принципах работы метода случайных деревьев основывается метод LabelPropagation, когда каждой вершине присваивается индекс. Необходимо перебрать все индексы и найти те, которые имеют максимальную встречаемость среди смежных вершин [36–38]. Реализация метода проста, однако результаты являются неустойчивыми при решении задач оценки динамики. Имея большой граф по объему, возникает сложная задача перебора, которая может быть решена методом случайного блуждания (Walktrap) [39]. Идея очень простая и связана с оценкой расстояний суммарного блуждания, которая для сообщества является минимальной. В настоящее время известно достаточно много методов решения задачи выделения сообществ, и представить их в одной статье не представляется возможным.

### Заключение

В статье рассмотрены основные положения задачи, связанной с анализом данных событий социальных сетей. Социальные сети во всем своем многообразии и во многом определяют информационное пространство, которое окружает человека. Разные поколения, и особенно молодое, полностью доверяют этому источнику информации. Внутри каждой социальной сети образуются заданные сообщества (например, любители путешествий, питания, досуга и др.), а также стихийные, по каким-то направлениям. Эти задачи ставят не только технические проблемы организации бесперебойных и быстрых коммуникаций людей, но и проблемы безопасности, научные в математических и социальных науках. Поэтому существует задача, которая заключается в автоматическом поиске сообществ пользователей, оценке динамики этих сообществ. В данной статье предлагается краткое описание формализации данных социальных сетей, их записи и распространения через базы данных, методики анализа и выделения сообществ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 20-011-3154 опп.

### Литература

- Girvan M. Community structure in social and biological networks / M. Girvan, M. Newman // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2002. – Vol. 99 (12). – P. 7821–7826.
- Гусарова Н.Ф. Анализ социальных сетей. Основные понятия и метрики. – СПб.: Ун-т ИТМО, 2016. – 67 с.
- Фролов Ю.Н. Социальные сети: теория и практика / Ю.Н. Фролов, Л.К. Габышева. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – 140 с.
- Додонов А.Г. Компьютерные сети и аналитические исследования / А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ, В.Г. Пуятин. – Киев: ИПРИ НАН Украины, 2014. – 486 с.
- Watts D.J. Identify and search in social networks / D.J. Watts, P.S. Dodds, M. Newman // *Science*. – 2002. – Vol. 296. – P. 1302–1305.
- McCallum A. Topic and Role Discovery in Social Networks with Experiments on Enron and Academic Email / A. McCallum, X. Wang, A. Corrada-Emmanuel // *Journal of Artificial Intelligence Research*. – 2007. – Vol. 30. – P. 249–272.
- Webscraper [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://webscraper.io>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Developers.facebook [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developers.facebook.com>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Developer.twitter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.twitter.com>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Snap.stanford [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://snap.stanford.edu/data>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Networkrepository [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://networkrepository.com/soc.php>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Weibo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://weibo.com>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Gephi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gephi.org>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Sna (Social Network Analysis) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cran.r-project.org/web/packages/sna>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Ucinetsoftware [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sites.google.com/site/ucinetsoftware>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Nodexl [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nodexl.com>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Graphviz [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aminer.org/data-sna>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Netminer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.netminer.com>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Automap [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.casos.cs.cmu.edu/projects/automap>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Cytoscape [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cytoscape.org>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- GraphChi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/GraphChi>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Networkit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://networkit.github.io>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Nvidia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nvidia.com>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).
- Коломейченко М.И. Алгоритм выделения сообществ в социальных сетях / М.И. Коломейченко, А.А. Чеповский, А.М. Чеповский // *Фундамент. и прикл. матем.* – 2014. – Т. 19, вып. 1. – С. 21–32.
- Базенков Н.И. Обзор информационных систем анализа социальных сетей / Н.И. Базенков, Д.А. Губанов // *УБС*. – 2013. – Вып. 41. – С. 357–394.
- Fortunato S. Community detection in graphs // *Phys. Rep.* – 2010. – Vol. 486. – P. 75–174.
- Newman M. E. Modularity and community structure in networks // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 2006. – Vol. 103. – P. 8577–8582.
- Leskovec C. Community Structure in Large Networks: Natural Cluster Sizes and the Absence of Large Well-Defined Clusters / J. Leskovec, K. Lang, A. Dasgupta // *Internet Mathematics*. – 2009. – Vol. 6(1). – P. 29–123.
- Jaewon Y. Defining and evaluating network communities based on ground-truth / Y. Jaewon, L. Jure // *Knowledge and Information Systems*. – 2015. – Vol. 42, No. 1. – P. 181–213.
- Пупырев С.Н. Визуализация структуры сообществ в графах // *Системы правления и информационные технологии*. – Воронеж, 2009. – № 2(36). – С. 21–27.
- Райгородский А.М. Модели случайных графов и их применения // *Труды МФТИ*. – 2010. – Vol. 2, № 4. – P. 130–140.
- Watts D.J. Collective dynamics of ‘small-world’ networks / D.J. Watts, S.H. Strogatz // *Nature*. – Vol. 393(6684). – P. 440–442.
- Bansal N. Correlation clustering / N. Bansal, A. Blum, S. Chawla // *Proceedings of 43rd FOCS*. – 2002. – P. 238–247.
- Ellison N.B. Social network sites: Definition, history, and scholarship / N.B. Ellison // *Journal of Computer-Mediated Communication*. – 2007. – Vol. 13, No. 1. – P. 210–230.
- Baller D. An Empirical Method for the Evaluation of Dynamic Network Simulation Methods / D. Baller, J. Lospinoso, A.N. Johnson // *International Conference on Information and Knowledge Engineering*. – Las Vegas, NV. – 2008. – P. 358–364.

36. Назарчук А.В. О сетевых исследованиях в социальных науках // Социологические исследования. – 2011. – № 1. – С. 39–51.
37. Newman M. The structure and dynamics of networks / M. Newman, D.J Watts. – Princeton University Press, 2006. – 596 p.
38. Barabasi A.L. Emergence of scaling in random networks / A.L. Barabasi, R. Albert // Science. – 1999. – Vol. 286(5439). – P. 509–512.
39. Метафизический смысл Big Data. 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aminer.org/data-sna>, свободный (дата обращения: 25.11.2020).

### Катаев Михаил Юрьевич

Д-р техн. наук, профессор каф. автоматизированных систем управления (АСУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: 8 (382-2) 70-15-36  
Эл. почта: [kataev.m@sibmail.com](mailto:kataev.m@sibmail.com)

### Орлова Вера Вениаминовна

Д-р соц. наук, доцент, профессор, зав. каф. философии и социологии (ФиС) ТУСУРа Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 70-15-90  
Эл. почта: [vera.v.orlova@tusur.ru](mailto:vera.v.orlova@tusur.ru)

Kataev M.Yu., Orlova V.V.

### Social media event data analysis

Social media analysis has become ubiquitous at a quantitative and qualitative level due to the ability to study content from open social networks. This content is a rich source of data for the construction and analysis of the interaction of social network users when forming various groups, used not only for statistical calculations, social areas of analysis, but also in trade or for the development of recommendation systems. The large number of social media users results in a huge amount of unstructured data (by time, type of communication, type of message and geographic location). This article aims to discuss the problem of analyzing social networks and obtaining information from unstructured data. The article discusses information extraction methods, well-known software products and datasets.

**Keywords:** social networks, analysis methods, datasets, network dynamics.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-71-77

### References

- Girvan M., Newman E.J. Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, vol. 99(12), pp. 7821–7826.
- Gusarova N.F. *Analiz sotsial'nykh setey. Osnovnye ponyatiya i metriki* [Social media analysis. Basic concepts and metrics]. SPb: Universitet ITMO, 2016. 67 p. (in Russ.).
- Frolov Yu.N., Gabysheva L.K. *Sotsial'nye seti: teoriya i praktika* [Social networks: theory and practice]. Tyumen, TyumGNGU, 2012. 140 p. (in Russ.).
- Dodonov A.G., Lande D.V., Putyatin V.G. *Kompyuternye seti i analiticheskie issledovaniya* [Computer

networks and analytical research]. – К.: IPRI NAN Ukrainy, 2014. 486 p. (in Russ.).

- Watts D.J., Dodds P.S., Newman M.E.J. (2002). Identify and search in social networks. *Science*, vol. 296, pp. 1302–1305.
- McCallum A., Wang X., Corrada-Emmanuel A. Topic and Role Discovery in Social Networks with Experiments on Enron and Academic Email. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2007, vol. 30, pp. 249–272.
- Webscraper.io [Electronic resource]. Access mode: <https://webscraper.io>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Developers.facebook [Electronic resource]. Access mode: <https://developers.facebook.com>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Developer.twitter [Electronic resource]. Access mode: <https://developer.twitter.com>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Snap [Electronic resource]. Access mode: <https://snap.stanford.edu/data>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Networkrepository [Electronic resource]. Access mode: <http://networkrepository.com/soc.php>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Weibo [Electronic resource]. Access mode: <https://weibo.com>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Gephi [Electronic resource]. Access mode: <https://gephi.org>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Sna (Social Network Analysis) [Electronic resource]. Access mode: <https://cran.r-project.org/web/packages/sna>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Ucinetsoftware [Electronic resource]. Access mode: <https://sites.google.com/site/ucinetsoftware>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Nodexl [Electronic resource]. Access mode: <https://nodexl.com>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Graphviz [Electronic resource]. Access mode: <https://www.aminer.org/data-sna>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Netminer [Electronic resource]. Access mode: <http://www.netminer.com>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Automap [Electronic resource]. Access mode: <http://www.casos.cs.cmu.edu/projects/automap>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Cytoscape [Electronic resource]. Access mode: <https://cytoscape.org>, free (Accessed: November 25, 2020).
- GraphChi [Electronic resource]. Access mode: <https://github.com/GraphChi>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Networkkit [Electronic resource]. Access mode: <https://networkkit.github.io>, free (Accessed: November 25, 2020).
- nvidia [Electronic resource]. Access mode: <https://www.nvidia.com>, free (Accessed: November 25, 2020).
- Kolomeychenko M.I., Chepovskiy A.A., Chepovskiy A.M. Algoritm vydeleniya soobshchestv v sotsial'nykh setyakh [Algorithm for highlighting communities in social networks]. *Fundament. i prikl. matem.*, 2014, vol. 19, no. 1, pp. 21–32 (in Russ.).
- Bazenkov N.I., Gubanov D.A. *Obzor informatsionnykh sistem analiza sotsial'nykh setey* [Review of information systems analysis of social networks]. *UBS*, 2013, vol. 41, pp. 357–394 (in Russ.).
- Fortunato S. Community detection in graphs. *Phys. Rep.*, 2010, vol. 486, pp. 75–174.
- Newman M.E. Modularity and community structure in networks. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2006, vol. 103, pp. 8577–8582.

28. Leskovec J., Lang K., Dasgupta A. Community Structure in Large Networks: Natural Cluster Sizes and the Absence of Large Well-Defined Clusters. *Internet Mathematics*, 2009, vol. 6(1), pp. 29–123.
29. Jaewon Y., Jure L. Defining and evaluating network communities based on ground-truth. *Knowledge and Information Systems*, 2015, vol. 42, no. 1, pp. 181–213.
30. Pupyrev S.N. *Vizualizatsiya struktury soobshchestv v grafakh* [Community structure visualization in graphs]. *Sistemy pravleniya i informatsionnye tekhnologii*. Voronezh, 2009, vol. 2(36), pp. 21–27 (in Russ.).
31. Raygorodskiy A.M. *Modeli sluchaynykh grafov i ikh primeniya* [Random graph models and their applications]. *Trudy MFTI*, 2010, vol. 2, no. 4, pp. 130–140 (in Russ.).
32. Watts D.J., Strogatz S. H. Collective dynamics of «small-world» networks. *Nature*, 1998, vol. 393(6684), pp. 440–442.
33. Bansal N., Blum A., Chawla S. Correlation clustering. *Proceedings of 43rd FOCS*, 2002, pp. 238–247.
34. Ellison N.B. Social network sites: Definition, history, and scholarship. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 2007, vol. 13, no. 1, pp. 210–230.
35. Baller D., Lospinoso J., Johnson A.N. An Empirical Method for the Evaluation of Dynamic Network Simulation Methods. *International Conference on Information and Knowledge Engineering, Las Vegas, NV, 2008*. pp. 358–364.
36. Nazarchuk A.V. *O setevykh issledovaniyakh v sotsial'nykh naukakh* [About network research in the social sciences]. *Sotsiologicheskie issledovaniya*, 2011, no. 1, pp. 39–51 (in Russ.).
37. Newman E.J., Watts D.J. *The structure and dynamics of networks*. Princeton University Press, 2006, 596 p.
38. Barabasi A.L., Albert R. Emergence of scaling in random networks. *Science*, 1999, vol. 286(5439), pp. 509–512.
39. Metaphysical meaning of Big Data. [Electronic resource]. <https://www.aminer.org/data-sna>, Access mode free (date of access: 25.11.2020) (Accessed: November 25, 2020) (in Russ.).

---

**Mikhail Yu. Kataev**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Department automated control systems (ACS)  
Tomsk State University of Control Systems  
and Radioelectronics (TUSUR)  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 70-15-36  
Email: kataev.m@sibmail.com

**Vera V. Orlova**

Doctor of Sciences in Sociology, Associate Professor,  
Head of the Department of Philosophy and Sociology,  
TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 70-15-90  
Email: vera.v.orlova@tusur.ru

УДК 378.2

А.Г. Буймов, Ю.П. Похолков, В.Ф. Тарасенко

## Формула Глейчера в решении проблемы плагиата и управления научно-исследовательской работой студентов

Обсуждается проблема нарушений академической этики в студенческой среде вузов. Сравниваются восприятия этой проблемы учеными, вузовской администрацией, преподавателями и студентами. Оцениваются перспективы применения карательных мер противодействия обману, мероприятий, нацеленных на коррекцию корпоративной культуры вуза, и мер по реорганизации самостоятельной работы, делающей попытки плагиата невозможными или невыгодными. На основе применения формулы перемен, или формулы Глейчера, выявлены различия между характеристиками студентов, выбирающих в обучении стратегию обмана, и студентов, предпочитающих честную работу и сотрудничество. Предложены первые шаги, направленные на изменение поведения нечестных студентов, на вовлечение их в стратегию сотрудничества.

**Ключевые слова:** академическая нечестность, плагиат, управление самостоятельной работой студентов, стратегия сотрудничества.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-78-84

Плагиат, списывание, заказы своих контрольных, курсовых, дипломных работ, статей и диссертаций сторонним исполнителям воспринимаются в академической среде по-разному: одни обсуждают эти явления как этические проблемы науки и образования, говорят об «академической нечестности», «академическом мошенничестве», пытаются противостоять им; другие не обращают на них особого внимания и считают допустимыми; третьи используют обман как средство получения выгод [1–4].

Проблема нечестного поведения студентов привлекает внимание ученых уже более пятидесяти лет [5]. Современное состояние этой проблемы часто эмоционально оценивается как «эпидемия мошенничества» (см., например, [6]). Авторы некоторых работ (например, [7–9]), называют такое поведение студентов преступным. Во всех работах на эту тему подчеркивается, что мошенничество, которое с развитием интернет-технологий становится все более массовым, наносит удар по основным ценностям академического сообщества, ставит под сомнение уровень подготовки студентов и качество образования. Обман обесценивает значение диплома, негативно сказывается на интеллектуальном потенциале экономики. Нечестность на студенческой скамье постепенно перерастает в нечестность на рабочем месте.

### Анализ проблемной ситуации

На мошенническое поведение студентов влияют многие факторы, в том числе внутренние – усвоенные индивидом нормы, тип личности и его характеристики, и внешние – факторы среды, в которую он помещен. Наиболее действенными из них признаются официальные санкции за нарушение правил (или поощрения за их соблюдение), а также общественное осуждение или признание окружающих. В работах [10–14] и многих других обсуждаются мотивы честного и нечестного поведения студентов. Все сходятся к тому, что честному поведению студентов способствует интерес к изучаемому предмету, подготовленность студента, вера в свои силы, моральные установки, самоуважение, забота о доб-

ром имени. Нечестному – отсутствие интереса, плохая подготовка, низкая самооценка, трудность задания, нечеткость постановки задачи, отсутствие контроля, желание получить более высокую оценку, легкость получения несанкционированной помощи (от друзей или через Интернет), малая вероятность серьезных последствий при обнаружении мошенничества.

В статье [15] делается важное для лучшего понимания проблемы замечание, что студенты воспринимают свой обман не как мошенничество, а скорее как приемлемое действие, обусловленное внешними факторами. Они считают обман оправданным, если нужна оценка по неинтересному («ненужному») предмету; если при низкой оценке ты можешь потерять стипендию; если у тебя не хватает времени на учебу, например из-за необходимости работать. Кроме того, многие считают, что этот обман никому не вредит и что все окружающие поступают точно так же.

Начиная с времен масштабного исследования Уильяма Бауэrsa [5] многие университеты пытаются сдерживать распространение нечестности в образовании внедрением кодексов чести в организационную культуру учебного заведения [14]. Однако это непростая задача: честные студенты в напоминаниях по поводу этики особо не нуждаются, а нечестных устраивает собственная убежденность в рациональности своего поведения. Этой убежденности, по мнению многих исследователей и примерно половины честных студентов, можно противопоставить только строгий контроль и неизбежность наказания (см., например, [6–9] и др.).

Кто будет контролировать? Большинство преподавателей в контроле мошенничества не заинтересованы, потому что этот контроль может потребовать неоправданно больших временных и эмоциональных затрат, а также в связи с отсутствием административной поддержки [11, 16].

Во многих статьях, в том числе в обзоре [17], приводятся многочисленные свидетельства роста

количества нарушений академической этики среди научных работников, политиков и журналистов за рубежом. Россия от своих зарубежных коллег не отстает [2–4, 18, 19]. При таком положении дел оправдание академической нечестности студентов отговоркой «все так делают» становится все более обоснованным. А те, кто не обманывает, начинают сомневаться, не обернется ли их честность слабостью в соревновании с менее совестливыми коллегами за более высокие оценки.

Первое место среди конструктивных предложений по противодействию обсуждаемой проблеме занимают меры карательного характера. Однако принцип подушевого финансирования вынуждает вузы жить по закону «студент всегда прав» [16, 20]. Это накладывает ограничения на характер применяемых наказаний.

Предложения по внедрению кодексов чести вряд ли можно отнести к конструктивным. По сути речь идет об изменении годами сложившейся корпоративной культуры. Если учесть, что изменение культуры организации является весьма затратным мероприятием с неочевидным результатом, то вполне резонно ожидать, что попытки изменения могут встретиться с серьезным сопротивлением – большинство университетов по отмеченным ранее объективным причинам к таким «подвигам» не готовы. При этом, конечно, никто от призывов, предупреждений, разъяснений и убеждений студентов не отказывается.

Третья группа предложений адресована преподавателям. Она призывает их сосредоточиться на реорганизации самостоятельной работы студентов с целью максимально затруднить фальсификацию ее результатов. Фальсификация должна стать невозможной или невыгодной. Самым радикальным вариантом такой реорганизации является идея о полной или частичной замене традиционных курсовых и дипломных работ написанием нескольких эссе в аудитории под непосредственным контролем преподавателя [16].

Наиболее проработанные и готовые к применению рекомендации по эффективной организации самостоятельной работы студентов приведены в статье [21]. Ее автор считает одной из главных причин обращения студентов к мошенничеству отсутствие навыков рационального планирования и принятия решений в своем обучении. Отсюда расслабленность в период выполнения задания, аврал и паника – в период его сдачи. Для предотвращения таких ситуаций предлагается четко сформулировать задание, разбить его на несколько этапов, установить сроки выполнения каждого из них, сообщить и обсудить с коллегами и студентами правила оценивания работ, политику поощрений и наказаний. Приводятся рекомендации преподавателю по выбору тем, подбору литературы, преодолению растерянности студентов, не уверенных в своих силах, разъяснению рисков и нецелесообразности обмана в процессе приобретения знаний и навыков.

### **Перспективы. Видение целевого состояния**

Заметим, что все три перечисленные группы предложений («запретить», «убедить», «затруднить») объединены одной общей целью – целью борьбы с проявлениями нежелательной активности студентов на поле академической нечестности. В каждой публикации на эту тему отмечается негативная роль развития информационных технологий в разрушении принципов академической этики и распространении мошенничества. В статье [15] всерьез обсуждается мысль о том, что сама природа самостоятельной работы студентов без жесткого контроля обращения с информацией провоцирует их на обман, и поэтому традиционные курсовые и дипломы по некоторым специальностям было бы лучше отменить, заменив их написанием сочинений в аудитории.

В силу отсутствия положительных результатов этой борьбы возникает мысль о необходимости вернуться к обсуждению миссии образования. Акцент внимания на усиление контроля и разработку различных вариантов тотальных и частичных запретов не оправдал ничьих ожиданий. И вряд ли оправдает, поскольку одновременно с совершенствованием инструментов обнаружения мошенничества развивается и индустрия его сокрытия. В этих условиях, на наш взгляд, важно сосредоточиться на изучении процессов познания и управлении ими как миссии образовательных систем, а в отношениях со студентами – руководствоваться принципами не запрещать и заставлять, а помогать и сотрудничать. И в этом увидать перспективы позитивных перемен.

### **С чего начать**

Жизненные циклы любых технологий всегда начинаются и сопровождаются исследованиями. Отсюда растущий спрос современной экономики на специалистов с исследовательскими навыками и как следствие актуальность вовлечения студентов вузов в научную деятельность [22, 23]. Но есть сложности: а) в университеты поступает все больше слабо подготовленных людей и б) далеко не все студенты видят необходимость и проявляют желание освоения исследовательских навыков [24, 25]. Дело в том, что исследовательские навыки освоить путем «пассивного приобретения знаний» с помощью традиционных методов передачи предметных знаний от учителя к ученику невозможно. Здесь требуется активная самостоятельная работа.

Поясним утверждение о необходимости активной самостоятельной работы с помощью одной из моделей познания.

Академик Яков Залманович Цыпкин, ученый в области автоматического управления, представляя в 1970 г. свою книгу «Основы теории обучающихся систем», писал: «По-видимому, существуют три ступени познания: первая ступень – это приятное чувство, что понял аргументацию, содержащуюся в книге, вторая ступень – когда можешь повторить и использовать эту аргументацию, и, наконец, третья – когда можешь опровергнуть ее».



В принципе, этот тезис можно рассматривать как исходную формулировку трехступенчатой модели процесса познания. В табл. 1 представлено содержание ее ступеней применительно к случаю обучения студентов.

Таблица 1

**Модель процесса познания (по Я.З. Цыпкину)**

Ступень	Содержание
1-я	Получение учебных материалов и задания на их освоение; изучение сути теоретических положений и практических рекомендаций, которые в них заложены; приобретение предусмотренных заданием практических навыков
2-я	Закрепление полученных знаний и навыков; подготовка и прохождение оценочных испытаний
3-я	Возникновение потребности совершенствования и развития освоенных компетенций и/или, возможно, учебного контента

Содержание двух первых ступеней соответствует традиционному варианту пассивного приобретения знаний путем реализации стратегии «выучил-сдал». После этого к немедленному переходу на третью ступень познания студент еще не готов. Потребности дальнейшего совершенствования и развития приобретенных компетенций могут возникнуть только на базе собственного опыта их применения, на базе поиска дополнительной информации и размышлений по этому поводу.

Третья ступень – это ступень научных исследований, ступень генерации и развития новых идей. Остаться в рамках пассивной стратегии «выучил-сдал» здесь уже невозможно – требуется активная самостоятельная работа, смыслом которой является реализация стратегии «придумал-проверил». При планировании таких работ полезно познакомиться с информацией о практическом применении модели цикла обучения Дэвида Колба [26] и с рекомендациями [27] относительно структуры любого научного сочинения. Их можно использовать как шаблоны последовательности и содержания этапов проведения исследований, а также при оформлении соответствующих публикаций.

Если учесть, что исследования всегда проводятся в интересах тех или иных изменений, важно понимать, для кого и почему эти изменения актуальны, а также от кого и от чего зависит возможность их разработки и осуществления. Разобраться с этим может помочь эмпирическая формула организационных изменений, известная под названием формулы перемен или формулы Глейчера [28]. В нее включены четыре переменных,  $D$  – Dissatisfaction,  $V$  – Vision,  $F$  – First steps,  $R$  – Resistance, которые рассматриваются как факторы изменений и интерпретируются следующим образом:  $D$  – беспокойство, уровень неудовлетворенности текущим состоянием некоторого объекта исследования (в частности, здесь может рассматриваться неудовлетворенность студента сложившимся положением дел в учебе, собственным статус-кво);  $V$  – целевое

состояние объекта, ориентиры, ожидания, обещания, видение позитивных перспектив, которых хотелось бы достичь;  $F$  – перечень задач, которые нужно решить в первую очередь, и четкое понимание, с чего следует начать движение к состоянию  $V$  и как это сделать, формулировка задания, способ исполнения;  $R$  – характеристики сопротивления изменениям, риски и затруднения.

Формула Глейчера записывается в виде неравенства  $D \times V \times F > R$ , в котором произведение  $D \times V \times F$  символизирует совместное влияние входящих в него факторов на успешное осуществление изменений, а знак неравенства интерпретируется как утверждение, что для достижения поставленной цели энергия изменений должна быть больше энергии сопротивления. Анализ соотношения между влиянием перечисленных факторов на мотивацию изменений позволяет оценивать шансы их успешного проведения.

Высокий уровень неудовлетворенности  $D$  говорит о существовании проблемы. Это следует из определения термина «проблемная ситуация»: *проблемная ситуация – это некоторое реальное стечение обстоятельств, положение вещей, которым кто-то недоволен, неудовлетворен и хотел бы изменить* [29. С. 7]. Нет неудовлетворенности – нет проблемы. Значит, нет и спроса на изменение.

Если проблемная ситуация обнаружена и обозначен спрос на ее изменение, но не задана цель, т.е. нет четкого видения  $V$ , понимания, что именно надо изменить и чего при этом следует добиться («иди туда, не знаю куда»), – ни планирование, ни осуществление изменений невозможны.

Невозможны изменения и в случае, когда нет четкого плана  $F$  и методики его осуществления.

Ну и, наконец, все планы проведения актуальных и казалось бы хорошо подготовленных изменений могут встретиться с непреодолимым сопротивлением  $R$ . Во-первых, это сопротивление может быть обусловлено некоторой системой запретов на какие-то виды деятельности или способы их осуществления. Во-вторых, запланированные изменения могут оказаться непосильными для исполнителей или слишком затратными.

Отсюда вывод: при планировании изменений ни один из перечисленных факторов не должен быть оставлен без внимания.

По мнению некоторых исследователей проблемы «академической нечестности» студентов, ее главной причиной является привычка откладывания работы на потом [21]. В табл. 2 представлена текущая характеристика таких студентов в координатах факторов изменений. Под изменением в этом случае понимается процесс выполнения задания на самостоятельную работу. Таблица 3 отражает желаемое состояние этих факторов. Главное отличие в стратегиях исполнения: нерадивые «мошенники» выбирают стратегию обмана, вовлекая преподавателей и администрацию вуза в игры противостояния; «честные» выбирают сотрудничество, ожидая от преподавателей большей открытости для обратной связи и бесед, открытости для изменений [30].

Т а б л и ц а 2

**«Портрет» нерадивого студента (текущее состояние факторов, которое хотелось бы изменить)**

Факторы изменений	Состояние факторов изменений
D – беспокойство	Низкий уровень ответственности за качество и сроки выполнения задания. Реальное беспокойство может вызвать только угроза отчисления
V – ожидания	Главный ориентир – оценка, документ. Реальный уровень знаний не важен
F – исполнение	Задание, как правило, ориентировано на приобретение реальных знаний и навыков, а для этого требуется время. Наш студент избегает общения с преподавателем, долго бездействует, времени на честное выполнение задания не остается, и, находясь в состоянии цейтнота, выбирает обман и фальсификацию, списывание и плагиат или пытается приобрести готовые работы у мошеннических фирм
R – затруднения	Отсутствие интереса к заданию. Низкая мотивация исполнения. Неэффективная организация работы

Т а б л и ц а 3

**Желаемое состояние факторов изменений**

Факторы изменений	Состояние факторов изменений
D – беспокойство	Чувство ответственности за качество и сроки выполнения задания
V – ожидания	Главный ориентир – получение актуальных знаний и навыков. Оценки и документы как свидетельства высокого уровня подготовки тоже важны. Важна также возможность получения необходимых консультаций и поддержки в случае непредвиденных затруднений, разделение ответственности с преподавателем
F – исполнение	Деловое сотрудничество с преподавателями. Честное и ответственное выполнение задания
R – затруднения	Завышенная сложность и трудоемкость задания. Ошибки планирования работы. Недостатки консультационной поддержки

Сравнение этих таблиц позволяет еще раз заметить, что перевести нерадивого студента из текущего состояния (см. табл. 2) в состояние, необходимое для подготовки грамотного специалиста (см. табл. 3), карательными методами невозможно. Студентов надо учить учиться и всячески этому содействовать путем вовлечения студентов и преподавателей в сотрудничество. И первый шаг должны сделать преподаватели.

Начать, на наш взгляд, следует с изменения структуры, содержания и графиков выполнения заданий.

Практика показывает, что если нормативный срок выполнения задания на самостоятельную работу составляет несколько недель с предоставлением

отчета в конце этого срока, то нерадивый студент в течение трех четвертей этого времени к ней не приступает. При этом он уклоняется от промежуточных мероприятий превентивного контроля и избегает встреч с преподавателем.

Джон П. Коттер (John P. Kotter), профессор кафедры лидерства Гарвардской школы бизнеса, считает такое планирование трудоемких работ ошибочным. Он разработал эффективный алгоритм проведения изменений с предложением разбивать весь срок их выполнения на несколько коротких этапов с целью планирования и получения быстрых и видимых всем выигрышей [31]. Нам следует перенять этот опыт, научиться добиваться промежуточных побед, научиться их оценивать и демонстрировать, а также позаботиться о поощрении людей, обеспечивших позитивные перемены.

Что касается этапов, заметим, что нерадивые студенты не любят обременять себя подбором литературных источников и их анализом. Они, как правило, потом, перед сдачей работ, вставляют что попало в списанные тексты. Конечно, в ответ на негативные комментарии что-то там в списке литературы еще может измениться, но только не качество работы. А почему бы не обособить этап этого подбора? Ведь люди просто не умеют, а значит, надо научить. Начать, например, с нахождения какого-нибудь подходящего источника по ключевым словам заданной темы исследования, а затем предложить составить его тематическое описание по правилам аннотирования (см., например, <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/427342>, а также <https://fb.ru/article/359961/annotirovanie---eto-cto-takoe-pravila-i-metodiki-primeryi>). Далее можно поставить задачу расширения списка аннотированных источников и оценить ее выполнение по качеству аннотаций и количеству публикаций (актуальных публикаций, а не учебников и не чужих курсовых с мошеннических сайтов!), включенных в этот список.

Следуя еще одной подсказке Дж. Коттера, нужно подумать о создании экспериментальной команды реформаторов для развития обсуждаемых идей и проверки эффективности их применения в задачах повышения качества студенческих исследований и подготовке совместных публикаций со студентами, участвующими в эксперименте.

**Заключение**

Обзор публикаций, связанных с изучением проблемы академической нечестности, заставляет обратить внимание на неэффективность выбранных стратегий противодействия этому явлению, которое давно вышло за пределы студенческого сообщества и становится все более массовым. Наиболее значимой считается проблема плагиата. Плагиат является главной помехой освоения студентами исследовательских компетенций. Масштабы его распространения обесценивают образование и приводят к снижению уровня интеллектуального потенциала науки и экономики в целом. Ни одна из стратегий противодействия плагиату – стратегия «запрещения»,

«убеждения», «затруднения» – не приводит к ожидаемым результатам по причинам экономического или культурного характера. Кроме того, нельзя не учитывать, что одновременно с совершенствованием различных «антиплагиатов» – инструментов обнаружения академического мошенничества – развивается и индустрия его сокрытия.

В сложившихся обстоятельствах возникает мысль о необходимости вернуться к обсуждению миссии образования, сосредоточиться на изучении процессов познания и совершенствовании умений управлять ими. И в этом увидеть перспективы позитивных изменений.

Применение формулы организационных изменений (формулы Глейчера) позволило структурировать различия характеристик студентов, ориентированных в обучении на «стратегию обмана», и студентов «стратегии сотрудничества».

Теория изменений Дж. Коттера подсказала идеи относительно реструктуризации процессов студенческих исследований и создания экспериментальной команды реформаторов, ориентированных на развитие сотрудничества.

### Литература

1. Шмелева Е.Д. Академическое мошенничество в современных университетах: обзор теоретических подходов и результатов эмпирических исследований // Экономическая социология. – Март 2015. – Т. 16, № 2. – С. 55–79. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/akademicheskoe-moshennichestvo-v-sovremennyh-universitetah-obzor-teoreticheskikh-podhodov-i-rezultatov-empiricheskikh-issledovaniy> (дата обращения: 10.11.2020).

2. Denisova-Schmidt E. The Challenges of Academic Integrity in Higher Education: Current Trends and Prospects // The Boston College Center for International Higher Education (CIHE) Perspectives. – 2017. – No. 5. – P. 1–26. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/317933042\\_The\\_Challenges\\_of\\_Academic\\_Integrity\\_in\\_Higher\\_Education\\_Current\\_Trends\\_and\\_Prospects](https://www.researchgate.net/publication/317933042_The_Challenges_of_Academic_Integrity_in_Higher_Education_Current_Trends_and_Prospects) (дата обращения: 12.11.2020).

3. Плещенко В.И. О плагиате в научных публикациях и выпускных работах // Высшее образование в России. – 2018. – Т. 27. № 8–9. – С. 62–70. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-plagiata-v-nauchnyh-publikatsiyah-i-vypusknym-rabotah> (дата обращения: 12.11.2020).

4. Плагиат в науке: матер. круглого стола в РГГУ, 11 июня 2014 г. // Социологическое обозрение. – 2014. – Т. 13, № 3. – С. 193–218. – URL: [http://www.inecon.org/docs/2SocOboz\\_13\\_3\\_08\\_Plagiarism.pdf](http://www.inecon.org/docs/2SocOboz_13_3_08_Plagiarism.pdf) (дата обращения: 14.11.2020).

5. Bowers W.J. Student Dishonesty and Its Control in College. – New York: Columbia University Press, 1964. – 291 p. – <https://eric.ed.gov/?id=ED003834>. – URL: [https://play.google.com/books/reader?id=vf7tAAAAIAAJ&hl=ru&printsec=frontcover&source=gbs\\_atb\\_hover&pg=GBS.PP6](https://play.google.com/books/reader?id=vf7tAAAAIAAJ&hl=ru&printsec=frontcover&source=gbs_atb_hover&pg=GBS.PP6) (дата обращения: 14.11.2020).

6. Alschuler A.S., Blimling G.S. Curbing Epidemic Cheating Through Systemic Change, College Teaching. – 1995. – No. 43 (4). – P. 123–125. – URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/87567555.1995.9925531> (дата обращения: 15.11.2020).

7. Bunn D.N., Caudill S.B., Gropper D.M. Crime in the Classroom: an Economic Analysis of Undergraduate Student Cheating Behavior // The Journal of Economic education. –

1992. Summer. – Vol. 23, No. 3. – P. 197–207. – URL: [https://business.fau.edu/images/business/our-college/deans-office/dean\\_groppers\\_publications/Crime-in-the-Classroom-JEE92.pdf](https://business.fau.edu/images/business/our-college/deans-office/dean_groppers_publications/Crime-in-the-Classroom-JEE92.pdf) (дата обращения: 15.11.2020).

8. Brandão M., Teixeira A.C. Crime without Punishment: an Update Review of the Determinants of Cheating Among University Students // Research, Work in Progress. – 2005, October. – No. 191. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/24111576\\_Crime\\_without\\_punishment\\_An\\_update\\_review\\_of\\_the\\_determinants\\_of\\_cheating\\_among\\_university\\_students](https://www.researchgate.net/publication/24111576_Crime_without_punishment_An_update_review_of_the_determinants_of_cheating_among_university_students) (дата обращения: 16.11.2020).

9. Сивак Е.В. Преступление в аудитории. Детерминанты нечестного поведения студентов (плагиата и списывания) / Препринт WP10/2006/06. – М.: ГУ ВШЭ, 2006. – 44 с. – URL: [http://ia.hse.ru/data/076/590/1239/WP10\\_2006\\_06.pdf](http://ia.hse.ru/data/076/590/1239/WP10_2006_06.pdf) (дата обращения: 16.11.2020).

10. Шмелева Е.Д., Семенова Т.В. Академическое мошенничество студентов: учебная мотивация и образовательная среда // Вопросы образования / Educational Studies. – М., 2019. – № 3. – С. 101–129. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/335938871\\_Akademicheskoe\\_moshennicestvo\\_students\\_uchebnaa\\_motivacia\\_vs\\_obrazovatelnaa\\_sreda](https://www.researchgate.net/publication/335938871_Akademicheskoe_moshennicestvo_students_uchebnaa_motivacia_vs_obrazovatelnaa_sreda) (дата обращения: 17.11.2020).

11. Борисова Е.И., Полищук Л.И., Суворов А.Д. Соблюдать или нарушать: внутренние мотивы академической этики // Журнал Новой экономической ассоциации. – 2014. – № 2(22). – С. 41–72. – URL: <https://www.econorus.org/journal/pdf/NEA-22.pdf> (дата обращения: 17.11.2020).

12. Watson G., Sottile J., Liang J.G. What is Cheating? Student and Faculty Perception of what they Believe is Academically Dishonest Behavior // Journal of Research in Education. – 2014. – Vol. 24, No. 1. – P. 120–134. – URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1098307.pdf> (дата обращения: 18.11.2020).

13. Donse L., Groep I.H. Academic Dishonesty among College Students: Predictors and Interventions // Social Cosmos. – 2013. – Vol. 4, No. 1. – P. 40–50. – URL: <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/272629> (дата обращения: 18.11.2020).

14. Vandehey M.A., Diekhoff G.M., LaBeff E.E. College Cheating: A Twenty-Year Follow-Up and the Addition of an Honor Code // Journal of College Student Development. – July/August 2007. – Vol. 48, No. 4. – P. 468–480. – URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.455.9203&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 19.11.2020).

15. Meng C.L., Othman J., D’Silva J.L., Omar Z. Influence of Neutralization Attitude in Academic Dishonesty among Undergraduates // International Education Studies. – 2014. – Vol. 7, No. 6. – P. 66–73. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/272726520\\_Influence\\_of\\_Neutralization\\_Attitude\\_in\\_Academic\\_Dishonesty\\_among\\_Undergraduates](https://www.researchgate.net/publication/272726520_Influence_of_Neutralization_Attitude_in_Academic_Dishonesty_among_Undergraduates) (дата обращения: 19.11.2020).

16. Голунов С.В. Студенческий плагиат как вызов системе высшего образования в России и за рубежом // Вопросы образования / Educational Studies. – М., 2010. – № 3. – С. 243–257. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/studencheskiy-plagiat-kak-vyzov-sisteme-vysshego-obrazovaniya-v-rossii-i-za-rubezhom> (дата обращения: 10.11.2020).

17. Ercegovac Z., Richardson Jr. Academic Dishonesty, Plagiarism Included, in the Digital Age: A Literature Review // College & Research Libraries. – July 2004. – P. 301–318. – URL: <https://crl.acrl.org/index.php/crl/article/viewFile/15673/17119> (дата обращения: 20.11.2020).

18. Калимуллин Т.Р. Российский рынок диссертационных услуг / Препринт WP4/2006/02. – М.: ГУ ВШЭ,

2006. – 52 с. – URL: [https://www.hse.ru/data/2010/05/05/1216427465/WP4\\_2006\\_02.pdf](https://www.hse.ru/data/2010/05/05/1216427465/WP4_2006_02.pdf) (дата обращения: 20.11.2020).

19. Левин В.И. Проблема плагиата в научно-образовательной сфере и общественной жизни России // *Alma Mater* (Вестник высшей школы). – 2014. – № 6. – С. 111–114.

20. Mark E. Student satisfaction and the customer focus in higher education // *Journal of Higher Education Policy and Management*. – 2013. – Vol. 35, No. 1. – P. 2–10. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/263688923\\_Student\\_Satisfaction\\_and\\_the\\_Customer\\_Focus\\_in\\_Higher\\_Education](https://www.researchgate.net/publication/263688923_Student_Satisfaction_and_the_Customer_Focus_in_Higher_Education) (дата обращения: 21.11.2020).

21. Harris R. Anti-Plagiarism Strategies for Research Papers // *VirtualSalt*, Version Date: February 28, 2012. – URL: <https://students.umw.edu/chls/files/2012/10/Anti-Plagiarism-Strategies1.pdf> (дата обращения: 21.11.2020).

22. Jenkins A. Undergraduate research and international initiatives to link teaching and research / A. Jenkins, M. Healey // *CUR Quarterly*. – 2010. – Vol. 30. – P. 36–42. – URL: [https://www.academia.edu/27598489/Undergraduate\\_Research\\_and\\_International\\_Initiatives\\_to\\_Link\\_Teaching\\_and\\_Research](https://www.academia.edu/27598489/Undergraduate_Research_and_International_Initiatives_to_Link_Teaching_and_Research) (дата обращения: 22.11.2020).

23. Anchal Garg. Research Skills Future in Education: Building Workforce Competence. Research Report 1. Do We Cultivate Research Skills? Veracity versus Falsity / Anchal Garg, Madhulika, Don Passey. – Department of Educational Research, Lancaster University. – 2019. – P. 1–33. – URL: [https://eprints.lancs.ac.uk/89496/1/Research\\_Skills\\_Research\\_Report\\_1\\_final.pdf](https://eprints.lancs.ac.uk/89496/1/Research_Skills_Research_Report_1_final.pdf) (дата обращения: 22.11.2020).

24. Hollins N.L. Learning Disabilities and the Virtual College Campus: A Grounded Theory of Accessibility // *Instructional Design, Development and Evaluation*. – 2012. – Dissertations. – 55 p. – URL: [https://surface.syr.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1054&context=idde\\_etd](https://surface.syr.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1054&context=idde_etd) (дата обращения: 23.11.2020).

25. Murtonen M. Do I need research skills in working life?: University students' motivation and difficulties in quantitative methods courses / M. Murtonen, E. Olkinuora, P. Tynjälä, E. Lehtinen // *High Education*. – November 2008. – Vol. 56, No. 5. – P. 599–612. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/226200509\\_Do\\_I\\_need\\_research\\_skills\\_in\\_working\\_life\\_University\\_students'\\_motivation\\_and\\_difficult\\_ties\\_in\\_quantitative\\_methods\\_courses](https://www.researchgate.net/publication/226200509_Do_I_need_research_skills_in_working_life_University_students'_motivation_and_difficult_ties_in_quantitative_methods_courses) (дата обращения: 23.11.2020).

26. Как применить цикл Колба в e-learning. – URL: <https://levellab.ru/blog/kolb> (дата обращения: 25.11.2020).

27. Подробный разбор структуры научной статьи IMRAD с рекомендациями. – URL: <https://xn--80aegсаабсбнгм5а6с1сi.xn--p1ai/razbor-struktury-stati-imrad/> (дата обращения: 25.11.2020).

28. Organizational Development: The Change Formula. – URL: [https://www.academia.edu/10284686/Organizational\\_Development\\_The\\_Change\\_Formula](https://www.academia.edu/10284686/Organizational_Development_The_Change_Formula) (дата обращения: 26.11.2020).

29. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ (Наука и искусство решения проблем): учеб. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. – 186 с. – URL: <http://www.library.fa.ru/files/Tarasenko.pdf> (дата обращения: 26.11.2020).

30. Martens S. A students' take on student-staff partnerships: experiences and preferences / S. Martens, A. Spruijt, I. Wolfhagen, D. Dolmans // *Assessment & Evaluation in Higher Education*. – 2019. – Vol. 44, No. 6. – P. 910–919. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/329690221\\_A\\_students%27\\_take\\_on\\_student-staff\\_partnerships\\_experiences\\_and\\_preferences](https://www.researchgate.net/publication/329690221_A_students%27_take_on_student-staff_partnerships_experiences_and_preferences) (дата обращения: 27.11.2020).

31. Джон П. Коттер. Впереди перемен. – М.: Олимп-Бизнес, 2014. – 256 с. – URL: <https://baguzin.ru/wp/dzhon-p-kotter-vperedi-peremen/> (дата обращения: 27.11.2020).

#### **Буймов Аркадий Георгиевич**

Д-р техн. наук, профессор каф. экономики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050  
ORCID: 0000-0003-1335-6922  
Тел.: +7-913-827-40-76  
Эл. почта: agb2005@yandex.ru

#### **Похолков Юрий Петрович**

Д-р техн. наук, рук. учебно-научного центра «Организация и технологии высшего профессионального образования» Национального исследовательского Томского политехнического университета Ленина пр-т, 30, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 60-62-81  
Эл. почта: yuor1@mail.ru

#### **Тарасенко Владимир Феликсович**

Д-р техн. наук, профессор каф. системного анализа и математического моделирования института прикладной математики и компьютерных наук (ИПМиКН) Национального исследовательского Томского государственного университета Ленина пр-т, 36, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: 8 (382-2) 70-15-91  
Эл. почта: vtara54@mail.ru

Buymov A.G., Pokholkov Yu.P., Tarasenko V.F.

#### **Gleicher's formula in solving the problem of plagiarism and managing students' research work**

The article discusses the problem of infringement of academic ethics among students of universities. The author compares the perception of this problem by scientists, university administration, teachers and students. The prospects of applying punitive measures to counteract fraud, measures aimed at correcting the corporate culture of the university, as well as measures to reorganize independent work that makes attempts at plagiarism impossible or unprofitable are evaluated. Based on the application of the change formula, or the Gleicher's formula, the differences between the characteristics of students who choose a cheating strategy in training and students who prefer honest work and cooperation are revealed. The first steps aimed at changing the behavior of dishonest students and involving them in the cooperation strategy are proposed.

**Keywords:** academic dishonesty, plagiarism, managing students' independent work, cooperation strategy.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-78-84

#### *References*

1. Shmeleva E.D. *Akademicheskoe moshennichestvo v sovremennykh universitetakh obzor teoreticheskikh podhodov i rezultatov empiricheskikh issledovaniy* [Academic Dishonesty in modern Universities: a review of theoretical approaches and empirical research results]. *Economic Sociology*, 2015, vol. 16, no. 2, pp. 55–79 (in Russ).

2. Denisova-Schmidt E. (2017). The Challenges of Academic Integrity in Higher Education: Current Trends and Prospects. *The Boston College Center for International Higher Education (CIHE) Perspectives*, No. 5, pp. 1–26

3. Pleshchenko V.I. (2018). *O plagiatach v nauchnykh publikatsiyakh i vypusnykh rabotakh* [About Plagiarism in Scientific Publications and Graduate Papers]. *Vysshye obrazovaniye v Rossii*, vol. 27, no. 8–9, pp. 62–70 (in Russ).

4. *Plagiat v nauke (Materialy Kruglogo stola v RGGU, 11.06.2014* [Plagiarism in Science (materials of the RGGU round table, June 11, 2014)]. *Russian sociological review*. 2014, vol. 13, no. 3, pp. 193–218 (in Russ).

5. Bowers W.J. Student Dishonesty and Its Control in College. New York, *Columbia University Press*. 1964, 291 p.
6. Alschuler A.S. and Blimling G.S. (). Curbing Epidemic Cheating Through Systemic Change, *College Teaching*, 1995, no. 43 (4), pp. 123–125.
7. Bunn D.N., Caudill S.B., Gropper D.M. Crime in the Classroom: an Economic Analysis of Undergraduate Student Cheating Behavior. *The Journal of Economic Education*. 1992, vol. 23, no. 3, pp. 197–207.
8. Brandão M., Teixeira A.C. Crime without Punishment: an Update Review of the Determinants of Cheating Among University Students. *Research, Work in Progress*. 2005, no. 191, pp. 1–31.
9. Sivak E.V. *Prestuplenie v auditorii. Determinanty nechestnogo povedeniya studentov (plagiata i spisyvaniya)* [Crime in the audience. Determinants of students' dishonest behavior (plagiarism and cheating)]. Preprint WP10/2006/06, M.: HSE University, 2006, 44 p. (in Russ.).
10. Shmeleva E.D., Semenova T.V. (). *Akademicheskoe mosenicestvo studentov: ucebnaia motivacia vs obrazovatelnaia sreda* [Academic Dishonesty among College Students: Academic Motivation vs Contextual Factors]. *Voprosy obrazovaniya / Educational Studies Moscow*, 2019, no. 3, pp. 101–129 (in Russ.).
11. Borisova E.I., Polishchuk L.I., Suvorov A.D. *Soblyudat ili narushat: vnutrennie motivy akademicheskoi etiki* [Observe or violate: internal motives of academic ethics]. *Journal of the new economic association*, 2014, no. 2(22), pp. 41–72 (in Russ.).
12. Watson G., Sottile J., Liang J.G. What is Cheating? Student and Faculty Perception of what they Believe is Academically Dishonest Behavior. *Journal of Research in Education*, 2014, vol. 24, no. 1, pp. 120–134.
13. Donse L., Groep I.H. Academic Dishonesty among College Students: Predictors and Interventions. *Social Cosmos*, 2013, vol. 4, no. 1, pp. 40–50.
14. Vandehey M.A., Diekhoff G.M., LaBeff E.E. College Cheating: A Twenty-Year Follow-Up and the Addition of an Honor Code. *Journal of College Student Development*, July/August 2007, vol. 48, no. 4, pp. 468–480.
15. Meng C.L.; Othman J.; D'Silva J.L.; Omar Z. Influence of Neutralization Attitude in Academic Dishonesty among Undergraduates. *International Education Studies*, 2014, vol. 7, no. 6, pp. 66–73.
16. Golunov S.V. *Studencheskii plagiat kak vyzov sisteme vysshego obrazovaniya v Rossii i za rubezhom* [Student plagiarism as a challenge to the higher education system in Russia and abroad]. *Voprosy obrazovaniya / Educational Studies Moscow*, 2010, no. 3, pp. 243–257 (in Russ.).
17. Ercegovac Z., Richardson Jr., J.V. Academic Dishonesty, Plagiarism Included, in the Digital Age: A Literature Review. *College & Research Libraries*, July 2004, pp. 301–318.
18. Kalimullin T.R. *Rossiiskii rynek dissertatsionnykh uslug* [The Russian market of the dissertation services]. Preprint WP4/2006/02, Moscow: HSE University, 2006, 52 p. (in Russ.).
19. Levin V.I. *Problema plagiata v nauchno-obrazovatelnoi sfere i obshchestvennoi zhizni Rossii* [The Problem of Plagiarism in the Scientific and Educational Sphere and Public Life in Russia]. *Alma Mater (Vestnik vysshei shkoly)* = Alma mater (High School Herald), 2014, no. 6, pp. 111–114 (in Russ.).
20. Mark E. Student satisfaction and the customer focus in higher education. *Journal of Higher Education Policy and Management*, 2013, vol. 35, no. 1, pp. 2–10.
21. Harris R. Anti-Plagiarism Strategies for Research Papers. *VirtualSalt*, Version Date: February 28, 2012.
22. Jenkins A., Healey M. Undergraduate research and international initiatives to link teaching and research. *CUR Quarterly*. 2010, vol. 30, pp. 36–42.
23. Anchal Garg, Madhulika, Don Passey. Research Skills Future in Education: Building Workforce Competence. Research Report 1. Do We Cultivate Research Skills? Veracity versus Falsity. *Department of Educational Research, Lancaster University*, 2019, pp. 1–33
24. Hollins N.L. (). Learning Disabilities and the Virtual College Campus: A Grounded Theory of Accessibility, Instructional Design, Development and Evaluation. *Dissertations*. 2012, 55 p. – URL: [https://surface.syr.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1054&context=idde\\_etd](https://surface.syr.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1054&context=idde_etd) (Accessed: November 23, 2020).
25. Murtonen M., Olkinuora E, Tynjälä P., Lehtinen E. Do I need research skills in working life?: University students' motivation and difficulties in quantitative methods courses. *High Education*, November 2008, vol. 56, no. 5, pp. 599–612.
26. *Kak primenit' cikl Kolba v e-learning*. [How to apply Kolb's loop in e-learning]. Available at: <https://levellab.ru/blog/kolb> (Accessed: November 25, 2020) (in Russ.).
27. *Podrobnij razbor struktury nauchnoj stat'i IMRAD s rekomendacijami* [Detailed analysis of the structure of the IMRAD scientific article with recommendations]. Available at: <https://xn--80aegcaa6cbngm5a6c1ci.xn--p1ai/razbor-struktury-stati-imrad/> (Accessed: November 25, 2020) (in Russ.).
28. Organizational Development: The Change Formula. Available at: [https://www.academia.edu/10284686/Organizational\\_Development\\_The\\_Change\\_Formula](https://www.academia.edu/10284686/Organizational_Development_The_Change_Formula) (Accessed: November 25, 2020).
29. Tarasenko F.P. *Prikladnoj sistemnyj analiz (Nauka i iskusstvo resheniya problem): Uchebnik* [Applied Systems Analysis (Science and Art of Problem Solving): Textbook]. Tomsk: Tomsk State University, 2004, 186 p. (in Russ.).
30. Martens S., Spruijt A., Wolfhagen I., Whittingham J. & Dolmans D. A students' take on student-staff partnerships: experiences and preferences, *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 2019, vol. 44, no. 6, pp. 910–919.
31. John P. Kotter (2014). *Vpered peremen* [Ahead of change], Moscow: Olimp-Biznes, 2014, 256 p. (in Russ.).

---

#### Arkady G. Buymov

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Department of Economics, Tomsk State University  
of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
ORCID: 0000-0003-1335-6922  
Phone: +7-913-827-40-76  
Email: agb2005@yandex.ru

#### Yury P. Pokholkov

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Head of the Educational and Scientific Center «Organization  
and Technologies of Higher Professional Education»  
National Research Tomsk Polytechnic University  
30, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 60-62-81  
Email: pyuori@mail.ru

#### Vladimir F. Tarasenko

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Department of System Analysis and Mathematical Modeling,  
Institute of Applied Mathematics and Computer Science  
(IPMiKN), National Research Tomsk State University  
36, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: 8 (382-2) 70-15-91  
Email: vtara54@mail.ru

УДК 3.08:159.9.07:004.42

А.Д. Носова, Т.Т. Газизов, А.Н. Стась, П.А. Шелупанова

## Применение информационных систем для учета и анализа данных о сотрудниках

Актуальной задачей в области повышения эффективности рабочего процесса является автоматизация деятельности различных структурных подразделений в организации. Автоматизация деятельности влечет за собой уменьшение бумажного документооборота, снижение ошибок в работе, связанных с человеческим фактором, сокращение времени поиска необходимой информации, а также увеличение эффективности работы сотрудников. В качестве оптимального механизма для автоматизации вышеперечисленных потребностей выступают информационные системы, которые позволяют оперативно получать актуальные данные от различных подразделений в организации и использовать полученную информацию в управленческих целях, а также хранить большие объемы информации и данных. Автоматизация работы с информацией также позволяет проводить аналитическую работу, в частности, по исследованию психологического состояния работников организации, мониторинга когнитивных процессов.

Для разработки информационной системы учета данных о сотрудниках детально изучены современные бизнес-сообщества, а также предложения на рынке программного обеспечения в области автоматизации деятельности сотрудников кадровой службы. Выявленные основные потребности, предъявляемые к информации и данным, при информатизации деятельности сотрудников в различных организациях или компаниях позволили разработать информационную систему, которая соответствует всем современным требованиям.

**Ключевые слова:** автоматизированная информационная система, база данных, проектирование системы, РНР, web-приложение, обмен данными.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-85-90

В современном мире различные компании и организации стремятся занять лидерские позиции на рынке производства или предоставляемых услуг. Компанию к достижению высокого рейтинга может привести не только грамотное руководство и современное оборудование, но и правильно подобранный кадровый состав. Еще несколько лет назад кадровая служба осуществляла только функции найма/увольнения и учета персонала, теперь же кадровая служба (human resources с англ. человеческие ресурсы) является главным инструментом любого предприятия не только в учете персонала, но и в обновлении кадров, повышении уровня компетенций и квалификации сотрудников на занимаемой должности. Именно правильно организованная работа с человеческими ресурсами помогает компаниям развиваться и занимать лидерские позиции. Одним из направлений в работе с человеческими ресурсами является проведение психологических исследований с целью выявления возможностей использования каждого сотрудника с большей эффективностью.

### Эффективность внедрения информационных систем учета данных о сотрудниках

Для увеличения эффективности работы кадровой службы используются различные информационные системы, которые автоматизируют деятельность сотрудников кадровой службы. Об этом свидетельствует аналитическое исследование «Ведомостей» и кадрового агентства «Контакт», в котором приняло участие 158 менеджеров по персоналу [1]. Респондентам был задан вопрос: «Под влиянием каких факторов росла производительность вашей компании за последние три года?». 47% опрошенных отметили, что производительность компании выросла

за счёт автоматизации бизнес-процессов и внедрение IT-систем, 44% отметили рост за счёт сокращения штата, 25% респондентов отметили увеличение производительности, связанное с новым оборудованием, 17% – с повышением отпускных цен и курсов мировых валют, 11% связали увеличение производительности с аутсорсингом хозяйственных функций (рис. 1).

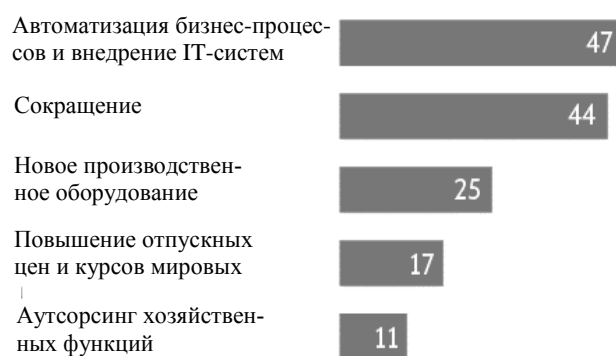


Рис. 1. Влияние факторов на рост производительности компаний

Из проведенного исследования можно сделать вывод, что непрерывное развитие современных технологий и информатизация общества привели к тому, что автоматизация деятельности крупных фирм стала синонимом к успешности и прибыльности бизнеса [2]. Оборудованные рабочие места сотрудников отличаются не только новейшими техническими средствами, но и мощным программным обеспечением, а также различными прикладными программами для облегчения и упрощения работы

персонала [3]. В качестве таких программ выступают информационные системы, которые полностью автоматизировали операции по работе с информацией. На сегодняшний день информационные системы применяются и на государственном уровне. Например, в России используются: платформа АИС ПФР-2, с помощью которой пенсионный фонд выполняет ключевые функции; система Федерального казначейства (АСФК), которая ориентирована на информационное обеспечение процессов и процедур исполнения федерального, регионального и муниципального бюджета. Информационные системы применяются не только в организациях и на предприятиях государственного уровня, но на крупных предприятиях и в малом бизнесе. Невозможно представить предприятие без центрального органа взаимодействия сотрудников – кадровой службы [4]. Деятельность кадровой службы является ключевым звеном в успешном развитии предприятия. Сформулируем основные функции системы управления кадровым обеспечением:

- контроль над организационной структурой и штатным расписанием;
- кадровый учет (заполнение личных дел сотрудников, подготовка на основании данных системы необходимых бумажных документов);
- учет рабочего времени;
- планирование карьеры и отслеживание карьерного роста сотрудников;
- работа с кадровым резервом и подбор персонала на вакантные должности;
- обучение персонала.

Автоматизация вышеперечисленных процессов дает возможность своевременно принимать стратегические бизнес-решения, позволяющие нарастить потенциал предприятия. Эффективность внедрения информационной системы учета данных сотрудников на предприятии можно рассматривать с точки зрения трех показателей: экономического, организационного и социального (табл. 1).

Таблица 1

**Эффект от внедрения системы управления персоналом на предприятии**

Организационный	Экономический	Социальный
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышение качества кадровых решений.</li> <li>– Сокращение времени принятия решений на всех уровнях управления предприятием.</li> <li>– Оперативность подготовки отчетности для органов государственного управления</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Снижение затрат на управление персоналом.</li> <li>– Повышение производительности труда персонала.</li> <li>– Оптимальное использование профессиональных качеств конкретного сотрудника предприятия</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Персональный учет пенсионных накоплений сотрудников предприятия.</li> <li>– Ведение полной индивидуальной трудовой истории персонала предприятия.</li> <li>– Подготовка руководящего резерва и продвижение по службе наиболее перспективных сотрудников предприятия</li> </ul>

**Обзор программных решений систем управления персоналом**

На сегодняшний день не существует готовых универсальных систем управления персоналом: каждая компания или организация выбирает наиболее подходящий под свои цели программный продукт. На российском рынке представлены как отечественные, так и иностранные системы управления персоналом.

Наиболее известными зарубежными представителями являются:

– RB HR & Payroll – «Управление кадрами и зарплата» – международное программное средство для предприятий и организаций различного уровня, которое позволяет автоматизировать и упорядочить операции управления персоналом, штатным расписанием; отследить прием, продвижение по службе; осуществить перевод сотрудников между подразделениями или увольнение работников; своевременно направить на обучение или аттестацию персонал и др.

– SAP HR – комплексное технологическое решение, позволяющее решать задачи по работе с персоналом, состоящее не только из оперативного учета данных, но и возможностей принятия стратегических решений по развитию бизнеса: решения по мотивации, развитию, обучению и оценке эффективности работы персонала.

Основные сложности внедрения зарубежных решений на российские предприятия связаны с адаптацией российского законодательства и внутренних локальных актов компаний. Данные сложности влекут за собой процесс адаптации программ разработчиками к российской системе делопроизводства, тем самым увеличивая ее стоимость. Поэтому отечественные разработки в области информационных систем учета данных о сотрудниках наиболее часто применяются среди российских компаний. Существует множество различных решений для оптимизации работы кадровой службы. Наиболее популярными и известными являются системы: «Зарплата/кадры» от компании 1С, «БОСС-Кадровик» от компании «БОСС. Кадровые системы», «Управление персоналом: Учет кадров» от компании «Компас», «Галактика ERP» от корпорации «Галактика». Сравнительный анализ систем представлен в табл. 2.

На основе сравнительных данных из табл. 2 видно, что наиболее полным и доступным для использования пакетом обладает система от фирмы 1С, которая имеет небольшую стоимость лицензионного пакета, наличие web-версии, возможность выбора различных СУБД, кроссплатформенность, а также многоплатформенность. Недостатком данной системы является достаточно сложный программный интерфейс для обычного пользователя, которому перед началом работы с системой необходимо изучить ее основные механизмы и принципы функционирования. Совместимость систем «БОСС-Кадровик» и «Управление персоналом: Учет кадров» с операционной системой Windows ограничивает использование таких систем компаниями в условиях действия

приказа № 486 Минкомсвязи России «Об утверждении методических рекомендаций по переходу государственных компаний на преимущественное использование отечественного программного обеспечения, в том числе отечественного офисного программного обеспечения» от 20.09.2018 [5].

Т а б л и ц а 2  
Сравнительная таблица отечественных систем учета данных о сотрудниках

Показатели	Отечественные системы учета данных о сотрудниках			
	Зарплата/кадры	БОСС-Кадровик	Управление персоналом: Учет кадров	Галактика ERP
Стоимость лицензионного продукта	От 8 до 100 тыс. руб.	От 9 тыс. руб. с поддержкой на 1 год	От 7 тыс. руб. в зависимости от функционала и используемой СУБД	От 14 тыс. руб. до 90 тыс. руб. в зависимости от функционала
Совместимость с операционными системами	Кросс-платформенная / многоплатформенная	Windows (начиная с Windows 2000)	Windows (начиная с Windows 2000)	Кросс-платформенная
Требования к СУБД	Microsoft SQL Server, PostgreSQL, IBM DB2, Oracle Database	Microsoft SQL ServerT 2000 или OracleR Database.	Oracle или MS SQL	Oracle
Наличие web-версии	+	+	-	-

Достаточно высокая стоимость лицензионного пакета системы «Галактика ERP» делает ее недоступной для покупки начинающими компаниями, отсутствие альтернатив в выборе СУБД и отсутствие web-версии также являются недостатками при оценке данной системы для кадрового учета. Так, по данным TAdviser на 2018 г. среди 2 832 внедренных информационных систем наиболее востребованными являются системы от компаний, которые представлены на рис. 2 [6].

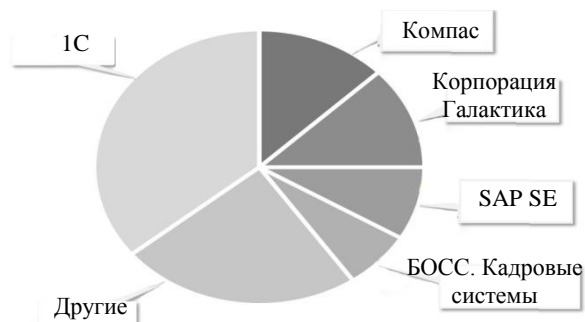


Рис. 2. Степень востребованности внедренных информационных систем от различных компаний-поставщиков на 2018 г.

Популярные готовые решения от известных разработчиков в основном ориентированы на настольные персональные компьютеры. Сложность пользовательского интерфейса систем также вызывает немалые трудности при работе: требуется квалифицированный персонал, уверенно владеющий программой; возникает необходимость периодически совершенствовать знания сотрудников, эксплуатирующих выбранную систему для кадрового обеспечения, в связи с возможным обновлением программного продукта [7].

### Разработка информационной системы учета данных о сотрудниках

Цель работы можно сформулировать следующим образом: разработать информационную систему учета данных о сотрудниках и реализовать информационную систему для удобства пользователей в форме web-приложения.

Проектирование базы данных – ключевой этап проектирования информационной системы [8]. В процессе проектирования необходимо изучить информационные процессы, которые подлежат автоматизации [9]: найм/увольнение персонала, управление отпусками и периодами отсутствия, создание штатного расписания, кадровый учет. В результате обработки полученной информации была создана деловая модель, на основе которой далее построим инфологическую модель проектируемой системы в виде ER-диаграммы (модель «сущность-связь») [10]. Далее на основе классической методологии создадим структуру базы данных в виде реляционной схемы, реализованной в CASE-средстве DB Designer [11]. С помощью программы DB Designer автоматически генерируем набор SQL-запросов, позволяющих создать базу данных в любой реляционной СУБД [12]. На основе сгенерированного набора SQL-запросов [13] из программы DB Designer переносим созданные таблицы в СУБД MySQL и заполняем их необходимыми данными, используя web-интерфейс для администрирования систем управления базами данных PHPMyAdmin. Далее необходимо реализовать информационную систему учета данных о сотрудниках в виде web-приложения [14]. В процессе разработки были использованы локальный сервер Open Server и система управления контентом Joomla [15].

На стартовой странице размещена форма авторизации, в которой пользователь указывает свой логин и пароль и нажимает кнопку «Войти». По результатам прохождения авторизации пользователь получает доступ к информации, хранящейся в базе данных, в табличном виде.

Технически данный функционал реализован с помощью PHP-скриптов [16]. Реализованный функционал системы позволяет не только просматривать данные, но и позволяет пользователю удобно редактировать, добавлять и удалять данные, которые находятся в базе данных. Работа функционала системы основана на использовании механизма web-форм, стандартных механизмов передачи данных от



клиента на сервер и sql-запросов, которые реализуют соответствующие изменения в базе данных. Интерфейс web-приложения реализован с помощью внутренних средств CMS Joomla и с использованием подходящего шаблона. Форма представления данных обеспечивает удобство работы с системой со стороны пользователя и отличается от внутренней структуры базы данных.

Функционал разработанной системы может быть расширен за счет введения модуля автоматизации психологических исследований персонала организации. Функционал этого модуля позволит осуществлять мониторинг когнитивных процессов сотрудников на основе разрабатываемой модели, что в свою очередь позволит принимать более эффективные кадровые решения.

#### **Заключение**

Таким образом, проанализированы потребности, предъявляемые к информации и данным, выделены требования, предъявляемые к информационным системам работы с данными о сотрудниках. Проведен сравнительный обзор существующих готовых решений в области автоматизации деятельности кадровых служб организаций. Опираясь на описанную выше информацию, разработан прототип информационной системы учета данных о кадровом обеспечении организации. Данная система может быть внедрена в учреждениях различного профиля.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-07445 мк.

#### *Литература*

1. Как трудятся и зарабатывают в крупнейших российских компаниях. Рейтинг по производительности труда и фонду зарплаты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/management/articles/2017/12/05/744136-trudyatsya-zarabativayut> (дата обращения: 24.08.2020).
2. Готтхард Б. Современное общество: общество риска, информационное общество, общество знаний / пер. с нем. А.Ю. Антоновского, Г.В. Горохова, Д.В. Ефременко, С.В. Месяц. – М.: Логос, 2019. – 248 с.
3. Титоренко Г.А. Информационные системы в экономике: учеб. – М.: «ЮНИТИ-ДАНА», 2008. – 463 с. – Электронный ресурс: Режим доступа: <https://instituti-ones.com/download/books/1449-informacionnye-sistemy-v-ekonomike.html> (дата обращения: 26.08.2020).
4. Зачем внедрять автоматизированную систему управления персоналом и как выбрать оптимальное решение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kp.ru/guide/avtomatizirovannye-sistemy-upravlenija-personalom.html> (дата обращения: 26.08.2020).
5. Об утверждении методических рекомендаций по переходу государственных компаний на преимущественное использование отечественного программного обеспечения, в том числе отечественного офисного программного обеспечения: приказ Минкомсвязи России от 20 сентября 2018 г. № 486 // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2018. – Режим доступа: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6458/> (дата обращения: 26.08.2020).

6. Информационная компания «TAdviser»: Российский рынок HRM-систем 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/a/56383> (дата обращения: 01.09.2020).

7. Федотова Е.Л. Информационные технологии и системы: учеб. пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. – 352 с.

8. Вдовенко Л.А. Информационная система предприятия: учеб. пособие. – М.: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 304 с.

9. Маглинец Ю.А. Анализ требований к автоматизированным информационным системам: учеб. пособие. – М.: ИНТУИТ, 2016. – 191 с.

10. Стасьшин В.М. Проектирование информационных систем и баз данных: учеб. пособие. – Новосибирск: Новосиб. гос. техн. ун-т, 2012. – 100 с.

11. Якимов В.Н. Проектирование реляционных баз данных: учеб. пособие по курсовому проектированию. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, ЭБС АСВ, 2018. – 96 с.

12. Тарасов С.В. СУБД для программиста. Базы данных изнутри. – М.: СОЛОН-Пресс, 2018. – 320 с.

13. Полякова Л.Н. Основы SQL. – М.: Интернет-университет информационных технологий (ИНТУИТ), 2016. – 273 с.

14. Баканов А.С. Эргономика пользовательского интерфейса. От проектирования к моделированию человеко-компьютерного взаимодействия / А.С. Баканов, А.А. Обознов. – М.: Институт психологии РАН, 2011. – 176 с.

15. Кудряшев А.В. Введение в современные веб-технологии: учеб. пособие / А.В. Кудряшев, П.А. Светашков. – М.: ИНТУИТ, 2016. – 360 с.

16. Кисленко Н.П. Интернет-программирование на PHP: учеб. пособие. – Новосибирск: Новосиб. гос. архитектурно-строит. ун-т (Сибстрин), ЭБС АСВ, 2015. – 177 с.

---

#### **Носова Анна Дмитриевна**

Магистрант физико-математического факультета (ФМФ) Томского государственного педагогического ун-та (ТГПУ) Киевская ул., д. 60, г. Томск, Россия, 634061  
Тел.: +7-913-867-65-35  
Эл. почта: nosova@tspu.edu.ru

#### **Газизов Тимур Тальгатович**

Д-р техн. наук, доцент, профессор каф. информатики, нач. управления развития информационных систем и электронного документооборота ТГПУ Киевская ул., д. 60, г. Томск, Россия, 634061  
Тел.: +7 (382-2) 31-13-66  
Эл. почта: gtt@tspu.edu.ru

#### **Стась Андрей Николаевич**

Канд. техн. наук, доцент, зав. каф. информатики ФМФ, вед. инж.-программист лаб. автоматизации управления и компьютеризации ТГПУ Киевская ул., д. 60, г. Томск, Россия, 634061  
Тел.: +7-913-855-02-67  
Эл. почта: stasandr@tspu.edu.ru

#### **Шелупанова Полина Александровна**

Канд. экон. наук, доцент каф. безопасности информационных систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 41-39-39  
Эл. почта: shelupanovapa@gmail.com

Nosova A.D., Gazizov T.T., Stas A.N., Shelupanova P.A.  
**Application of information systems for accounting and analysis of employee data**

In the modern world, one of the most urgent tasks in the field of improving the efficiency of the workflow is to automate the activities of various structural divisions in the organization. Automation of activities leads to a reduction in paper document flow, reduction of errors in work related to the human factor, reduction of time to search for the necessary information, as well as an increase in the efficiency of employees. Information systems serve as the optimal mechanism for automating the above-mentioned needs. In addition, information systems allow you to quickly get up-to-date data from various departments in the organization and use the information obtained for management purposes, as well as store large amounts of information and data. Automation of work with information also allows you to conduct analytical work, in particular on the study of the psychological state of employees of the organization, monitoring of cognitive processes. The basis for the development of an information system for recording employee data was a detailed study of the modern business community, as well as offers on the software market in the field of automation of personnel service employees. The identified basic needs for information and data when informatizing the activities of employees in various organizations or companies allowed the authors to develop an information system that meets all modern requirements.

**Keywords:** automated information system, database, system design, PHP, web-application, data exchange.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-85-90

#### References

1. *Kak trudyatsya i zarabatyvayut v krupnejshih rossijskikh kompaniyah. Rejting po proizvoditel'nosti truda i fondu zarplaty* [How they work and earn money in the largest Russian companies. Ranking by labor productivity and payroll] [Electronic resource]. Available at: <https://www.vedomosti.ru/management/articles/2017/12/05/744136-trudyatsya-zarabatyvayut> (Accessed: August 24, 2020) (in Russ.).
2. Gotthard B. *Sovremennoe obshchestvo: obshchestvo riska, informacionnoe obshchestvo, obshchestvo znanij* [Modern society: risk society, information society, knowledge society]. Moscow, Logos, 2019. 248 p. (in Russ.).
3. Titorenko G.A. *Informacionnye sistemy v ekonomike* [Information systems in the economy] [Elektronnyj resurs]. Moscow, «YUNITI-DANA», 2008. 463 p. – Available at: <https://institutiones.com/download/books/1449-informacionnye-sistemy-v-ekonomike.html> (Accessed: August 26, 2020) (in Russ.).
4. *Zachem vnedryat' avtomatizirovannuyu sistemu upravleniya personalom i kak vybrat' optimal'noe reshenie* [Why implement an automated personnel management system and how to choose the best solution] [Elektronnyj resurs]. – Available at: <https://www.kp.ru/guide/avtomatizirovannye-sistemy-upravlenija-personalom.html> (Accessed: August 26, 2020) (in Russ.).
5. *Ob utverzhdenii metodicheskikh rekomendacij po perekhodu gosudarstvennykh kompanij na preimushchestvennoe ispol'zovanie otechestvennogo programmnogo obespecheniya, v tom chisle otechestvennogo ofisnogo programmnogo obespecheniya* [On the approval of methodological recommendations for the transition of state-owned companies to the predominant use of domestic software, including domestic office software]: prikaz Minkomsvyazi Rossii ot 20 sentyabrya 2018 g. № 486 // Ministerstvo cifrovogo razvitiya,

svyazi i massovyh kommunikacij Rossijskoj Federacii [Elektronnyj resurs]. – Elektron. dan. – M., 2018. – Available at: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6458/> (Accessed: August 26, 2020) (in Russ.).

6. *Informacionnaya kompaniya «TAdviser»: Rossijskij rynek HRM-sistem 2018* [Information company «TAdviser»: Russian market of HRM systems 2018] [Elektronnyj resurs]. – Available at: <http://www.tadviser.ru/a/56383> (Accessed: September 01, 2020) (in Russ.).

7. Fedotova E.L. *Informacionnye tekhnologii i sistemy* [Information technologies and systems]. M., FORUM: INFRA-M, 2020. 352 p. (in Russ.).

8. Vdovenko L.A. *Informacionnaya sistema predpriyatiya* [Enterprise information system]. Moscow, Vuzovskij uchebnik, NIC INFRA-M, 2014. 304 p. (in Russ.).

9. Maglinec Y.A. *Analiz trebovanij k avtomatizirovannym informacionnym sistemam* [Analysis of the requirements for automated information systems]. Moscow, INTUIT, 2016. 191 p. (in Russ.).

10. Stasyshin V.M. *Proektirovanie informacionnyh sistem i baz dannyh* [Design of information systems and databases]. Novosibirsk, Novosibirskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2012. 100 p. (in Russ.).

11. Yakimov V.N. *Proektirovanie relyacionnyh baz dannyh* [Relational Database Design]. Samara, Samarskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, EBS ASV, 2018, 96 p. (in Russ.).

12. Tarasov S.V. *SUBD dlya programmista. Bazy dannyh iznutri* [Database management system for the programmer. Databases from within]. Moscow, SOLON-Press, 2018, 320 p. (in Russ.).

13. Polyakova L.N. *Osnovy SQL* [SQL Basics]. Moscow, Internet-Universitet Informacionnyh Tekhnologij (INTUIT), 2016. 273 p. (in Russ.).

14. Bakanov A.S. *Ergonomika pol'zovatel'skogo interfejsa. Ot proektirovaniya k modelirovaniyu cheloveko-komp'yuternogo vzaimodejstviya* [Ergonomics of the user interface. From design to modeling human-computer interaction]. – Moscow: Institut psihologii RAN, 2011, 176 p. (in Russ.).

15. Kudryashev, A.V. *Vvedenie v sovremennye veb-tekhnologii* [Introduction to modern web technologies]. Moscow, INTUIT, 2016. 360 p. (in Russ.).

16. Kislenco N.P. *Internet-programmirovaniye na PHP* [PHP Internet Programming]. – Novosibirsk: Novosibirskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet (Sibstrin), EBS ASV, 2015. 177 p. (in Russ.).

#### Anna D. Nosova

Master Student, Faculty of Physics and Mathematics  
 Tomsk State Pedagogical University  
 60, Kievskaya st., Tomsk, Russia, 634061  
 Email: nosova@tspu.edu.ru  
 Phone: +7-913-867-65-35

#### Timur T. Gazizov

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor  
 Professor, Department of Informatics  
 Head of Development of Information Systems  
 and Electronic Document Management Department  
 Tomsk State Pedagogical University  
 60, Kievskaya st., Tomsk, Russia, 634061  
 Email: gtt@tspu.edu.ru  
 Phone: +7 (382-2) 31-13-66

**Andrey N. Stas'**

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor  
Head of the Department of Informatics,  
Faculty of Physics and Mathematics  
Lead engineer-programmer, Laboratory of Automation of  
Management and Computerization  
Tomsk State Pedagogical University  
60, Kievskaya st., Tomsk, Russia, 634061  
Email: Stasandr@tspu.edu.ru  
Phone: +7-913-855-02-67

**Polina A. Shelupanova**

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,  
Department of Information Systems Security  
Tomsk State University of Control Systems  
and Radioelectronics (TUSUR)  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Email: shelupanovapa@gmail.com  
Phone: +7 (382-2) 41-39-39

# **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**



УДК 621.316.761, 62-533.6

И.А. Хайченко, В.В. Бабенко, Ю.В. Нефедов, Ань Ту Ха

## Алгоритм снижения дополнительных потерь в асинхронных электроприводах на производствах со статическими регуляторами мощности

Рассмотрены пути снижения потерь электроэнергии в системах электроснабжения промышленных предприятий, содержащих мощные полупроводниковые преобразователи и асинхронные двигатели. Определен источник дополнительных потерь электроэнергии, связанный с субгармоническим характером колебаний напряжения от работы преобразователей, использующих принцип частотно-импульсного управления. Предложен алгоритм работы тиристорных ключей полупроводниковых преобразователей, который обеспечивает снижение потерь электроэнергии в асинхронных двигателях, подключенных параллельно с мощными преобразователями. Показаны графики напряжений и токов имитационной модели в режимах работы преобразователей, позволяющих повысить энергетическую эффективность работы широкого круга промышленных объектов с асинхронными электродвигателями, имеющими параллельно подключенную, циклически изменяющуюся нагрузку.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, асинхронный электродвигатель, полупроводниковый преобразователь, алгоритм управления, тиристорные ключи, электромагнитная совместимость.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-93-98

В соответствии с Федеральным законом № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...», в Российской Федерации были созданы правовые, экономические и организационные основы стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности [1]. В том числе были проведены широкомасштабные мероприятия энергетического аудита практически всех производств и организаций с существенным потреблением энергоресурсов. Анализ результатов энергетического обследования ряда крупных промышленных предприятий г. Воронежа, проведенного в 2013–2016 гг., позволил выявить нетипичный эффект повышения потерь электроэнергии в системах электроснабжения (СЭС) производств, содержащих мощные полупроводниковые (тиристорные) регуляторы и асинхронные двигатели (АД). Актуальность данной проблемы трактуется достаточно широким применением полупроводниковых преобразовательных устройств на современных энергоемких предприятиях. По результатам энергетического аудита, наибольший эффект был отмечен на производствах деревообработки, в цехах механической и термической обработки металла, на предприятиях по выпуску полимерно-композитных материалов. Все отмеченные выше производства, как правило, содержали станки, прессы, печи, краны, вентиляторы, компрессоры с асинхронными электроприводами, а также полупроводниковые регуляторы мощности (тиристорные регуляторы для термоэлектрических нагревателей, управляемые выпрямители для гальванических ванн и т.п.). Было отмечено два характерных фактора:

– полупроводниковые регуляторы мощности в алгоритме коммутации тиристорных ключей использовали принцип частотно-импульсной модуляции (ЧИМ);

– питающие трансформаторы цеховых подстанций не имели достаточного запаса по мощности.

Проведенные в соответствии с пятилетним регламентом повторные замеры основных параметров энергопотребления указанных выше объектов предприятий показали недостаточную эффективность проведенных типовых энергосберегающих мероприятий.

Была поставлена задача определения причин локального повышения потерь в АД рассматриваемых промышленных объектов и эффективных путей их снижения.

Для ее решения применены метод системного анализа режимов функционирования конкретного силового оборудования (с учетом технологических требований) и его основных энергетических параметров, а также метод имитационного моделирования. Как показали исследования, вышеуказанное силовое оборудование рассматриваемых производств было выбрано правильно и работало в штатных технологических режимах. Таким образом, дополнительные потери могли возникнуть по причине несоблюдения норм качества электроснабжения. Однако такие показатели, как медленные изменения напряжения, несинусоидальность, несимметрия напряжения, соответствовали нормативным показателям [2]. В то же время присутствовал эффект периодического колебания напряжения, вызванный просадкой напряжения питания асинхронных двигателей при коммутации мощных потребителей (например, термоэлектрических нагревателей ТЭН). Для реализации технологических требований управления уровнем нагрева рассматриваемых ТЭН, использовались тиристорные регуляторы мощности (ТРМ), работающие на принципе ЧИМ: изменение количества периодов (обычно от одного до десяти) открытого состояния тиристорных ключей в фазах. Так как трансформаторы цеховых подстанций не имели большого запаса по мощности, то включение большой нагрузки один раз в каждые 10 периодов напряжения сопровождалось существенным (6–15%

для обследованных объектов) снижением напряжения питания на других потребителях (в том числе на АД) и последующим ростом дополнительных потерь электроэнергии [3–6]. Но подобный эффект по параметрам своей продолжительности и частоты ( $t = 0,01–0,09$  с;  $f = 5$  Гц), не подпадает под такие нормируемые показатели, как колебания напряжения, одиночные быстрые изменения напряжения и фликер [7].

Решения данной проблемы, как правило, находятся в двух направлениях:

- реализация более мощной цеховой СЭС или установка быстродействующих локальных устройств стабилизации уровня напряжения;

- реализация такого алгоритма работы ТРМ, при котором может быть существенно снижен уровень дополнительных потерь в АД.

Первое направление характерно для мирового промышленного опыта повышения уровня энергоэффективности, при условиях избыточности энергетических ресурсов и больших финансовых возможностях по закупке и установке дополнительного оборудования (либо силовых стабилизаторов, либо более мощного трансформаторного оборудования даже с учетом возможного роста сопутствующих потерь электроэнергии в режимах неполной загрузки трансформатора). Для отечественных производств такой путь трудно реализовать в условиях ограничения вышеуказанных ресурсов.

Поэтому для отечественных промышленных предприятий второе направление представляется более эффективным и менее затратным, так как касается изменений только системы управления типовых ТРМ. Для его реализации было предложено алгоритмическое решение.

Суть его заключается в плавном снижении электрической мощности, передаваемой на ТЭН. Этот эффект можно получить путем реализации частичного импульсно-фазового управления (ИФУ) (в тех случаях, когда вопрос электромагнитной совместимости, по уровню генерации высших гармонических, не критичен) [8–11]. Тем более, что многие ТРМ предусматривают работу с таким алгоритмом коммутации тиристорных ключей.

Для определения основных параметров алгоритма коммутации тиристорных ключей ТРМ и количественной оценки достигаемого при этом эффекта снижения потерь был применен метод имитационного моделирования в программной среде MatLab Simulink [12–15]. Базовые расчетные данные соответствуют обследованному предприятию обработки древесины, содержащему три столярных цеха, две сушильные камеры, склад готовой продукции.

От силового трансформатора ТМ-630/10 ( $U_{ВН} = 10$  кВ,  $U_{НН} = 0,4$  кВ; схема соединения  $\Delta/Y0$ ) питаются цеховые радиально-пылевой вентилятор ( $P = 45$  кВт), пилорама, кран-балка, станки (форматно-раскроечный, четырехсторонний станок, фуговальный, калибровально-шлифовальный станок, сверлильно-присадочный, фрезерный, кромкообли-

цовочный, шипорезный с суммарной асинхронной нагрузкой 50 кВт), две группы ТЭН (мощностью  $2 \times 260$  кВт) сушильных камер, уровень нагрева которых регулируется ТРМ типа REVO-M-2PH-500A.

В разработанной имитационной модели (функциональная схема представлена на рис. 1) реализованы и исследованы режимы работы асинхронной нагрузки (вентилятора и всех основных асинхронных цеховых двигателей, подключенных к низковольтному выходу питающего трансформатора и представленных эквивалентным АД) и регулируемых по мощности ТЭН сушильных камер.

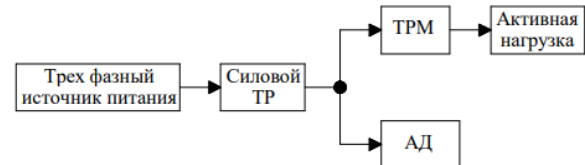


Рис. 1. Функциональная схема имитационной модели основных потребителей электроэнергии производственного объекта

Имитационная модель включает в себя трехфазный источник питания, силовой трансформатор фиксированной мощности, к которому подключена активная нагрузка, управляемая ТРМ, а также асинхронная нагрузка АД. В данной модели производится анализ потребляемой активной и реактивной мощности, напряжений, среднеквадратичных значений фазных токов и их гармонического состава с помощью блоков измерения параметров. Значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения ТДН определялось в процессе моделирования с помощью данных программного блока измерения гармонического состава Fast fourier transform.

В имитационной модели ТРМ реализована работа двух режимов коммутации тиристорных ключей: ЧИМ и ИФУ (рис. 2).

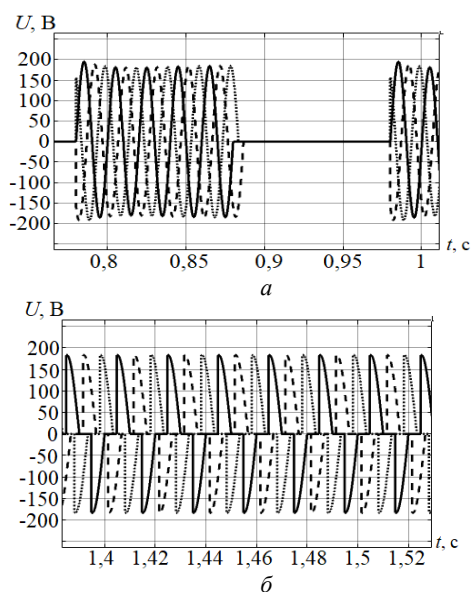


Рис. 2. Диаграммы фазных напряжений на ТЭН при алгоритме работы тиристорных ключей ЧИМ (а) и ИФУ (б), режим 50% нагрузки ТЭН

В рассматриваемых сушильных установках ТРМ работали только в режиме ЧИМ. Регулировалась скважность при тактовом периоде  $T = 0,02 \times 10 = 0,2$  с (10 интервалов). На рис. 3, для примера, рассмотрен режим 80% нагрузки ТЭН.

Из анализа графиков напряжения и тока (см. рис. 3) можно сделать вывод о возникновении переходных процессов в моменты включения и отключения тиристорных ключей ТРМ с периодичностью 0,2 с. При этом колебания уровня напряжения на входе АД имеют субгармоническую частоту  $f = 5$  Гц.

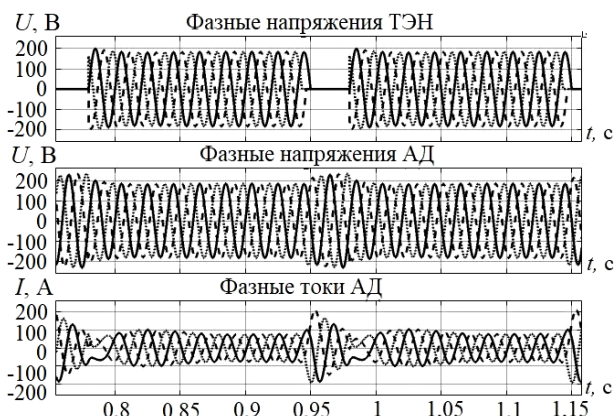


Рис. 3. Графики фазных напряжений и токов ТЭН и АД при работе ТРМ в режиме ЧИМ

Процесс включения ТЭН сопровождается падением уровня напряжения на АД на 10–15%, снижением скорости двигателя на 2–5%, что можно признать несущественным фактором для производительности асинхронных электроприводов.

Выключение тиристорными ключами ТРМ нагрузки приводит к существенному повышению напряжения и тока АД. Причем переходный процесс фазного тока АД имеет значительный показатель перерегулирования по амплитуде ( $I_{max} = 1,5–2,5 I_{nom}$ ). Это, по сути, пусковой режим длительностью в три, четыре периода, который сопровождается дополнительными потерями электроэнергии, перегревом и старением изоляции. И если значения последних двух факторов можно считать несущественными (учитывая уровень переходных токов и их длительность), то учет дополнительных потерь видится необходимым согласно исследованиям [16–19]. Проведенная на основании последних интегральная оценка значений фазных токов (а следовательно, и среднеквадратичные цикловые потери энергии при рассмотренных параметрах имитационной модели и технологического процесса сушки древесины) позволяет усредненно определить увеличение дополнительных потерь в двигателях на 15–23%.

Алгоритм снижения уровня дополнительных потерь в АД предполагает ступенчатое (в течение последних 2–4 периодов открытого состояния тиристорных ключей ТРМ) снижение электрической мощности, передаваемой на ТЭН. Такое снижение возможно реализовать с помощью модернизированной системы управления (СУ) ТРМ, используя

штатный режим ИФУ. На рис. 4 показана блок-схема СУ ТРМ.

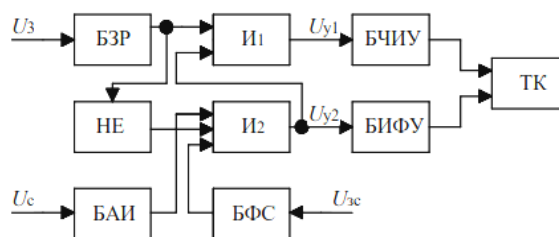


Рис. 4. Блок-схема СУ ТРМ

Регулирование мощности ТЭН производится в соответствии с уровнем сигнала задания  $U_3$  блоками БЗР (блок задания режима) и БЧИУ (блок частотно-импульсного управления). Реализация ступенчатого снижения мощности ТЭН каждые 10 периодов сетевого напряжения  $U_c$  осуществляется блоком БФС (блок формирования ступенчатости) в соответствии с заданием количества и углов управления ступеней  $U_{zc}$ , с учетом контроля уровня искажения напряжения посредством блока анализа искажений напряжения БАИ. Элементы логики  $I_1, I_2, НЕ$  обеспечивают невозможность одновременной работы тиристорных ключей ТК в режимах ЧИМ и ИФУ.

При этом предполагается задавать углы управления (моменты открытия ТК) с нарастающим уровнем (например, для трех последних периодов – 60, 110, 140°). Такой алгоритм приводит к плавному возрастанию напряжения на АД без существенного перерегулирования фазных токов (до  $I_{max} = 1,2–1,7 I_{nom}$ ) и, соответственно, снижению потерь в АД (до 8–12%), повышению надежности АД и времени его наработки на отказ (рис. 5).

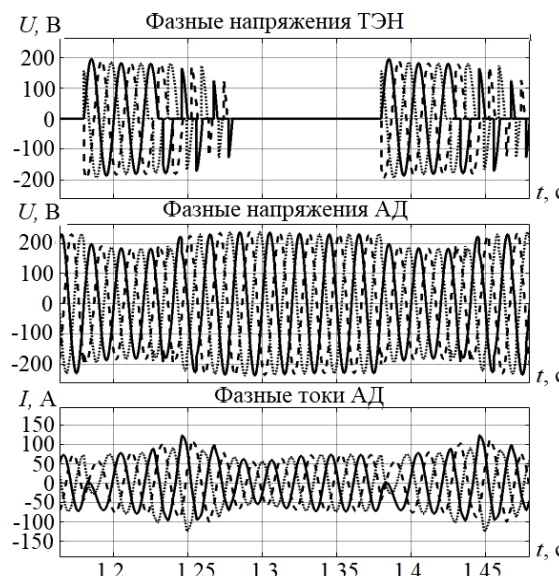


Рис. 5. Графики фазных напряжений и токов ТЭН и АД радиально-пылевого вентилятора при работе ТРМ в режиме снижения уровня переходных токов

Данный выбор углов регулирования трактовался обеспечением минимальных искажений формы напряжения. Он основан на анализе результатов



имитационного моделирования при вариации таких факторов, как количество интервалов сетевого напряжения в тактовом периоде  $T$ , количество интервалов ступенчатого снижения мощности, углы управления тиристорными ключами. Критерием оптимального варианта принимался минимальный уровень дополнительных потерь в АД при нормируемых значениях уровня искажений синусоидальности кривой напряжения питания АД ( $TDH \leq 8\%$ ) [2].

Для рассматриваемого промышленного предприятия (двухсменная работа предприятия со средним одноставочным тарифом  $C_3$ ) среднегодовую экономию электроэнергии можно определить по выражению

$$\Delta = K_{\Pi} \cdot C_3 \cdot P \cdot t = 320000 \text{ руб.},$$

где  $K_{\Pi}$  – коэффициент снижения потерь;  $P$  – установленная суммарная мощность асинхронных двигателей;  $C_3 = 5 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч}$  – региональная стоимость одного кВт·ч активной электроэнергии;  $t$  – время работы силового оборудования.

Следует отметить, что уровень снижения дополнительных потерь электроэнергии возрастает при реализации предложенного алгоритма с увеличенным количеством интервалов сетевого напряжения в тактовом периоде  $T$  (например, 20–50) и количестве интервалов ступенчатого снижения мощности (например, 5–10). Однако такое решение сопряжено с необходимостью полного перепрограммирования контроллеров системы управления тиристорными ключами ТРМ, что не всегда технически возможно.

#### Заключение

1. В результате энергетического обследования ряда производств, содержащих мощные тиристорные регуляторы для термоэлектрических нагревателей, управляемые выпрямители для гальванических ванн и асинхронные двигатели, определен эффект повышения потерь электроэнергии в случае, когда питающие трансформаторы цеховых подстанций не имели достаточного запаса по мощности.

2. Показано, что причиной повышения потерь электроэнергии являются существенные (6–15%) колебания напряжения питания на асинхронных двигателях с частотой  $f = 5 \text{ Гц}$ .

3. Предложено схмотехническое решение на основе дополнительной реализации импульсно-фазового алгоритма работы тиристорных регуляторов мощности.

4. Определено, что для рассмотренных промышленных объектов (питающий цеховой трансформатор  $S = 630 \text{ кВА}$ , асинхронная нагрузка  $P = 95 \text{ кВт}$ , электронагреватели  $P = 520 \text{ кВт}$ ) возможна экономия электроэнергии в асинхронных двигателях около 64 000 кВт·ч (в денежном эквиваленте около 320 000 руб.).

5. Результаты данного исследования могут быть востребованы при решении вопросов повышения энергоэффективности работы асинхронных электроприводов многих промышленных предприятий, имеющих параллельную динамическую (изменяю-

щуюся циклически) нагрузку, вызывающую существенные колебания напряжения.

#### Литература

1. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/), свободный (дата обращения: 08.12.2020).
2. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
3. Беляевский Р.В. Анализ влияния коэффициента загрузки асинхронных двигателей на потребление реактивной мощности // Вестник Кузбасского гос. тех. ун-та. – 2010. – № 6. – С. 66–69.
4. Hung N.T. Optimization of electric energy in three-phase induction motor by balancing of torque and flux dependent losses / N.T. Hung, N.C. Thien, T.P. Nguyen, V.S. Le, D.A. Tuan // Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences. – 2014. – P. 497–507. – doi: 10.1007/978-3-642-41968-3\_50
5. Sun D.S. Research on voltage-chopping and energy-saving controlling technology for three-phase AC asynchronous motor // Advanced Materials Research. – 2012. – Vol. 433–440. – P. 1033–1037. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.433-440.1033.
6. Приказ Минэнерго России от 23.06.2015 № 380 «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_183610/506efdf4eaaad34c0d082ce111d3da12fa893c1c/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_183610/506efdf4eaaad34c0d082ce111d3da12fa893c1c/), свободный (дата обращения: 08.12.2020).
7. ГОСТ 30804.3.11–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Колебания напряжения и фликер, вызываемые техническими средствами с потребляемым током не более 75 А (в одной фазе), подключаемые к низковольтным системам электроснабжения при определенных условиях. – М.: Стандартинформ, 2013. – 12 с.
8. Крысанов В.Н. Контроль параметров электромагнитной совместимости модернизированного оборудования автоклавной установки / В.Н. Крысанов, Ю.В. Нефедов, А.В. Романов // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2019. – Т. 15, № 2. – С. 77–81.
9. Wood J.R. Void control for polymer-matrix composites (1) theoretical and experimental evaluation of a diffusion model for the growth and collapse of gas bubbles / J.R. Wood, M.G. Bader // Compos. Manuf. – 1994. – Т. 5(3). – P. 149–158.
10. Крысанов В.Н. Исследование влияния несинусоидальности питающего напряжения на энергетические характеристики асинхронного двигателя / В.Н. Крысанов, А.Б. Кирилов // Научно-технический журнал «Электротехнические комплексы и системы управления». – Воронеж: Изд. дом «Кварта», 2014. – № 2. – С. 6–12.
11. Крысанов В.Н. Компьютерное моделирование трехфазных регулируемых асинхронных электроприводов при изменении питающего напряжения / В.Н. Крысанов, А.Б. Кирилов // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. – Воронеж: ВГТУ, 2014. – № 4. – С. 109–112.

12. Джендубаев А.Р. MATLAB, Simulink и SimPower-Systems в электроэнергетике / А.Р. Джендубаев, И.И. Алиев. – М.: Наука, 2015. – 210 с.
13. Терёхин В.Б. Моделирование электропривода в SIMULINK (MATLAB 7.0.1) / В.Б. Терёхин. – Томск: НИ ТПУ, 2010. – 110 с.
14. Atif Iqbal, Haitham Abu-Rub, Jaroslaw Guzinski. High performance control of AC drives with matlab // Simulink models. – Wiley. – 2018. – P. 502.
15. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. – СПб.: КОРОНА-принт, 2001. – 320 с.
16. Dogan M. Reduction of asynchronous motor loss by heuristic methods (PSO-GA) / M. Dogan, M. Dursun // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2012. – No. 1(117). – P. 53–58.
17. Ovcharov S. Ways to reduce energy consumption in mobile units / S. Ovcharov, A Vovk // Praci Tavria State Agro-technological University. – 2013. – No. 13 (4). – P. 21–26.
18. Svinkunas G. Simulation of frequency converters operation in industrial power net / G. Svinkunas, K. Medvedev // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, – 2012. – No. 1 (117). – P. 65–70.
19. Yeh C.C. Fault-tolerant soft starter control of induction motors with reduced transient torque pulsation / C.C. Yeh, N.A.O. Demerdash // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2009. – Vol. 24, Is. 4. – P. 848–859.

#### Хайченко Илья Александрович

Аспирант каф. электропривода, автоматизации и управления в технических системах (ЭАУТС)  
Воронежский государственный технический ун-т (ВГТУ)  
Московский пр-т, 14, г. Воронеж, Россия, 394026  
Тел.: +7-952-433-26-05  
Эл. почта: li740@yandex.ru

#### Бабенко Владимир Владимирович

Аспирант каф. ЭАУТС ВГТУ  
Московский пр-т, 14, г. Воронеж, Россия, 394026  
Тел.: +7-915-540-88-73  
Эл. почта: vova.babenko.94@mail.ru

#### Неведов Юрий Васильевич

Аспирант каф. ЭАУТС ВГТУ  
Московский пр-т, 14, г. Воронеж, Россия, 394026  
Тел.: +7-906-673-44-40  
Эл. почта: nefedowjuriy@yandex.ru

#### Ха Ань Ту

Аспирант каф. ЭАУТС ВГТУ  
Московский проспект, 14, г. Воронеж, Россия, 394026  
Тел.: +7-951-850-41-66  
Эл. почта: haanhtu2509ru@gmail.com

#### Khaychenko I.A., Babenko V.V., Nefedov Yu.V., Anh Tu Ha Algorithm for reducing additional losses in asynchronous electric drives in plants with static power regulators

The ways to reduce losses of electrical energy in power supply systems of industrial enterprises containing powerful semiconductor converters and asynchronous motors are considered. The source of additional electric power losses related to subharmonic nature of voltage fluctuations from operation of

converters using the principle of frequency-pulse control is determined. The operation algorithm for thyristor switches of semiconductor converters is proposed, that provides reduction of electric power losses in asynchronous motors connected in parallel with powerful converters. The voltage graphs and currents of simulation model in operation modes of converters show the potential to increase energy efficiency of operation of a wide range of industrial objects with asynchronous motors, connected in parallel and having cyclically changing load.

**Keywords:** power losses, asynchronous electric motor, semiconductor converter, control algorithm, thyristor keys, electromagnetic compatibility.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-93-98

#### References

1. Federal Law «On Energy Saving and on Improving Energy Efficiency, and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation» dated 23.11.2009 № 261-ФЗ. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/) (Accessed: December 08, 2020) (in Russ.).
2. GOST 32144-201. *Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya* [GOST 32144–2013. Electric power. The compatibility of technical means is electromagnetic. Standards of electric power supply in general-purpose power supply systems]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 16 p. (in Russ.).
3. Belyaevskii, R.V. Analysis of the effect of asynchronous engine load factor on reactive power consumption. *Vestnik Kuzbasskogo gos. tekhn. univ.*, 2010, no. 6, pp. 66–69 (in Russ.).
4. Hung, N.T., Thien N.C., Nguyen T.P., Le V.S., Tuan D.A. Optimization of Electric Energy in Three-Phase Induction Motor by Balancing of Torque and Flux Dependent Losses. Recent Advances, *Electrical Engineering and Related Sciences*, 2014, pp. 497–507. doi: 10.1007/978-3-642-419683\_50.
5. Sun D.S. Research on Voltage-Chopping and Energy-Saving Controlling Technology for Three-Phase AC Asynchronous Motor. *Advanced Materials Research*, 2012, no. 433–440, pp. 1033–1037. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.433-440.1033.
6. Order of the Ministry of Energy of Russia dated 23.06.2015 № 380 «On the Procedure for Calculating the Ratio of Consumption of Active and Reactive Power for Individual Energy Receiving Devices (Groups of Energy Receiving Devices) of Electric Energy Consumers». Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_183610/506efdf4eaaad34c0d082ce111d3da12fa893c1c/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_183610/506efdf4eaaad34c0d082ce111d3da12fa893c1c/) (Accessed: December 08, 2020) (in Russ.).
7. GOST 30804.3.11–2013. *Elektricheskaya energiya. Sovmesti-most' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Kolebaniya napryazheniya i fliker, vyzyvayemye tekhnicheskimi sredstvami s potrebyaemym tokom ne bolee 75 A (v odnoi faze), podklyuchaemye k nizkovol'nym sistemam elektrosnabzheniya pri opredelennykh usloviyakh* [GOST 30804.3.11–2013. Electric power. The compatibility of technical means is electromagnetic. Voltage fluctuations and flicker caused by technical media with a current consumption of not more than 75 A (in one phase), connected to low-voltage electric supply systems under certain conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 12 p. (in Russ.).
8. Krysanov V.N., Nefedov Yu.V., Romanov A.V. Monitoring of electromagnetic compatibility parameters of upgraded autoclave plant equipment. *Vestnik Voronezhskogo gos-*

darstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2019, vol. 15, no. 2, pp. 77–81 (in Russ.).

9. Wood J.R., Bader M.G. Void control for polymer-matrix composites (1) theoretical and experimental evaluation of a diffusion model for the growth and collapse of gas bubbles. *Compos. Manuf.*, 1994, vol. 5 (3), pp. 149–158.

10. Krysanov V.N., Kirilov A.B. Investigation of influence of supply voltage nonsinusoidity on energy characteristics of asynchronous motor. *Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya*, 2014, no. 2, pp. 6–12 (in Russ.).

11. Krysanov V.N., Kirilov A.B. Computer simulation of three-phase adjustable asynchronous electric drives at change of supply voltage. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 4, pp. 109–112 (in Russ.).

12. Dzhendubaev A.R., Aliev I.I. MATLAB, *Simulink i SimPowerSystems v elektroenergetike* [Simulink and SimPowerSystems in the Power Industry]. M., Nauka, 2015, 210 p. (in Russ.)

13. Terekhin V.B. *Modelirovanie elektrivoda v SIMULINK (MATLAB 7.0.1)* [Simulation of electric drive in SIMULINK (MATLAB 7.0.1)]. Tomsk, NITPU, 2010, 110 p. (in Russ.).

14. Atif Iqbal, Haitham Abu-Rub, Jaroslaw Guzinski. *High Performance Control of AC Drives with Matlab. Simulink models*, Wiley, 2018, 502 p.

15. German-Galkin, S.G. *Komp'yuternoe modelirovanie poluprovodnikovyykh sistem v MATLAB 6.0* [Computer modeling of semi-conductor systems in MATLAB 6.0]. St. Petersburg, KORONA print, 2001, 320 p. (in Russ.).

16. Dogan M., Dursun M. Reduction of Asynchronous Motor Loss by Heuristic Methods (PSO-GA). *Electronics and Electrical Engineering*, 2012, no. 1(117), pp. 53–58.

17. Ovcharov S., Vovk A. Ways to reduce energy consumption in mobile units. *Praci Tavria State Agro-technological University*, 2013, no. 13 (4), pp. 21–26.

18. Svinkunas G., Medvedev K. Simulation of Frequency Converters Operation in Industrial Power Net. *Electronics and Electrical Engineering*, 2012, no. 1(117), pp. 65–70.

19. Yeh C.C., Demerdash N.A.O. Fault-Tolerant Soft Starter Control of Induction Motors with Reduced Transient Torque Pulsation. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2009, vol. 24. no. 4, pp. 848–859.

---

#### Ilya A. Khaychenko

Postgraduate Student, Department of Electric Drive, Automation and Control in Technical Systems  
Voronezh State Technical University  
14, Moskovskiy pr., Voronezh, Russia, 394026  
Phone: +7-952-433-26-05  
Email: li740@yandex.ru

#### Vladimir V. Babenko

Postgraduate Student, Department of Electric Drive, Automation and Control in Technical Systems  
Voronezh State Technical University  
14, Moskovskiy pr., Voronezh, Russia, 394026  
Phone: +7-915-540-88-73  
Email: vova.babenko.94@mail.ru

#### Yurij V. Nefedov

Postgraduate Student, Department of Electric Drive, Automation and Control in Technical Systems  
Voronezh State Technical University  
14, Moskovskiy pr., Voronezh, Russia, 394026  
Phone: +7-906-673-44-40  
Email: nefedowjurij@yandex.ru

#### Anh Tu Ha

Postgraduate Student, Department of Electric Drive, Automation and Control in Technical Systems  
Voronezh State Technical University  
14, Moskovskiy pr., Voronezh, Russia, 394026  
Phone: +7-951-850-41-66  
Email: haanhtu2509ru@gmail.com

УДК 621.314

Ю.А. Шурыгин, Т.Н. Зайченко, А.В. Аристов

## Время-импульсный способ управления однофазным полумостовым инвертором при формировании тока нагрузки гармонической формы

Рассмотрены способы формирования тока гармонической формы в преобразователях постоянного тока в переменный. Предлагается время-импульсный способ управления ключами полумостового инвертора при формировании тока нагрузки гармонической формы в широком диапазоне регулирования амплитуды и частоты выходного тока.

**Ключевые слова:** инвертор, управление, формирование формы тока, гармоническая форма.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-99-102

При реализации различных технологических процессов требуется обеспечение определенного закона изменения тока нагрузки. При этом регулирование должно осуществляться при высоких энергетических показателях. В ряде случаев, например в системах электропривода, форма тока должна быть гармонической, причем ток может меняться в широком диапазоне как по величине, так и по частоте. В настоящей работе рассматривается способ формирования тока гармонической формы для однофазных потребителей.

### Способы получения тока гармонической формы

Синусоидальность формы выходного тока может быть получена с помощью инверторов, которые по характеристике электромагнитных процессов могут быть разделены на инверторы тока, резонансные инверторы и инверторы напряжения.

В инверторе тока, как правило, установлены дроссель в цепи постоянного тока для обеспечения близкой к синусоидальной форме выходного тока и конденсаторы в цепи переменного тока для обмена энергией между инвертором и нагрузкой. Причем конденсаторы могут быть включены последовательно, параллельно или параллельно-последовательно нагрузке [1]. Для инверторов тока характерно: запирающие вентиля за счет отпирающего очередного (одноступенчатая коммутация) или вспомогательного (двухступенчатая коммутация) вентиля; наличие на стороне переменного тока конденсаторов, которые необходимы для коммутации вентиля и обмена энергией между инвертором и нагрузкой; непрерывный и неизменный входной ток, что обеспечивается дросселем в цепи постоянного тока.

Достоинством инверторов тока являются: близкая к синусоиде форма выходного напряжения, малые пульсации входного тока. К недостаткам относятся: мягкая внешняя характеристика; неспособность на холостом ходу, обусловленная затрудненным перезарядом конденсатора, возможность «опрокидывания» инвертора при перегрузках, довольно низкие массогабаритные показатели, так как преобразование осуществляется на низкой частоте выходного напряжения.

Для резонансных инверторов характерно запирающие вентиля за счет спада анодного тока, имеющего колебательный характер, благодаря резонансным свойствам цепи. Наличие в инверторе специально введенных накопителей энергии – конденсаторов и дросселей, образующих колебательный LC-контур с резонансом напряжения, в который входят и вентиля, обеспечивает спад к нулю их анодного тока через полпериода собственной частоты контура после их отпирающего. Также для резонансных инверторов характерно превышение собственной частоты LC-контура над рабочей частотой инвертора или в предельном случае – равенство этих частот.

Достоинствами резонансных инверторов являются: близкое к синусоидальной форме напряжение и ток в нагрузке; плавное нарастание и спад тока через вентиля, что предопределяет малые коммутационные потери мощности, в связи с чем целесообразно использование этих инверторов на повышенных частотах. К недостаткам относятся: зависимость величины и формы тока и напряжения от параметров контура коммутации, включая цепь нагрузки; увеличение напряжения на вентилях и элементах контура коммутации с возрастанием тока нагрузки; срыв инвертирования на холостом ходу [1].

На практике существует множество способов управления динамическими свойствами преобразователей. Так, схема силовой части преобразователя с инвертором тока состоит из дросселя и встречно-параллельных тиристоров [1]. В этой схеме для получения выходного напряжения, близкого к синусоидальному, и малых пульсаций потребляемого тока инвертор синхронизируется от выходного напряжения, а тиристоры – от задающего генератора. К недостаткам следует отнести плохие пусковые характеристики, приводящие в ряде случаев к «опрокидыванию» инвертора, и необходимость в специальной пусковой схеме.

При амплитудно-импульсной модуляции на выходе формируется ступенчатая форма, приближающаяся к синусоидальной форме выходного напряжения путем суммирования прямоугольных напряжений одинаковой частоты, различной частоты или скважности либо переключением вторичных обмо-

ток. Для получения ступенчатого напряжения вводится транзисторный демодулятор. Эти схемы ведут к увеличению количества ступеней, что ведет к усложнению схемы силовой части и схемы управления этого устройства. Надежность устройства, в конечном счете, снижается [1].

В этой связи актуальной является задача обеспечения требуемого оптимального коэффициента искажения синусоидальности выходного напряжения путем формирования синусоидальной формы выходного тока в широком диапазоне изменения амплитуды и частоты выходного тока. Решить поставленную задачу возможно путем обеспечения время-импульсной модуляции длительности импульсов выходного тока инвертора путем введения сигнала обратной связи пропорционально формируемому амплитудному значению синусоидального выходного тока и воздействия с помощью управляющих сигналов на силовые транзисторы инвертора.

В работе [2] приведены результаты исследования электромагнитных процессов в автономном инверторе напряжения с принудительным формированием синусоидальной формы тока. Получены выражения, позволяющие определить частоту коммутации ключей инвертора, установившееся и переходное значения тока при активно-индуктивной нагрузке. В настоящей работе представлена практическая реализация предложенного способа формирования тока для однофазного инвертора.

#### Однофазный полумостовой инвертор с время-импульсным управлением ключами

На рис. 1 представлена схема полумостового инвертора, выполненного на IGBT-транзисторах VT1, VT2 с обратными диодами VD1, VD2 и конденсаторами C1, C2. Выход инвертора соединен с нагрузкой  $Z_n$  через индуктивность L. Для измерения тока используются две пары трансформаторов тока T1, T2 и T3, T4. Первичные обмотки первой пары трансформаторов включены в цепи эмиттеров транзисторов, а первичные обмотки второй пары трансформаторов тока включены в цепи анодов обратных диодов.

Система управления включает следующие элементы: эталонный кварцевый генератор Г, устройство синхронизации УС, устройство формирования эталонного сигнала, сравнивающее устройство и широтно-импульсное устройство ШИУ. Сравнивающее устройство состоит из двух компараторов К1 и К2, устройство формирования эталонного сигнала состоит из двух формирователей эталонных сигналов синусоидальной формы тока Ф1 и Ф2.

Одни концы вторичных обмоток в каждой паре трансформаторов T1, T2 и T3, T4 соединены последовательно, а вторые концы указанных обмоток объединены и подключены к инверсным входам соответствующих компараторов. Прямые входы указанных компараторов соединены с выходами соответствующих формирователей эталонных сигналов синусоидальной формы.

Один из формирователей эталонных сигналов синусоидальной формы является формирователем эталонных сигналов синусоидальной формы тока  $i_{\max}(t) = I_m \sin(\omega t) + 0,5\Delta I$ , а второй – формирователем эталонных сигналов синусоидальной формы тока  $i_{\min}(t) = I_m \sin(\omega t) - 0,5\Delta I$ , где  $I_m$  – амплитуда синусоидального тока на выходе инвертора;  $\omega$  – угловая частота;  $t$  – время;  $\Delta I$  – отклонения воспроизведения синусоидальной формы выходного тока.

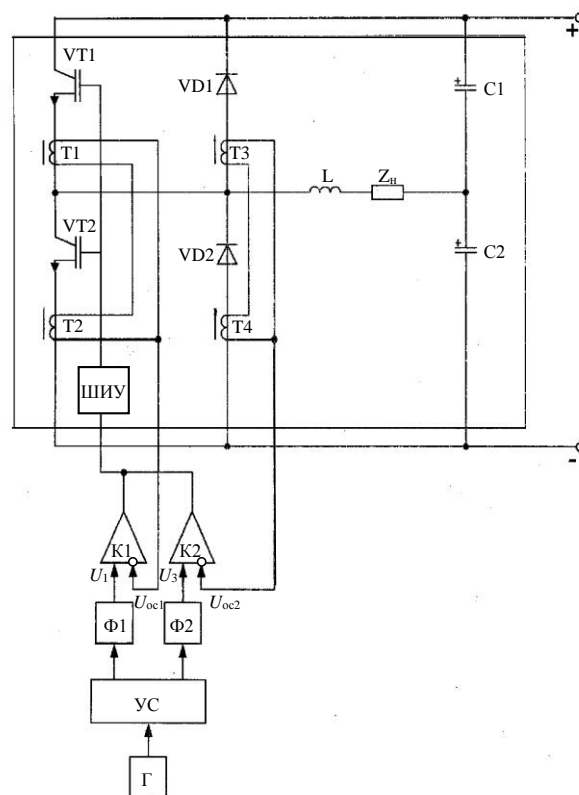


Рис. 1. Полумостовой инвертор со схемой управления

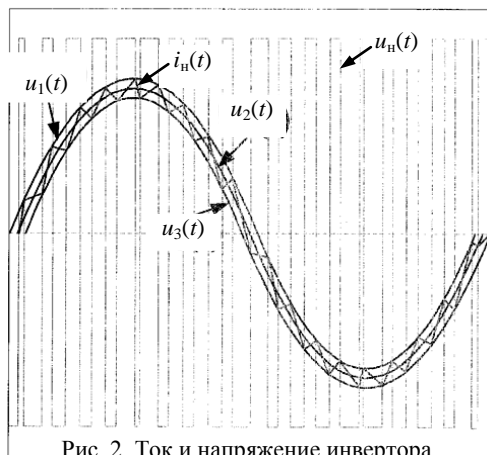
В режиме формирования синусоидальной формы выходного тока инвертор работает следующим образом.

Ток на выходе инвертора колеблется между двумя заданными синусоидами: верхней  $i_{\max}(t)$  и нижней  $i_{\min}(t)$ , соответствующими выходному напряжению  $u_m(t)$ , проходя через ноль в моменты  $\omega t = 0$  и  $\omega t = \pi$ .

На рис. 2 показана синусоидальная форма выходного напряжения за один период. Здесь  $u_1(t)$ ,  $u_3(t)$  – выходное напряжение, соответствующее эталонным сигналам выходного тока  $i_{\max}(t)$ ,  $i_{\min}(t)$ ,  $i_3(t) = I_m \sin(\omega t)$ ;  $u_5(t)$  – оптимальный вариант синусоидальной формы выходного напряжения, соответствующий эталонному сигналу выходного тока  $i(t) = I_m \sin(\omega t)$ .

На неинвертирующий вход компаратора К1 подается сигнал  $U_1$ , пропорциональный эталонному сигналу выходного напряжения  $u_1(t)$ , соответствующий

ющий выходному току  $i_{\max}(t)$ . На инвертирующий вход К1 поступает сигнал обратной связи  $U_{oc1}$  с вторичных обмоток трансформаторов Т1, Т2. Сигнал обратной связи  $U_{oc1}$  пропорционален мгновенному значению активной составляющей тока, поступающей с датчика нарастания тока.



На неинвертирующий вход компаратора К2 подается сигнал  $U_2$ , пропорциональный эталонному сигналу выходного напряжения  $u_3(t)$ , соответствующий выходному току  $i_{\min}(t)$ . На инвертирующий вход К2 поступает сигнал обратной связи  $U_{oc2}$  с вторичных обмоток трансформаторов Т3, Т4. Сигнал обратной связи  $U_{oc2}$  пропорционален реактивной составляющей тока нагрузки (спаду тока).

При подаче постоянного напряжения происходит заряд конденсаторов С1, С2, запуск эталонного кварцевого генератора Г и устройства синхронизации УС. При подаче импульсов управления на базу транзистора VT1 происходит включение этого транзистора и разряд конденсатора С1 по цепи:  $+C1 - VT1 - L - Z_n - -C1$ . Ток возрастает в цепи эмиттера транзистора VT1, и напряжение, трансформированное с вторичной обмотки трансформатора Т1, подается на инверсный вход компаратора К1, на прямой вход которого подается эталонный сигнал синусоидальной формы  $i_{\max}(t)$ .

При достижении на инверсном входе сигнала величины эталонного сигнала происходит «опрокидывание» компаратора К1. Компаратор К1 выключается и через широтно-импульсное устройство ШИУ на базу транзистора VT1 подается запирающий сигнал. Транзистор VT1 выключается, а ток в нагрузке в силу индуктивного характера нагрузки  $Z_n$  и индуктивности L продолжает протекать по цепи:  $-C2 - VD2 - L - Z_n - +C2$ . Напряжение на нагрузке меняет знак, а ток уменьшается по величине. При достижении напряжением на инверсном входе компаратора К2 величины, соответствующей эталонному сигналу, срабатывает компаратор К2, и сигнал через широтно-импульсное устройство ШИУ подается на включение транзистора VT1. При включении транзистора VT1 ток через него начинает возрастать, и картина процессов повторяется. При переходе тока через 0 в моменты, когда  $\omega t = 0$  и  $\omega t = \pi$ , устрой-

ством синхронизации УС меняется направление управляющих сигналов: вместо транзистора VT1 управляющий сигнал подается на транзистор VT2, и происходит формирование отрицательной полуволны выходного тока. Так, при включении транзистора VT2 происходит разряд конденсатора С2 по цепи:  $+C2 - Z_n - L - VT2 - -C2$ . При этом формируется отрицательная полуволна выходного тока и соответственно отрицательная полуволна напряжения на нагрузке. При выключении транзистора VT2 ток в нагрузке продолжает протекать в том же направлении, уменьшаясь по величине, по цепи:  $+L - VD3 - C1 - Z_n - -L$ . Напряжение на нагрузке меняет свой знак, как показано на рис. 2. Следует отметить, что при индуктивном характере нагрузки  $Z_n$  исчезает необходимость в наличии индуктивности L.

Как следует из принципа работы, частота воспроизведенного выходного напряжения определяется частотой коммутации силовых транзисторов, которая, в свою очередь, зависит от величины индуктивности в цепи нагрузки, погрешности воспроизведения формы выходного напряжения, величины управляющего сигнала. Таким образом, устройство позволяет обеспечить синусоидальную форму выходного тока в широком диапазоне регулирования амплитуды и частоты выходного тока.

#### Сравнительный анализ с аналогом

Наиболее близким техническим решением к предлагаемой схеме является схема основного инвертора с системой управления, применяющаяся в источниках бесперебойного электропитания с дельта-преобразованием фирмы APC Silcon (схема управляющих контуров 12.2 [4]). Система управления также включает последовательно соединенные эталонный кварцевый генератор, устройство синхронизации, устройство формирования эталонного сигнала, сравнивающее устройство и широтно-импульсное устройство, управляющее транзисторами. В данном инверторе обеспечивается на выходе регулируемое выходное напряжение, причем чистой синусоиды, и единичный выходной коэффициент мощности. К недостаткам устройства следует отнести постоянство частоты коммутации силовых транзисторов на выходе инвертора, ведущее к изменению гармонического состава, и изменение коэффициента искажения синусоидальности выходного напряжения при грубом регулировании амплитуды и частоты выходного напряжения.

Устройство, предлагаемое в настоящей работе, отличается схемой управления: дополнительно содержит две пары трансформаторов тока Т1, Т2 и Т3, Т4, сравнивающее устройство выполнено из двух компараторов, устройство формирования эталонного сигнала состоит из двух формирователей эталонных сигналов синусоидальной формы тока.

#### Литература

1. Королев С.И. Проектирование устройств электропитания средств вычислительной техники / С.И. Королев, Г.И. Цветков, Ю.А. Шурыгин. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. – 206 с.

2. Шурыгин Ю.А. Инвертор напряжения с принудительным формированием заданной формы тока / Ю.А. Шурыгин, Ю.А. Шиняков // Доклады ТУСУР. – 2011. – № 2 (24), ч. 1. – С. 310–313.

3. Пат. на полезную модель 92578 РФ, МПК Н 02 J 3/01, H02M. Устройство для формирования синусоидальной формы выходного тока / Ю.А. Шурыгин (РФ). – № 2009113759/22; заявл. 13.04.2009 г.; опубл. 20.03.2010 г., Бюл. № 8. – 3 с.

4. Технология дельта-преобразования APC Silicon. – URL: [www.mt.-810.narod.ru/telecom.html](http://www.mt.-810.narod.ru/telecom.html) (дата обращения: 01.09.2020).

#### Шурыгин Юрий Алексеевич

Д-р техн. наук, профессор каф. компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (383-2) 51-05-30  
Эл. почта: [office@tusur.ru](mailto:office@tusur.ru)

#### Зайченко Татьяна Николаевна

Д-р техн. наук, профессор каф. КСУП ТУСУРа Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 41-47-17  
Эл. почта: [ztntomsk@rambler.ru](mailto:ztntomsk@rambler.ru)

#### Аристов Анатолий Владимирович

Д-р техн. наук, профессор отделения электроэнергетики и электротехники Национального исследовательского Томского политехнического ун-та (НИ ТПУ) Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7-913-850-16-27  
Эл. почта: [parist@sibmail.com](mailto:parist@sibmail.com)

Shurygin Yu.A., Zaichenko T.N., Aristov A.V.

#### Time-pulse method of single-phase half-bridge inverter control in formation of the harmonic load current

The paper discusses the methods for harmonic current formation in DC to AC converters. The authors propose a time-pulse method for control of switches in a half-bridge inverter for formation of the harmonic load current in a wide range of amplitude and output current frequency adjustment.

**Keywords:** inverter, control, current waveform formation, harmonic form.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-4-99-102

#### References

1. Korolyov S.I., Tsvetkov G.I., Shurygin Yu.A. *Proektirovaniye ustroystv elektropitaniya sredstv vychislitelnoy tekhniki* [Design of power supply devices for computer equipment]. Tomsk, Tomsk Univ. Publ., 1990, 206 p. (in Russ.)

2. Shurygin Yu.A., Shinyakov Yu.A. Invertor napryazheniya s prinuditelnym formirovaniyev zadannoy formy toka [Voltage inverter with forced formation of a specific current waveform]. *Proceedings of TUSUR University*, 2011, no. 2 (24), vol. 1, pp. 310–313 (in Russ.)

3. Korolyov S.I., Shurygin Yu.A., Ilchenko V.P., Kotov A.A., Korolyov E.S. *Ustroystvo dlya formirovaniya sinusoidalnoy formy vykhodnogo toka* [Device for sinusoidal waveform of current output]. Patent RF, no. 2009113759/22; 2009.

4. Tekhnologiya delta-preobrazovaniya APC Silicon [APC Silicon delta conversion technology]. Available at: [www.mt.-810.narod.ru/telecom.html](http://www.mt.-810.narod.ru/telecom.html) (Accessed: September 1, 2020) (in Russ.)

#### Yury A. Shurygin

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department of Computer Control and Design Systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR) 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 51-05-30  
Email: [office@tusur.ru](mailto:office@tusur.ru)

#### Tatyana N. Zaichenko

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Computer Control and Design Systems TUSUR 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 41-47-17  
Email: [ztntomsk@rambler.ru](mailto:ztntomsk@rambler.ru)

#### Anatoliy V. Aristov

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Division for Power and Electrical Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (NI TPU) 30, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7-913-850-16-27  
Email: [parist@sibmail.com](mailto:parist@sibmail.com)

# Требования к подготовке рукописей статей,

представляемых для публикации в журнале

«Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники»

1. Электронный вариант статьи должен быть представлен в виде файла, названного по-русски фамилией первого автора, на дискете или диске в формате Word 2003–2016. Предпочтительнее представить его по электронной почте.

2. Оригинал на бумажном носителе должен полностью соответствовать электронному варианту.

3. Статья должна иметь (в порядке следования): УДК; И.О. Фамилии авторов; заглавие; аннотация (не реферат); ключевые слова; основной текст статьи; список библиографий под подзаголовком «Литература»; сведения об авторах; далее на английском языке: Фамилии авторов И.О., заглавие статьи, аннотацию, ключевые слова. Сведения об авторах включают в себя фамилию, имя, отчество, ученую степень, ученое звание, должность, место работы, телефон, электронный адрес.

4. Текст статьи должен быть размещен в две колонки без принудительных переносов через один интервал шрифтом Times New Roman 10 кегля на одной стороне листа белой писчей бумаги формата А4, без помарок и вставок. Для облегчения форматирования прилагается **шаблон статьи**, который размещен на сайте: [journal.tusur.ru](http://journal.tusur.ru). Размер статьи со всеми атрибутами должен быть, как правило, не более пяти страниц.

5. Одни и те же символы в тексте, формулах, таблицах и рисунках должны быть единообразными по написанию. Русские буквы и греческие символы набираются прямым шрифтом, а переменные, обозначенные латинскими – курсивом, кроме слов, их сокращений, имен функций, программ, фирм и химических формул.

6. Формулы должны быть набраны в формульном редакторе (MathType) программы Word. Русские буквы, греческие символы, математические знаки (+, –, ×, ∈, =, скобки, ...) и цифры всегда набираются прямым не жирным шрифтом, а переменные (и кривые на графиках), обозначенные латинскими буквами или цифрами – курсивом, кроме англ. слов, их сокращений, имен функций, программ, фирм и химических формул (const, input;  $\sin x(t_1)$ ;  $U_{in}$ ;  $I_{вх}$ ;  $T_z$ ;  $\beta_2$ ;  $H_2O$ , Adobe Acrobat, Cisco и т.д.); векторные величины – жирным, прямо (не курсив) –  $A_1$ ,  $M(f)$ ,  $\beta_x$ . Шаблоны для набора формул необходимо взять на сайте из шаблона статьи.

7. Все употребляемые обозначения и сокращения должны быть пояснены.

8. Единицы измерения физических величин должны соответствовать Международной системе единиц (СИ) и написаны по-русски через пробел (х, ГГц; 20 ГГц;  $T$ , град;  $7^\circ C$ ). Десятичные числа пишутся через запятую (не точку).

9. Таблицы и рисунки должны иметь тематические заголовки (не повторяющие фразы-ссылки на них в тексте). (Рис. 1. Название рисунка; Таблица 1.

Название таблицы). Большие блоки расшифровки условных обозначений лучше приводить в тексте. Подписи и надписи на рис. – Times New Roman, 9 пт (после масштабирования), не жирным, не курсивом, переменные – так же как и в тексте. На все рисунки и таблицы должны быть ссылки в тексте (... на рис. 3, ... в табл. 2).

10. Рисунки и фотографии должны быть **черно-белыми**, четкими, контрастными, аккуратными, сгруппированными. Графики – не жирно, сетка – четко. Единицы измерения – на русском. Десятичная запятая (не точка). Рисунки могут быть выполнены в программах CorelDraw, Illustrator, Word, Visio и должны давать возможность внесения исправлений.

11. Иллюстрации, должны быть разрешением не менее 600 dpi. Масштаб изображения – 8 или 16,7 см по ширине (при условии читаемости всех надписей, выполненных шрифтом Times New Roman, после масштабирования – 9 кегль).

12. На все источники, указанные в списке литературы, должны быть ссылки по тексту (нумерация в порядке упоминания, например, [1, 2], [5–7]). Описание источников должно соответствовать ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008 и содержать всю необходимую для идентификации источника информацию, а именно: *для неперiodических изданий* – фамилию и инициалы автора, полное название работы, место издания, название издательства, год издания, количество страниц; *для периодических изданий* – фамилию, инициалы автора, полное название работы, название журнала, год выпуска, том, номер, номера страниц (см. примеры оформления библиографий).

Бумажный вариант рукописи статьи должен быть подписан авторами и (для сторонних авторов) иметь сопроводительное письмо на бланке организации.

Плата за публикацию рукописей не взимается.

Материальные претензии авторов, связанные с распространением материалов их статей после опубликования, не принимаются.

Авторы несут полную ответственность за содержание статей и за последствия, связанные с их публикацией.

## Контактная информация

Адрес: 634050, Томск, пр. Ленина, 40.

Эл. почта: [vnmas@tusur.ru](mailto:vnmas@tusur.ru). Тел.: +7 (382-2) 51-21-21





