

ISSN 2712-9942

УСПЕХИ КИБЕРНЕТИКИ

RUSSIAN JOURNAL OF CYBERNETICS

Выпуск посвящён 10-летию Сургутского филиала
Федерального государственного учреждения
«Федеральный научный центр
Научно-исследовательский институт системных
исследований Российской академии наук»

* * *

Dedicated to 10th Anniversary of the Surgut
Branch of Federal State Institute
“Scientific Research Institute for System
Analysis of the Russian Academy of Sciences”

2023
T. 4 № 2

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СИСТЕМНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»**

Успехи кибернетики

Russian Journal of Cybernetics

**Том 4
№ 2**

**Vol. 4
No. 2**

Москва
2023

Учредитель и издатель

Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр
Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»
(ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН)

«Успехи кибернетики» — это рецензируемый научный журнал, в котором публикуются научные статьи по следующим специальностям (физико-математические, технические науки):

- 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ;
- 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств;
- 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации.

Миссия журнала — развитие научных направлений по заявленной тематике в России и за рубежом, соответствующих приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, а также перечню критических технологий РФ.

Журнал ориентирован на пропаганду передовых идей в области физики, математики, технических наук, участие в реализации задач, сформулированных Президентом РФ в Указе от 01.12.2016 № 642, по научно-технологическому развитию РФ, а также импортозамещению по приоритетным направлениям стратегического развития страны, соответствующим тематике журнала, обеспечение печатными площадями высококвалифицированных кадров, повышение качества диссертационных исследований в данных отраслях путем развития механизма профессионального и общественного обсуждения их научных результатов, воспитание молодого поколения ученых.

Журнал принимает к публикации оригинальные статьи; переводы статей, опубликованных в зарубежных журналах (при согласии правообладателя на перевод и публикацию); обзоры; эссе; комментарии; другие информационные материалы.

Издание будет полезно ученым, работающим в соответствующих областях наук, а также аспирантам и студентам.

Главный редактор

Бетелин Владимир Борисович, академик РАН, д. ф.-м. н., профессор, научный руководитель, ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва

Заместитель главного редактора

Галкин Валерий Алексеевич, д. ф.-м. н., профессор, директор, Сургутский филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Сургут

Члены редакционной коллегии

Власов Сергей Евгеньевич, д. т. н., директор, ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва

Панченко Владислав Яковлевич, академик РАН, д. ф.-м. н., профессор, председатель Совета, Российский фонд фундаментальных исследований; заведующий кафедрой медицинской

физики, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

Савин Геннадий Иванович, академик РАН, д. ф.-м. н., профессор, научный руководитель, Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН — филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва

Соифер Виктор Александрович, академик РАН, д. т. н., профессор, президент, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории автоматизированных систем научных исследований, Самарский национальный исследовательский университет им. С. П. Королева, Институт систем обработки изображений РАН, Самара

Чубариков Владимир Николаевич, д. ф.-м. н., профессор, заведующий кафедрой математических и компьютерных методов анализа,

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

Чаплыгин Юрий Александрович, академик РАН, д. т. н., профессор, президент, Московский институт электронной техники, Москва

Петров Игорь Борисович, член-корреспондент РАН, д. ф.-м. н., профессор, заведующий кафедрой информатики, Московский физико-технический институт, Москва

Смирнов Николай Николаевич, д. ф.-м. н., профессор, заместитель декана механико-математического факультета, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, заместитель директора по стратегическим информационным технологиям, ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва

Тишкин Владимир Федорович, член-корреспондент РАН, д. ф.-м. н., профессор, профессор кафедры вычислительных методов,

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

Губайдуллин Амир Анварович, д. ф.-м. н., профессор, директор, Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения РАН, Тюмень

Яковлевский Михаил Владимирович, член-корреспондент РАН, д. ф.-м. н., профессор, заместитель директора по научной работе, Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, Москва

Шагалиев Рашид Мирзагалиевич, д. ф.-м. н.

Старков Сергей Олегович, д. ф.-м. н., профессор, начальник отделения интеллектуальных кибернетических систем, Обнинский институт атомной энергетики, Обнинск

Еськов Валерий Матвеевич, д. ф.-м. н., д. б. н., профессор, заведующий отделом, Сургутский филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Сургут

Лаврентьев Михаил Михайлович, д. ф.-м. н., профессор, заместитель директора по научной работе, Институт автоматизации и электротехники Сибирского отделения РАН, Новосибирск

Пятков Сергей Григорьевич, д. ф.-м. н., профессор, заведующий кафедрой высшей математики, Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск

Ильин Валерий Павлович, д. ф.-м. н., профессор, профессор кафедры прикладной математики, Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

Крыжановский Борис Владимирович, член-корреспондент РАН, д. ф.-м. н., руководитель, Центр оптико-нейронных технологий ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва

Нагорнов Олег Викторович, д. ф.-м. н., профессор, первый проректор, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

Савченко Владимир Васильевич, PhD (Theoretical Mechanics), Университет Хосэй, Токио, Япония

Земло Ясунари, PhD (Physics), Университет Хосэй, Токио, Япония

Пападопулос Атанас, Doctorat d'Etat (Habilitation), mathematics, Университет Страсбурга, Национальный центр научных исследований Франции, Страсбург, Франция

Ответственный секретарь

Гавриленко Тарас Владимирович, к. т. н.

Ответственный редактор

Чалова Анна Петровна, к. филол. н.

Технический редактор

Моргун Дмитрий Алексеевич, к. ф.-м. н., доцент

Переводчик

Троицкий Дмитрий Игоревич, к. т. н., доцент

Художественное оформление обложки

© Горбунов Александр Сергеевич

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77-78857 от 04.08.2020.

Решением Высшей аттестационной комиссии с 27 июня 2022 года журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Издается с 2020 года. Выпускается 4 раза в год.

Адрес редакции:

ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, 117218, г. Москва, Нахимовский просп., дом 36, корпус 1.

Телефон: +7 9226-54-57-88, факс: +7 (495) 719-76-81, e-mail: taras.gavrilenko@gmail.com. Сайт: jcyb.ru.

Founder and Publisher
Federal State Institution

Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences (SRISA)

Russian Journal of Cybernetics is peer-reviewed.

The journal publishes papers on physics, mathematics, and engineering. The key areas of interest are:

- simulation, numerical methods, and simulation software
- electronic components for micro- and nanoelectronics, and quantum devices
- system analysis, control, and information processing.

Our mission is advancing these research areas in Russia and globally, supporting the national priority fields of research and development, and the critical technologies.

The Journal promotes advanced concepts in physics, mathematics, engineering, and facilitates the national research and technology development under the Russian President Decree No. 642 dated 01.12.2016, and phasing out strategic imports. We offer an opportunity for professional researchers to publish. We improve the doctorate research quality through public peer review and educate the new generation of researchers.

The Journal accepts original papers; translations of papers from international journals (consent of the right holders for the translation and publication is required); reviews; essays; remarks, and event reports.

The Journal is intended for researchers, university, and doctorate students.

Chief Editor

Prof. *Vladimir B. Betelin*, member of the Russian Academy of Sciences (RAS),
Doctor of Science (Phys&Math), Academic Director, SRISA, Moscow

Vice Chief Editor

Prof. *Valery A. Galkin*, Doctor of Science (Phys&Math), Director, SRISA, Surgut Branch, Surgut

Editorial Board

- Prof. *Sergey E. Vlasov*, Doctor of Science (Engineering), Director, SRISA, Moscow
- Prof. *Vladislav Ya. Panchenko*, member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Doctor of Science (Phys&Math), Chairman of the Council, Russian Foundation for Basic Research, Chairperson of the Department of Medical Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow
- Prof. *Gennady I. Savin*, member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Doctor of Science (Phys&Math),
Academic Director, Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences, SRISA subdivision, Moscow
- Prof. *Viktor A. Soifer*, member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Doctor of Science (Engineering), President, Chief Researcher Lab for Automated Research Systems, Korolev Samara National Research University, Academic Director, Institute of Image Processing Systems, RAS, Samara
- Prof. *Vladimir N. Chubarikov*, Doctor of Science (Phys&Math), Chairperson, Department of Mathematical and Computer Analysis Methods, Lomonosov Moscow State University, Moscow
- Prof. *Yuri A. Chaplygin*, member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Doctor of Science (Engineering), President, National Research University of Electronic Technology, Moscow
- Prof. *Igor B. Petrov*, corresponding member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Doctor of Science (Phys&Math), Chairperson, Department of Informatics,
Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow
- Prof. *Nikolay N. Smirnov*, Doctor of Science (Phys&Math), Deputy Dean, Faculty of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University, Deputy Director for Strategic Information Technology, SRISA, Moscow
- Prof. *Vladimir F. Tishkin*, corresponding member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Doctor of Science (Phys&Math), Professor, Department of Computational Methods, Lomonosov Moscow State University, Moscow
- Prof. *Amir A. Gubaidullin*, Doctor of Science (Phys&Math), Director, Tyumen Division, Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics, RAS Siberian Branch, Tyumen
- Prof. *Mikhail V. Jakobovski*, corresponding member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Doctor of Science (Phys&Math), Deputy Director for Research, Keldysh Institute of Applied Mathematics, RAS, Moscow
- Prof. *Rashit M. Shagaliyev*, Doctor of Science (Phys&Math)
- Prof. *Sergey O. Starkov*, Doctor of Science (Phys&Math), Head, Division of Intelligent Cybernetic Systems, Obninsk Institute of Atomic Energy, Obninsk
- Prof. *Valery M. Eskov*, Doctor of Science (Phys&Math), Doctor of Science (Biology), Head of Division, SRISA, Surgut Branch, Surgut
- Prof. *Mikhail M. Lavrentiev*, Doctor of Science (Phys&Math), Deputy Director for Research, Institute of Automation and Electrometry, RAS Siberian Branch, Novosibirsk
- Prof. *Sergey G. Pyatkov*, Doctor of Science (Phys&Math), Chairperson, Department of Further Mathematics, Yugra State University, Khanty-Mansiysk
- Prof. *Valerii P. Ilyin*, Doctor of Science (Phys&Math), Professor, Department of Applied Mathematics, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk
- Prof. *Boris V. Kryzhanovskii*, corresponding member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Doctor of Science (Phys&Math), Director, Opto-neural Technologies Center, Scientific Research Institute for System Analysis, Russian Academy of Sciences (SRISA), Moscow
- Prof. *Oleg V. Nagornov*, Doctor of Science (Phys&Math), First Vice-Rector, National Research Nuclear University MEPhI, Moscow
- Prof. *Vladimir V. Savchenko*, PhD (Theoretical Mechanics), Hosei University, Tokyo, Japan
- Prof. *Yasunari Zempo*, PhD (Physics), Hosei University, Tokyo, Japan
- Prof. *Athanase Papadopoulos*, Doctorat d'Etat (Habilitation), Mathematics, University of Strasbourg, French National Centre for Scientific Research, Strasbourg, France

Executive Editor

Taras V. Gavrilenko, Ph.D. (Engineering)

Managing Editor

Anna P. Chalova, Ph.D. (Linguistics)

Technical Editor

Dmitry A. Morgun, Ph.D. (Phys&Math), Assoc. Prof.

Translator

Dmitry I. Troitsky, Ph.D. (Engineering), Assoc. Prof.

Cover Design

© Alexander S. Gorbunov

The journal is registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media.

Mass media registration certificate EL No. FS 77-78857 dated on 04.08.2020.

On June 27, 2022 the National Board for Academic Degrees and Titles put the Russian Journal of Cybernetics on the list of leading journals for publishing papers by doctorate students.

Published since 2020. 4 issues per year.

Editorial Board Address:

SRISA, Russia 117218, Moscow, Nakhimovsky pr., 36/1.

Tel.: +7(922)654-5788, fax: +7(495)719-76-81, e-mail: taras.gavrilenko@gmail.com. Web: jcyb.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

В. Б. Бетелин О вычислительном суверенитете	6
В. А. Галкин, А. Д. Смородинов, Д. А. Моргун Решение уравнения Навье—Стокса для сталкивающихся потоков	8
В. П. Кощев Стохастическое уравнение эволюции энергии динамической системы с n-степенями свободы	16
О. Ю. Семенов, Т. В. Гавриленко Диагностика структуры плазмы методом фокусировки изображения	18
Н. Г. Абдулкина, Н. В. Замятин, Г. В. Смирнов Умный дом и телемедицина для пожилых людей	24
Н. Л. Аванесян, В. В. Зенькова, А. А. Чеповский, А. М. Чеповский Анализ текстов сообществ социальных сетей	33
А. Р. Гончаров, С. А. Лысенкова, А. С. Назин Формирование синонимичных рядов с экспертной оценкой для получения коэффициентов эмоциональности слов	40
Л. О. Перетягко Единый государственный фонд гидрометеорологических данных как большие данные. Универсальный парсер структуры данных в формате языка описания гидрометеорологических данных	47
М. В. Юрчишина, К. И. Бушмелева Подход к формированию групп связанных дисциплин для обучающихся бакалавриата по направлению «Информатика и вычислительная техника»	53
В. А. Жебель, А. И. Солдатов Использование коэффициента достоверности данных для определения достоверности передаваемых данных по сети	60
О. Е. Филатова, М. А. Филатов, Т. В. Воронюк, М. И. Музиева Квантовомеханический подход в электрофизиологии	68
В. В. Еськов, Г. В. Газя, А. Ю. Кухарева Потеря однородности группы — вторая «великая» проблема биомедицины	78
Б. А. Богатых Фрактально-голографическая природа субъектно-объектных соотношений	85

CONTENTS

V. B. Betelin	6
National Independence in Computing	6
V. A. Galkin, A. D. Smorodinov, D. A. Morgun	
Solution of the Navier–Stokes Equation for Colliding Jets	8
V. P. Koshcheev	
A Stochastic Equation of the Energy Evolution in A Dynamic System with N-Degrees of Freedom	16
O. Yu. Semenov, T. V. Gavrilenko	
Image Focusing Method for Plasma Structure Analysis	18
N. G. Abdulkina, N. V. Zamyatin, G. V. Smirnov	
The Smart Home and Telemedicine for Senior Citizens	24
N. L. Avanesyan, V. V. Zenkova, A. A. Chepovskiy, A. M. Chepovskiy	
Analysis of Social Media Community Posts	33
A. R. Goncharov, S. A. Lysenkova, A. S. Nazin	
Expert Evaluation-Based Generation of Synonymic Sets for Sentiment Analysis	40
L. O. Peretyatko	
The National Hydrometeorological Archive as Big Data. A Universal Parser of the Hydrometeorological Data Description Language	47
M. V. Yurchishina, K. I. Bushmeleva	
Building Groups of Related Courses for the Undergraduates Majoring in Computer Science	53
V. A. Zhebel, A. I. Soldatov	
The Reliability Coefficient for Network Data Transmissions	60
O. E. Filatova, M. A. Filatov, T. V. Voronyuk, M. I. Muzieva	
A Quantum Mechanical Approach to Electrophysiology	68
V. V. Eskov, G. V. Gazya, A. Yu. Kukhareva	
The Loss of Group Homogeneity as the Second Great Problem in Biomedicine	78
B. A. Bogatykh	
Fractal-Holographic Nature of Subject-Object Relations	85

О ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ СУВЕРЕНИТЕТЕ**В. Б. Бетелин**

Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6646-2660>, ✉ betelin@inbox.ru

Поступила в редакцию: 20.05.2023.

В окончательном варианте: 01.06.2023.

NATIONAL INDEPENDENCE IN COMPUTING**V. B. Betelin**

Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences”, Moscow, Russian Federation
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6646-2660>, ✉ betelin@inbox.ru

Original article submitted: 20.05.2023.

Revision submitted: 01.06.2023.

Согласно толкованию Конституционного суда статьи 4 Конституции РФ суверенитет страны в области вычислительных технологий (далее — вычислительный суверенитет) — это независимость и самостоятельность государства при принятии и реализации решений в области средств вычислительной техники и программного обеспечения, математических методов и алгоритмов вычислений. Неотъемлемой частью вычислительного суверенитета являются научный и образовательный суверенитеты, то есть независимость и самостоятельность государства при принятии и реализации решений о направлениях и содержании программ научных исследований и программ подготовки кадров в области средств вычислительной техники и программного обеспечения, математических методов и алгоритмов вычислений.

СССР обладал вычислительным суверенитетом, то есть он обладал: собственными средствами вычислительной техники семейства ЭЭСМ, разработанными школой академика Лебедева С. А., математическими методами и алгоритмами вычислений, разработанными школами академиков Дороницына А. А., Зельдовича Я. Б., Келдыша М. В., Тихонова А. Н., а также образовательной системой, в которой школьная и вузовские ступени были неразрывно связаны и нацелены на фундаментальное освоение школьниками, а затем студентами дисциплин естественно-научного цикла: математики, физики, механики и т.д. Это, собственно, и обеспечило в 50–60-е годы расчетное обоснование технологий создания термоядерного оружия и средств его доставки, таких как бомбардировщики Ту-104 и Ту-95, а также ракеты Р-7. В дальнейшем на основе этих технологий и расчетных обоснований были созданы как их гражданские аналоги, так и отрасли промышленности, производящие атомные электростанции, гражданские авиалайнеры Ту-164 и Ту-114 и т.д. При этом вычислительный суверенитет являлся необходимым условием создания этих отраслей, то есть обеспечения технологического суверенитета страны в атомных, авиационных и ракетных технологиях.

Однако после 1991 г. в результате рыночных реформ, Россия, по сути дела, утратила вычислительный суверенитет в области моделирования сложных физических процессов, вследствие перехода на применение в этих расчетах зарубежных вычислительных систем с массовым параллелизмом и, как следствие, на использование сеточных аппроксимаций большей размерности. Действительно, прогресс в вычислительных технологиях на основе сеточных аппроксимаций большой размерности практически полностью определяется прогрессом в области зарубежных микроэлектронных технологий, которые для России недоступны. Поэтому необходимы альтернативные сеточным аппроксимациям большой размерности вычислительные технологии, которые обеспечат использование вычислительных средств на основе доступных в России микроэлектронных компонент для моделирования сложных физических процессов и тем самым обеспечат вычислительный суверенитет страны в этой области.

Одной из возможных альтернатив сеточным аппроксимациям большой размерности являются методы «склейки» точных решений на грубых сетках, которые были реализованы при расчетных обоснованиях термоядерного оружия в 50-х годах прошлого века, а также кинетические методы решения дифференциальных уравнений [1, 2].

Другой возможной альтернативой являются так называемые технологии искусственного интеллекта, под которыми, как правило, понимаются искусственные нейронные сети [3]. По сути дела, это технологии построения по конечному набору данных из некоторого множества (возможного бесконечномерного) аппроксимации функции отображения этого множества, при условии минимизации некоторого функционала, в заданное конечномерное множество [3, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетелин В. Б., Галкин В. А. Математические и вычислительные проблемы, связанные с образованием структур в сложных системах. *Компьютерные исследования и моделирование*. 2022;14(4):805–815.
2. Betelin V. B., Galkin V. A. Universal Computational Algorithms and Their Justification for the Approximate Solution of Differential Equations. *Doklady Mathematics*. 2019;100:450–455.
3. Бетелин В. Б., Галкин В. А. Математические задачи, связанные с искусственным интеллектом и искусственными нейронными сетями. *Успехи кибернетики*. 2021;2(4):6–14. DOI: 10.51790/2712-9942-2021-2-4-1.
4. Бетелин В. Б., Галкин В. А. О неподвижных точках непрерывных преобразований, связанных с построением искусственных нейронных сетей. *Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления*. 2022;507:22–25.

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-01

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ НАВЬЕ–СТОКСА ДЛЯ СТАЛКИВАЮЩИХСЯ ПОТОКОВ**В. А. Галкин^{1,2,a}, А. Д. Смородинов^{1,2,b}, Д. А. Моргун^{1,c}**¹ Сургутский филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», г. Сургут, Российская Федерация² Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация^a ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9721-4026>, val-gal@yandex.ru^b ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9324-1844>, sachenka_1998@mail.ru^c ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0692-1583>, morgun_da@office.niisi.tech

Аннотация: в работе исследуется структура потенциальных течений несжимаемой жидкости, порожденных гармоническим потенциалом. Представлены результаты трех вычислительных экспериментов: результаты моделирования для встречных потоков одинаковой мощности и сравнение с натурным экспериментом столкновения двух встречных струй, опубликованным Lim T. и Nickels T. в 1992 г. в журнале Nature; результаты моделирования для встречных потоков разной мощности; результаты моделирования для источника и стока одинаковой мощности.

Ключевые слова: визуализация траекторий частиц, гидродинамика, уравнения Навье–Стокса.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (выполнение фундаментальных научных исследований ГП 47) по теме № 0580-2021-0007 «Развитие методов математического моделирования распределенных систем и соответствующих методов вычисления».

Для цитирования: Галкин В. А., Смородинов А. Д., Моргун Д. А. Решение уравнения Навье–Стокса для сталкивающихся потоков. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):8–15. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-01.

Поступила в редакцию: 15.06.2023.

В окончательном варианте: 20.06.2023.

SOLUTION OF THE NAVIER–STOKES EQUATION FOR COLLIDING JETS**V. A. Galkin^{1,2,a}, A. D. Smorodinov^{1,2,b}, D. A. Morgun^{1,c}**¹ Surgut Branch of Federal State Institute “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences”, Surgut, Russian Federation² Surgut State University, Surgut, Russian Federation^a ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9721-4026>, val-gal@yandex.ru^b ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9324-1844>, sachenka_1998@mail.ru^c ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0692-1583>, morgun_da@office.niisi.tech

Abstract: this study investigates the structure of potential incompressible fluid flows generated by a harmonic potential. We presented the results of three computational experiments: simulation of head-on colliding flows of the same capacity and comparison with a physical experiment of two oncoming jets published by Lim T. and Nickels T. in 1992 in *Nature*; simulation results for head-on colliding jets flows with different capacities; and simulation results for a source and drain of the same capacity.

Keywords: visualization of particle trajectories, hydrodynamics, Navier–Stokes equations.

Acknowledgements: this study is a part of the government contract 47 GP with the Scientific Research Institute for System Analysis, Russian Academy of Sciences, project No. 0580-2021-0007 Advancing Distribution System Simulation and Computation Methods.

Cite this article: Galkin V. A., Smorodinov A. D., Morgun D. A. Solution of the Navier–Stokes Equation for Colliding Jets. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):8–15. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-01.

Original article submitted: 15.06.2023.

Revision submitted: 20.06.2023.

Введение

Система уравнений Навье—Стокса [1] играет ключевую роль в гидродинамике и применяется в математическом моделировании многих природных явлений, например, океанских течений, турбулентного потока, движущегося за самолетом, или потока крови в организме человека.

Если добавить к системе Навье—Стокса уравнение переноса массы или тепла, то полученная модель может применяться для описания конвекции и термодиффузии в жидкости.

В настоящей работе рассматривается класс потенциальных решений системы Навье—Стокса для несжимаемой жидкости, заданных гармоническим потенциалом

$$\vec{V} = \nabla\varphi(\vec{x}, t), \quad (1)$$

где $\varphi(\vec{x}, t)$ — скалярное поле, которое удовлетворяет уравнению Лапласа

$$\Delta\varphi(\vec{x}, t) \equiv 0. \quad (2)$$

Как известно еще из классических работ Лагранжа и Эйлера, данное поле является точным решением системы уравнений Навье—Стокса для несжимаемой жидкости. Вкратце воспроизведем обоснование данного утверждения.

Рассмотрим систему уравнений Навье—Стокса для несжимаемой жидкости

$$\begin{cases} \frac{\partial\vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla)\vec{V} + \nabla P = \varepsilon^2 \Delta\vec{V}, \\ \operatorname{div} \vec{V} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Так как $\Delta\vec{V} = \operatorname{rot}(\nabla\vec{V}) = 0$, то получаем

$$\frac{\partial\vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla)\vec{V} + \nabla P = 0. \quad (4)$$

Воспользовавшись известным тождеством

$$\nabla\left(\frac{V^2}{2}\right) = (\vec{V} \cdot \nabla)\vec{V} + [\vec{V}, \operatorname{rot} \vec{V}] \quad (5)$$

и учитывая равенство нулю ротора потенциального поля, имеем

$$\frac{\partial\vec{V}}{\partial t} + \nabla\left(\frac{V^2}{2}\right) + \nabla P = 0. \quad (6)$$

Положим

$$P = -\frac{\nabla\varphi \cdot \nabla\varphi}{2} - \frac{\partial\varphi}{\partial t}. \quad (7)$$

Непосредственной подстановкой полученных тождеств в соотношения (3) убеждаемся, что формулы (1), (2), (7) дают решение системы уравнений Навье—Стокса для несжимаемой жидкости.

Вычислительные эксперименты

Кулоновский потенциал является гармонической функцией в \mathbb{R}_3 с выколотой особенностью потенциала в точке M_1

$$\varphi(\vec{x}, t) = \frac{1}{\|\vec{x} - M_1\|}. \quad (8)$$

Соответствующее векторное поле

$$\vec{V}(x) = \nabla\left(\frac{1}{\|\vec{x} - M_1\|}\right) \quad (9)$$

удовлетворяет системе (3). Более того, системе (3) удовлетворяет суперпозиция потенциальных полей, которую можно записать в виде

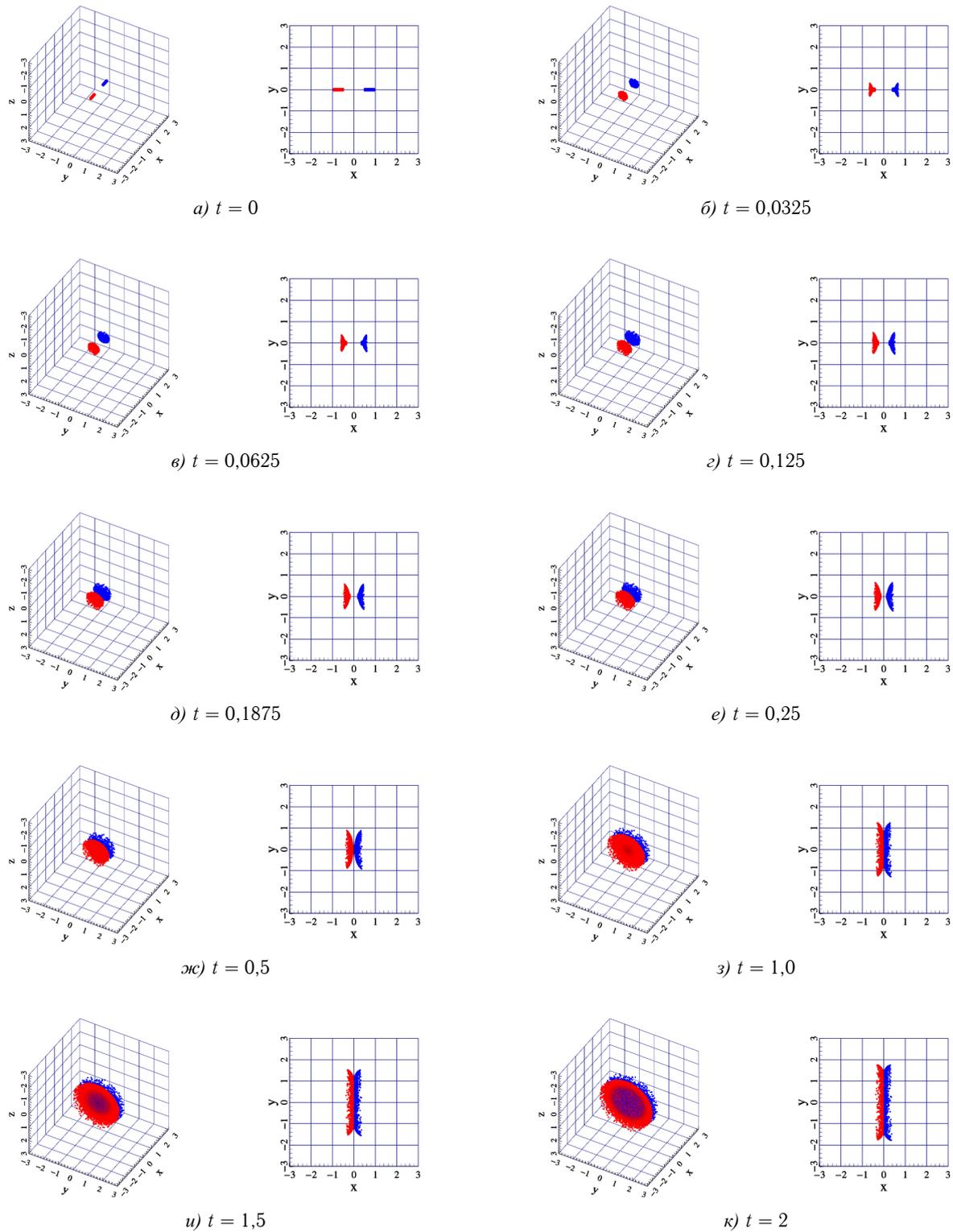


Рис. 1. Математическое моделирование столкновения двух встречных потоков с мощностью источников $\alpha = 1$, $\beta = 1$

$$\vec{V}(x) = \nabla \left(\sum_{i=1}^k \frac{q_i}{\|\vec{x} - M_i\|} \right). \quad (10)$$

Рассмотрим столкновение двух встречных потоков. В представленной математической модели оно описывается сложением двух потенциальных потоков ($k = 2$ в формуле (10)):

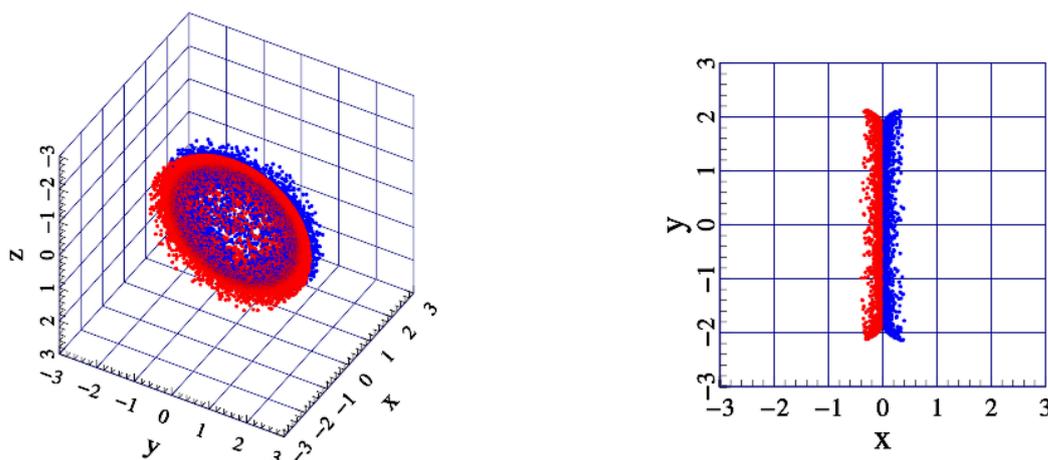


Рис. 2. Математическое моделирование столкновения двух встречных потоков с мощностью источников $\alpha = 1$, $\beta = 1$ на момент времени 3

$$\vec{V}(x) = \nabla \left(\frac{\alpha}{\|\vec{x} - M_1\|} + \frac{\beta}{\|\vec{x} - M_2\|} \right), \quad (11)$$

где α — мощность 1-го потока, β — мощность 2-го потока, в знаменателе стоит евклидова норма.

Обозначим точки расположения источников потоков как M_1 и M_2 . Для поля (11) покомпонентная запись поля примет вид:

$$V_i = -\frac{1}{2} \sqrt{(x_1 - M_1^1)^2 + (x_2 - M_1^2)^2 + (x_3 - M_1^3)^2}^{-3} \cdot (2x_i - 2M_1^i) - \\ - \frac{1}{2} \sqrt{(x_1 - M_2^1)^2 + (x_2 - M_2^2)^2 + (x_3 - M_2^3)^2}^{-3} \cdot (2x_i - 2M_2^i).$$

Для моделирования натурального эксперимента, описанного в работе [2], расположим точки M_1 , M_2 на оси Ox и зададим для них следующие координаты:

$$M_1 = (-1, 0, 0); \quad M_2 = (1, 0, 0).$$

Проведем серию вычислительных экспериментов по моделированию динамики примеси, движущейся во встречных потенциальных течениях, задаваемых кулоновскими потенциалами. Движение i -й примеси описывается уравнением

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) N_i = \sigma_i^2 \cdot \Delta N_i, \quad (12)$$

где N_i — концентрация примеси i . Будем рассматривать движение безынерционных недиффундирующих примесей. Тогда коэффициент диффузии $\sigma_i = 0$, вектор скорости движения примесей совпадает с вектором скорости движения жидкости \vec{V} и уравнение (12) примет вид

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} = -(\vec{V} \cdot \nabla) N_i.$$

Для получения траекторий частиц примесей решаем задачу Коши в трехмерном пространстве. Используется численный метод решения обыкновенных дифференциальных уравнений — метод Рунге—Кутты 4-го порядка точности, который лежит в основе большинства стандартных программ численного решения задачи Коши на ЭВМ [3].

Для визуализации результатов применялась библиотека MathGL [4].

Для моделирования использовался компьютер с процессором AMD Ryzen Threadripper 2990WX 32-Core-Processor, 2 400 МГц и с 32 ГБ оперативной памяти.

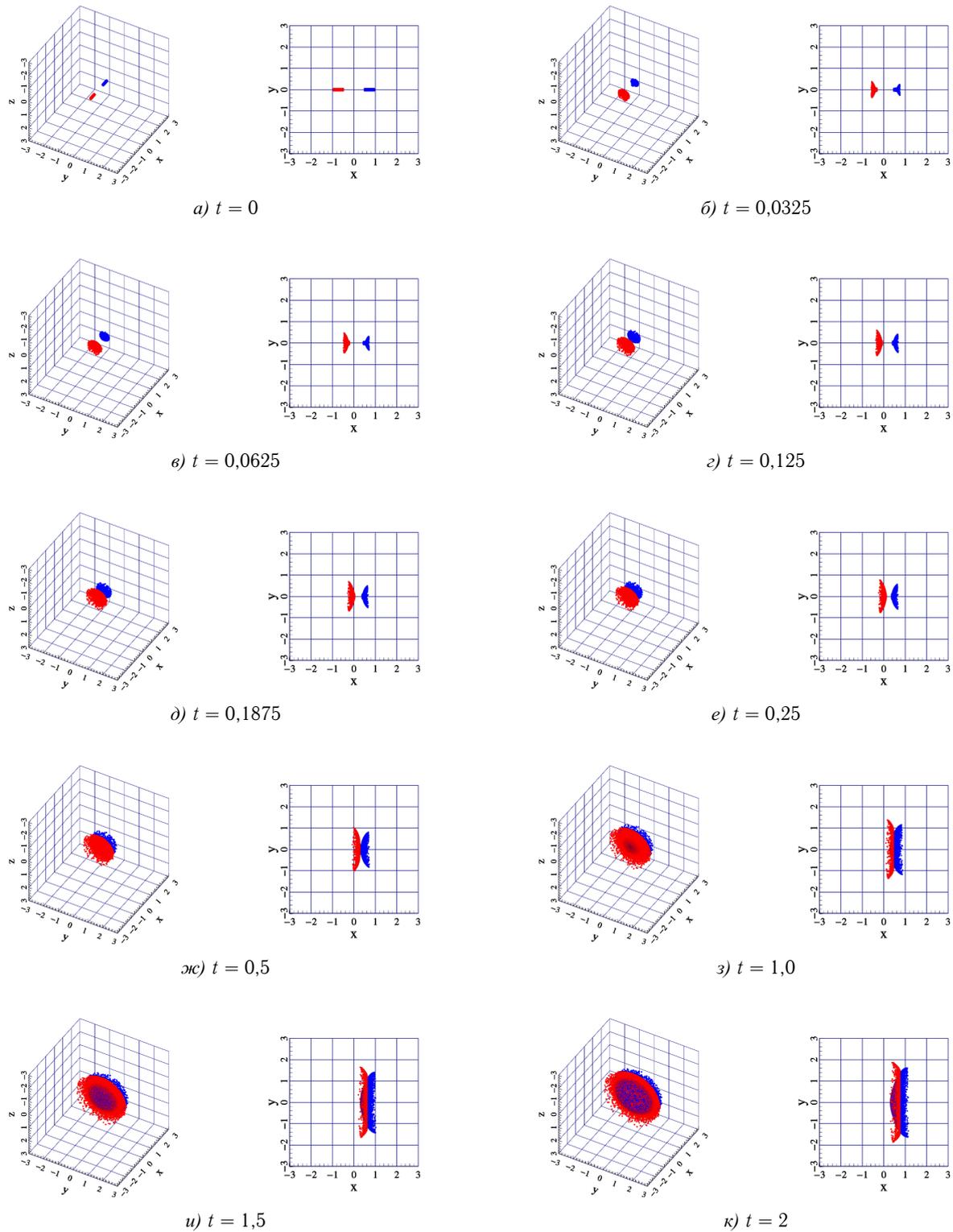


Рис. 3. Математическое моделирование столкновения двух встречных потоков с мощностью источников $\alpha = 2$, $\beta = 0,5$

В начальный момент времени фрагмент струи для каждого из потоков представим в виде набора точек моделирования, случайно распределенных в некоторой цилиндрической области, ось которой направлена вдоль прямой, соединяющей M_1 и M_2 (вдоль оси Ox в нашем случае). Количество точек моделирования, длина шага и количество шагов численного метода подбирались так, чтобы получаемая визуализация позволяла составить детальное представление о взаимодействии сталкивающихся потоков.

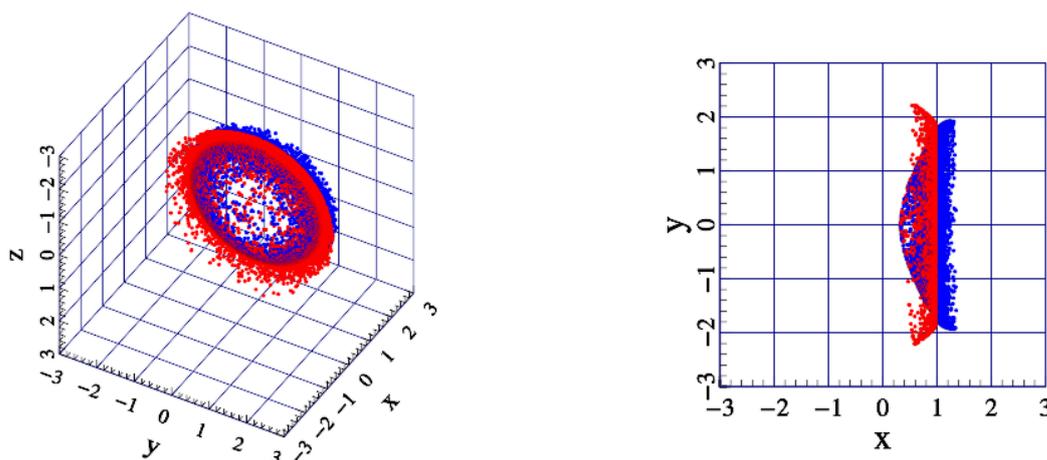


Рис. 4. Математическое моделирование столкновения двух встречных потоков с мощностью источников $\alpha = 2$, $\beta = 0,5$ на момент времени 3

В приведенных ниже результатах вычислительных экспериментов радиус r такой области равен 0.5, ближайшее основание отстоит от источника на 0.5 в сторону центра координат, а длина цилиндрической области равна 0.45. Количество точек моделирования равно 5000, шаг по времени равен $1/2000$; всего шагов 6000.

Вычислительный эксперимент 1

Предполагается, что безынерционные примеси следуют линиям тока. Мощность источников задается множителем для соответствующего кулоновского поля, задающего поле скоростей течения несжимаемой жидкости. На рисунке 1 представлена визуализация ключевых моментов изменения движения потока. Первый вычислительный эксперимент проведен для одинаковых мощностей встречных потоков — $\alpha = 1$ и $\beta = 1$. В нулевой момент времени наблюдаются две тонких струи (конфигурации точек цилиндрической формы). Далее, в моменты времени 0,0325 и 0,0625 (рисунок 1б и 1в), струи двигаются навстречу друг другу и их конфигурация начинает принимать дискообразную форму. В моменты времени 0,125; 0,1875; 0,25 (рисунки 1г, 1д и 1е) продолжается трансформация струй и их сближение. Начиная с момента времени 0,5 (рисунок 1ж) наблюдается максимальное сближение струй; далее обе струи будут радиально расходиться от оси Ox вдоль плоскости Oxy и не смешиваются друг с другом вплоть до конца математического моделирования.

Результат математического моделирования в момент времени $t = 3$ представлен на рисунке 2.

Как видно из результатов проведенного моделирования, предложенное потенциальное поле качественно повторяет результаты натурного эксперимента [2].

Вычислительный эксперимент 2

В следующем вычислительном эксперименте мощности потоков разные — $\alpha = 2$, $\beta = 0.5$. Результаты математического моделирования представлены на рисунке 3.

Поведение синих и красных точек, моделирующих струи из разных источников, во многом аналогично предыдущему случаю. Но теперь граница, разделяющая частицы из разных источников, смещается ближе к более слабому источнику, а форма этой границы трансформируется из плоскости к криволинейной поверхности, напоминающей параболоид. Можно сказать, что частицы, испускаемые более мощным источником, в какой-то момент времени начинают огибать область с более слабым источником.

Результат математического моделирования в момент времени $t = 3$ представлен на рисунке 4.

Вычислительный эксперимент 3

В третьем вычислительном эксперименте мощности потоков одинаковы по модулю, но противоположны по знаку — $\alpha = -1$, $\beta = 1$, что соответствует стоку в точке M_1 и источнику в точке M_2 . Результаты математического моделирования представлены на рисунке 5.

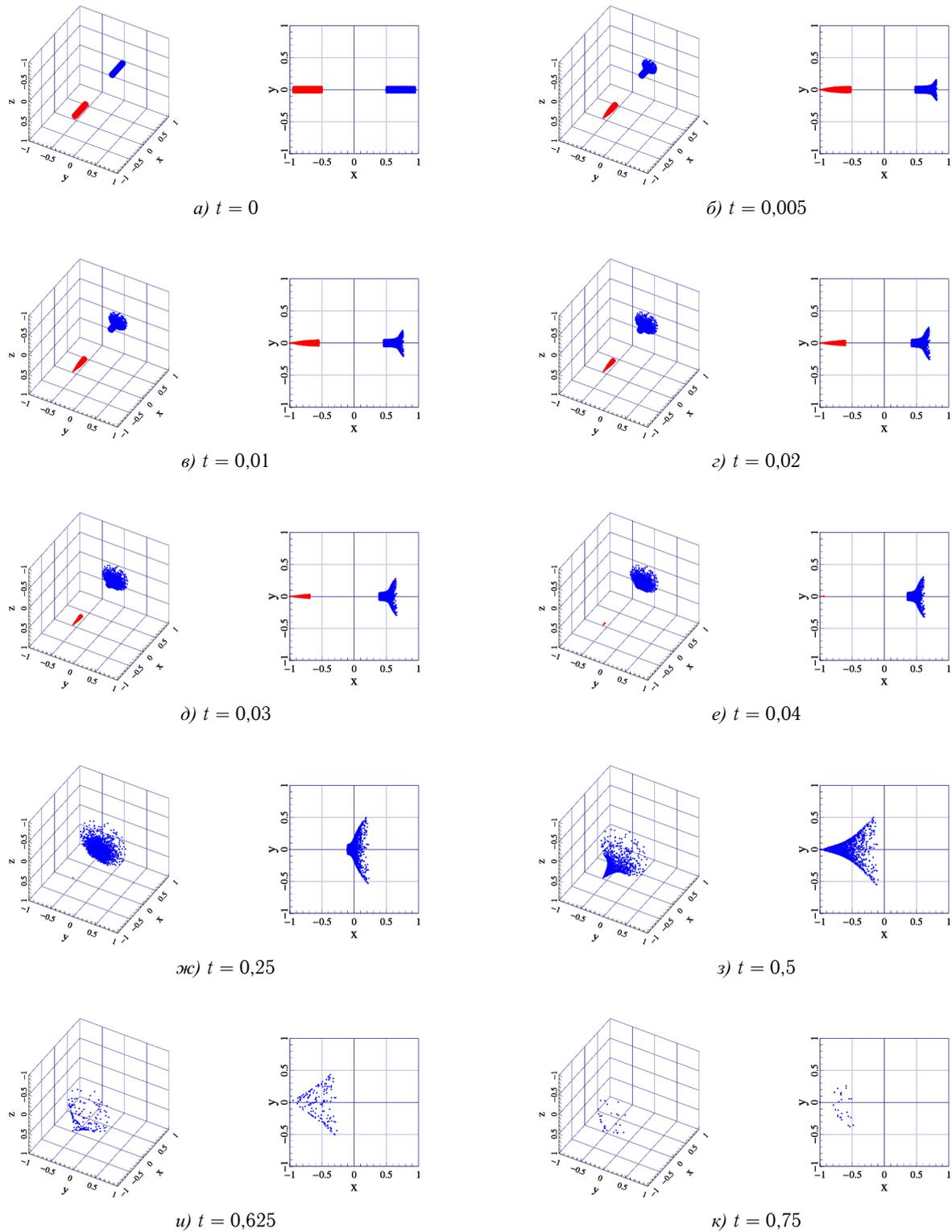


Рис. 5. Математическое моделирование столкновения двух встречных потоков с мощностью источников $\alpha = -1$, $\beta = 1$

Начальная конфигурация в этом эксперименте (рис. 5а) такая же, как и в предыдущих экспериментах. Далее, с момента времени $t = 0,005$ (рис. 5б) и до момента $t = 0,04$ левый поток полностью стекает в сток, а правый поток движется по направлению к центру координат и вплоть до момента времени $t = 0,25$ (рис. 5ж) ведет себя так же, как и в предыдущих численных экспериментах. Далее и он начинает стекать в сток, и к моменту времени $t = 0,75$ в расчетной области остается лишь небольшое количество точек. К моменту времени $t = 1$ все оставшиеся точки «стекают» в сток.

Заключение

Представлены результаты трех вычислительных экспериментов по моделированию течения, описываемого системой уравнений Навье–Стокса с полем скоростей, заданным уравнением

$$\vec{V}(x) = \nabla \left(\frac{\alpha}{\|\vec{x} - M_1\|} + \frac{\beta}{\|\vec{x} - M_2\|} \right).$$

Результаты моделирования решения уравнения Навье–Стокса с одинаковой мощностью встречных потоков $\alpha = \beta = 1$ позволяют качественно описать натурный эксперимент столкновения двух встречных струй, опубликованный Lim T. и Nickels T. в 1992 г. в журнале Nature [2].

Эксперименты с разной мощностью источников или с разным знаком также демонстрируют ожидаемый результат: в первом случае граница раздела струй трансформируется из плоскости в криволинейную поверхность и частицы, испускаемые более мощным источником, начинают огибать более слабый источник; во втором случае — все частицы с течением времени стекают в сток, которому соответствует отрицательное значение мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. *Теоретическая физика. Т. VI. Гидродинамика*. М.: ФИЗМАТЛИТ; 2001. 736 с.
2. Lim T., Nickels T. Instability and Reconnection in the Head-On Collision of Two Vortex Rings. *Nature*. 1992;357:225–227. Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/357225a0>.
3. Калиткин Н. Н. *Численные методы*. СПб.: БХВ-Петербург; 2011. 592 с.
4. *MathGL*. Режим доступа: <https://mathgl.sourceforge.net/>.

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-02

СТОХАСТИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ЭНЕРГИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С N -СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ**В. П. Кошчев***НИУ Московский авиационный институт, филиал «Стрела», г. Жуковский, Московская область, Российская Федерация*
✉ *koshcheev1@yandex.ru*

Аннотация: уравнение эволюции энергии динамической системы с n -степенями свободы построено с помощью условия несохранения адиабатического инварианта.

Ключевые слова: стохастическое уравнение, эволюция энергии, нелинейная динамическая система с n -степенями свободы, автоколебательные уравнения.

Для цитирования: Кошчев В. П. Стохастическое уравнение эволюции энергии динамической системы с n -степенями свободы. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):16–17. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-02.

*Поступила в редакцию: 01.04.2023.**В окончательном варианте: 16.05.2023.***A STOCHASTIC EQUATION OF THE ENERGY EVOLUTION IN A DYNAMIC SYSTEM WITH N -DEGREES OF FREEDOM****V. P. Koshcheev***Moscow Aviation Institute (National Research University), Strela Branch, Moscow oblast, Zhukovsky, Russian Federation*
✉ *koshcheev1@yandex.ru*

Abstract: the equation of energy evolution in a dynamical system with N degrees of freedom is constructed using the condition of adiabatic invariant non-conservation.

Keywords: stochastic equation, energy evolution, nonlinear dynamical system with N degrees of freedom, auto-oscillatory equations.

Cite this article: Koshcheev V. P. A Stochastic Equation of the Energy Evolution in A Dynamic System with N -Degrees of Freedom. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):16–17. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-02.

*Original article submitted: 01.04.2023.**Revision submitted: 16.05.2023.*

В [1] были построены стохастические уравнения эволюции динамической системы с одной и двумя степенями свободы. В [2, 3] с помощью [1] были построены стохастические уравнения эволюции энергии для уравнения Ван дер Поля и модели Келдыша с одной степенью свободы, которая описывает автоколебания (флаттер) динамической системы [4]. Было показано, что автоколебания подавляются, когда интенсивность белого шума превышает критическое значение. Этот эффект индуцированного шумом перехода для уравнения Ван дер Поля был впервые обнаружен в [5], что было отмечено в [6].

В настоящей работе будет построено стохастическое уравнение эволюции энергии динамической системы с n -степенями свободы.

Уравнение движения для i -ой динамической переменной запишем в виде:

$$\dot{p}_i + \frac{\partial \bar{U}}{\partial x_i} = \dot{f}_i, \quad (1)$$

где $p_i = m\dot{x}_i$ — импульс, а m — масса частицы; $\bar{U} = \bar{U}(x_1, \dots, x_n)$ — потенциальная энергия; $\dot{f}_i = \bar{f}_i + \delta f_i$; $\bar{f}_i = \bar{f}_i(x_1, \dots, x_n; \dot{x}_1, \dots, \dot{x}_n; t)$ — среднее значение, а δf_i — флуктуация возмущающей силы; $\dot{x}_i = \frac{dx_i}{dt}$.

Определим энергию:

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{p_i^2}{2m} + \bar{U} \quad (2)$$

и скорость изменения энергии динамической системы с n -степенями свободы:

$$\frac{dE}{dt} = \sum_{i=1}^n p_i \dot{f}_i. \quad (3)$$

Адиабатический инвариант динамической системы с n -степенями свободы $I_n = I_n(E)$ запишем в виде [7]:

$$I_n = \int_{C_{2n}} \prod_{i=1}^n dp_i \wedge dx_i, \quad (4)$$

где $C_{2n} : E = \sum_{i=1}^n \frac{p_i^2}{2m} + \bar{U}$ — граница области, по которой производится интегрирование.

Свойства дифференциальных форм рассмотрены в [7–9]. Выполним интегрирование по импульсам всех динамических переменных. В результате получим:

$$I_n = \frac{(2m\pi)^{n/2}}{\Gamma(\frac{n}{2} + 1)} \int_{C_n} [E - \bar{U}(x_1, \dots, x_n)]^{\frac{n}{2}} dx_1 \wedge \dots \wedge dx_n, \quad (5)$$

где $C_n : E = \bar{U}(x_1, \dots, x_n)$ — граница области, по которой производится интегрирование; $\Gamma(\frac{n}{2} + 1)$ — гамма-функция.

Если энергия динамической системы не сохраняется $E = E(t)$, то не сохраняется и адиабатический инвариант $I_n = I_n[E(t)]$. Вычислим скорость изменения адиабатического инварианта:

$$\frac{dI_n}{dt} = \frac{dI_n}{dE} \frac{dE}{dt} = \frac{(2m\pi)^{n/2}}{\Gamma(\frac{n}{2} + 1)} \frac{n}{2} \int_{C_n} [E - \bar{U}(x_1, \dots, x_n)]^{\frac{n}{2}-1} \frac{dE}{dt} dx_1 \wedge \dots \wedge dx_n. \quad (6)$$

Так как левые части уравнений равны, то получим скорость изменения энергии динамической системы в виде:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{\int_{C_n} [E - \bar{U}(x_1, \dots, x_n)]^{\frac{n}{2}-1} dx_1 \wedge \dots \wedge dx_n} \int_{C_n} [E - \bar{U}(x_1, \dots, x_n)]^{\frac{n}{2}-1} \frac{dE}{dt} dx_1 \wedge \dots \wedge dx_n, \quad (7)$$

где из уравнений $\frac{dE}{dt} = \sum_{i=1}^n p_i \dot{f}_i$ и $E = \sum_{i=1}^n \frac{p_i^2}{2m} + \bar{U}$ следует исключить все p_i .

Если $n = 1$ или $n = 2$, то уравнение (7) совпадает с соответствующим результатом работы [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кощев В. П. Стохастическое уравнение эволюции каналированных частиц. *Письма в ЖТФ*. 2001;27(18):61–64.
2. Кощев В. П. Индуцированный шумом переход между стационарными состояниями осциллятора Ван дер Поля. *Письма в ЖТФ*. 2014;40(3):64–69.
3. Koshcheev V. P., Shtanov Y. N. Noise-Induced Self-Oscillation (Flutter) Suppression in the Keldysh Model. *ArXiv*:2111.02819.
4. Келдыш М. В. О демферах с нелинейной характеристикой. *Тр. ЦАГИ*. 1944;557:26–37.
5. Кузнецов П. И., Стратонович Р. Л., Тихонов В. И. Воздействие электронных флуктуаций на ламповый генератор. *ЖЭТФ*. 1955;28:509–523.
6. Хорстхемке В., Лефевр Р. *Индуцированные шумом переходы: Теория и применение в физике, химии и биологии*. М.: Мир; 1987. 400 с.
7. Арнольд В. И. *Математические методы классической механики*. М.: Наука; 1974. 432 с.
8. Зорич В. А. *Математический анализ: Часть 2*. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы; 1984. 640 с.
9. Яковлев Г. Н. *Лекции по математическому анализу. Часть 2: учеб. пособие для вузов*. М.: Издательство физико-математической литературы; 2001. 480 с.

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-03

ДИАГНОСТИКА СТРУКТУРЫ ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ ФОКУСИРОВКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ**О. Ю. Семенов^{1,a}, Т. В. Гавриленко^{1,2,b}**¹ Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация² Сургутский филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», г. Сургут, Российская Федерация^a ous.tutor.phinma@mail.ru, ^b taras.gavrilenko@gmail.com

Аннотация: предложен оптический метод изучения структуры короткоживущих, нестационарных и неустойчивых образований низкотемпературной плазмы, использующий ее рефракционные свойства. На основе имеющихся наблюдательных данных об оптических свойствах шаровой молнии и решения интегрального уравнения Абеля получены возможные радиальные распределения показателя преломления, концентрации заряженных частиц и температуры. Правильность предлагаемого подхода проверена в исследовании рефракции света при прохождении через сферический фронт пропановоздушного пламени. Методом цифровой фотометрии проведены сравнительные расчеты температурных полей в пламени, шаровой молнии и «однокомпонентном плазмоиде».

Ключевые слова: оптический метод, плазма, квазинейтральность, шаровая молния, сферическая линза, пропановоздушное пламя, уравнение Абеля, плазмоид.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (выполнение фундаментальных научных исследований ГП 47) по теме № 0580-2021-0007 «Развитие методов математического моделирования распределенных систем и соответствующих методов вычисления».

Для цитирования: Семенов О. Ю., Гавриленко Т. В. Диагностика структуры плазмы методом фокусировки изображения. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):18–23. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-03.

Поступила в редакцию: 29.05.2023.*В окончательном варианте:* 09.06.2023.**IMAGE FOCUSING METHOD FOR PLASMA STRUCTURE ANALYSIS****Semenov O. Yu.^{1,a}, Gavrilenko T. V.^{1,2,b}**¹ Surgut State University, Surgut, Russian Federation² Surgut Branch of Federal State Institute “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences”, Surgut, Russian Federation^a ous.tutor.phinma@mail.ru, ^b taras.gavrilenko@gmail.com

Abstract: this study proposes an optical method for studying the structure of short-lived, non-stationary low-temperature plasmoids using the refractive properties of the plasma. We obtained possible radial distributions of the refractive index, concentration of charged particles, and temperature from the available observations of the ball lightning optical properties and the solution of the Abel integral equation. We verified the proposed method by measuring the refraction of light passing through the spherical front of a propane-air flame. The temperature fields in the flame, ball lightning, and “one-component plasmoid” were compared with digital photometry.

Keywords: optical method, plasma, quasi-neutrality, ball lightning, spherical lens, propane-air flame, Abel equation, plasmoid.

Acknowledgements: this study is a part of the government contract 47 GP with the Scientific Research Institute for System Analysis, Russian Academy of Sciences, project No. 0580-2021-0007 Advancing Distribution System Simulation and Computation Methods.

Cite this article: Semenov O. Yu., Gavrilenko T. V. Image Focusing Method for Plasma Structure Analysis. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):18–23. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-03.

Original article submitted: 29.05.2023.*Revision submitted:* 09.06.2023.

Экспериментальное измерение физических параметров явлений, сопровождающих формирование плазменных структур, остается недоступным из-за невозможности их воспроизведения, малого времени существования и других причин. Это является причиной того, что природа этих явлений в течение долгого времени остается непонятой [1–3]. К явлениям подобного рода относятся искровые, коронные разряды, шаровая молния и др.

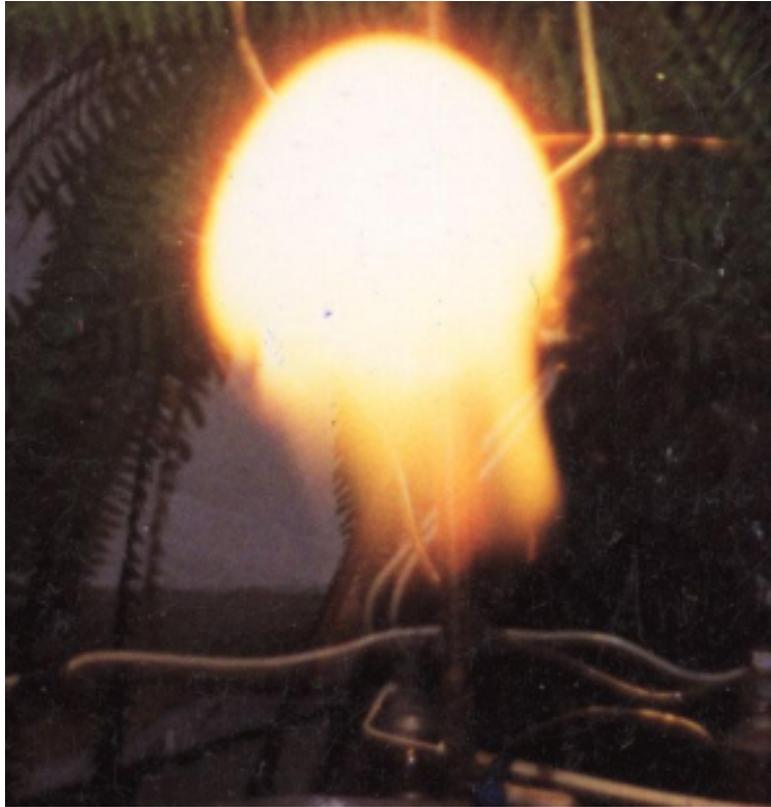


Рис. 1. Поверхность «стационарной» шаровой молнии [3]

Такие физические характеристики, как распределения показателя преломления, концентрации заряженных частиц и термодинамической температуры среды, могут быть получены из многочисленных и достоверных наблюдательных данных (рис. 1). Известно, например, что шаровая молния «выжигает» отпечатки изображений окружающих предметов на поверхностях близлежащих тел. На основании известных размеров изображений, диаметра шаровой молнии и расстояний между шаровой молнией и поверхностью, на которой строится изображение, можно предположить следующее.

Шаровая молния является «линзой» с фокусным расстоянием, превышающим ее диаметр. Под влиянием электрического поля шаровой молнии и наэлектризованных частиц пыли в воздухе отражательная способность поверхности тела и плотность поглощаемого ею потока теплового излучения перераспределяется в зависимости от освещенности отдельных участков.

Идея метода заключается в том, что сферическая линза может иметь фокусное расстояние, превышающее ее диаметр только в случае, если показатель преломления света в плазме изменяется в радиальном направлении. Известно, что при прохождении через оптическую неоднородность световой луч претерпевает угловое отклонение, пропорциональное градиенту показателя преломления в направлении, перпендикулярном направлению распространения света [4–8].

В случае осевой симметрии угловое отклонение луча $\varepsilon(r)$ является функцией радиуса оптической неоднородности и определяется интегральным уравнением Абеля:

$$\varepsilon(r) = \frac{2}{n_0} \int_{r=r_i}^R \left(\frac{\partial n}{\partial r} \right) \frac{r_i}{\sqrt{r^2 - r_i^2}} dr, \quad (1)$$

где r и R — текущий и максимальный радиус, а r_i — координата края оптической неоднородности, находящегося на линии наблюдения изображения, $\frac{\partial n}{\partial r}$ — радиальный градиент показателя преломления,

n_0 — показатель преломления света в окружающем воздухе. В случае фокусировки параллельных лучей в точке, находящейся на расстоянии F от центра шара, уравнение (1) может быть записано в виде:

$$\operatorname{arctg} \frac{r_i}{F} = \frac{2}{n_0} \int_{r=r_i}^R \left(\frac{\partial n}{\partial r} \right) \frac{r_i}{\sqrt{r^2 - r_i^2}} dr. \quad (2)$$

Решение интегрального уравнения (2) позволяет найти радиальное распределение показателя преломления света. Для нахождения распределения концентрации заряженных частиц в плазме n_q можно воспользоваться связью показателя преломления света n и диэлектрической проницаемостью среды: $\varepsilon: n = \sqrt{\varepsilon}$. Поскольку $\varepsilon = 1 + \frac{n_q l}{\varepsilon_0 E}$, то

$$n_q(r) = \pm \frac{n^2(r) - 1}{C}. \quad (3)$$

Знак правой части выражения (3) определяется знаком заряда. E и ε_0 — напряженность электростатического поля и диэлектрическая проницаемость плазмы, l — плечо полярной молекулы-диполя, $n_q(r)$ — концентрация заряженных частиц, $C = \frac{l}{\varepsilon_0 E}$. Вычисление постоянной C было произведено в предположении, что напряженность электростатического поля в плазме по порядку величины равна $\frac{kT}{ql}$, где k и T — постоянная Больцмана и абсолютная температура, q — заряд частицы [9–12].

Численное решение уравнения (2) осуществляли методом Шардина [4]. Значения радиуса шаровой плазмы R принимали равным в пределах от $5 \cdot 10^{-2}$ м до $1,2 \cdot 10^{-1}$ м. Величину фокусного расстояния шаровой линзы F выбирали такой, чтобы плоскость изображения была вблизи фокальной. Тогда выделяемая плазмой тепловая энергия не слишком рассеивается. Соответствующие радиусу шаровой плазмы значения F изменяли от $2R$ до $3R$. Типичные результаты численного решения системы уравнений (2)–(3) представлены на рис. 2–4.

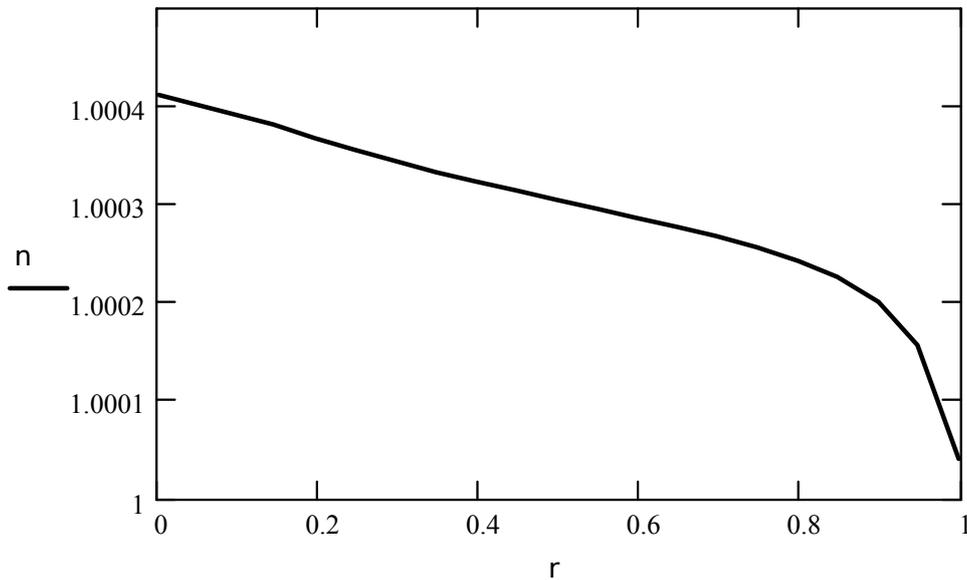


Рис. 2. Радиальное распределение показателя преломления света в шаровой молнии (сплошная линия)

Радиальное расстояние на оси абсцисс на всех графиках отложено в безразмерных единицах. Из рис. 2 видно, что показатель преломления света, как и следует из физических соображений, максимален в центре шара. Его почти линейное уменьшение при увеличении радиуса в центральной части шара объясняется парааксиальностью приосевых лучей [9, 13, 14].

Уменьшение концентрации отрицательно заряженных частиц, как следует из рис. 3, объясняется нелинейным уменьшением показателя преломления на границе шаровой поверхности. Квазинейтральность плазмы обеспечивается радиальным увеличением концентрации положительно заряженных частиц. Следствием квазинейтральности является устойчивость плазменного образования в виде шара [15–18].

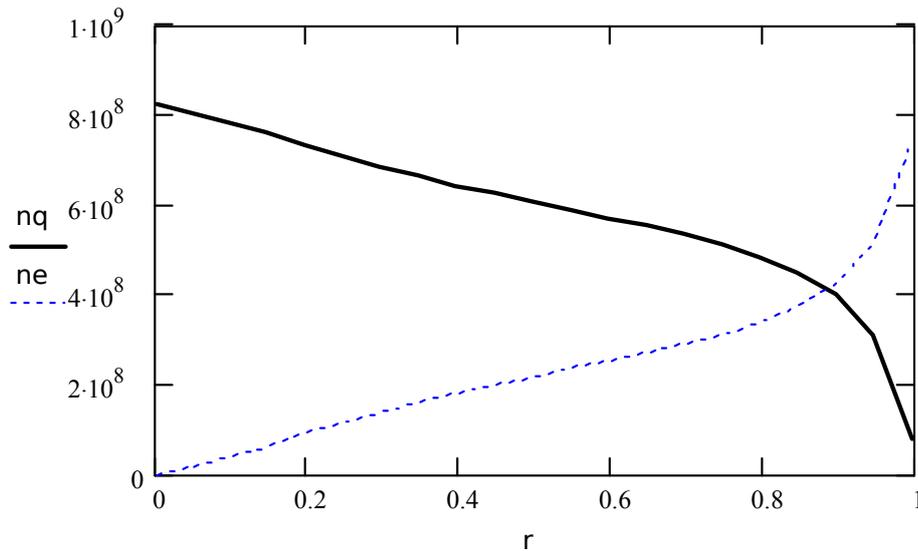


Рис. 3. Радиальное распределение концентрации электронов (сплошная линия) и положительных ионов (прерывистая линия) в шаровой молнии

Рассчитанные абсолютные значения концентрации заряженных частиц не превышают $8,2 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$ и гораздо меньше плотности молекул газа при нормальных условиях $2,7 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Согласно [19–22] плазму в шаровой молнии в этом случае можно считать слабоионизованной.

По результатам расчета распределения показателя преломления на основании закона Гладстона–Дейла [4–6] и уравнения состояния идеального газа рассчитывали радиальное распределение термодинамической температуры $T(r)$ плазмы по формуле:

$$T(r) = T_0 \frac{n_0 - n(r)}{n(r)}. \tag{4}$$

Здесь $T_0 = 293 \text{ К}$ — температура окружающего воздуха. Введение электронной температуры оказывается неоправданным, поскольку частота столкновений электронов друг с другом существенно меньше частоты передачи энергии от электрона к атому газа: $\nu_{ee} \ll \nu_{ea}$ [5]. Последнее условие дает выражение [5]: $n_e \ll n_a \cdot \frac{m}{M} \frac{\sigma T_e^2}{e^4 \ln \Lambda}$, где $\frac{m}{M}$ — отношение массы электрона к массе атома, $\ln \Lambda$ — кулоновский логарифм, σ — сечение упругого столкновения электрона с атомом, T_e — электронная температура, e — заряд электрона, n_e и n_a — концентрации электронов и атомов. Поскольку $\frac{m}{M} \ll 1$ и $\ln \Lambda = \left(\frac{T_e^2}{n_e e^6}\right)^{1/2} \ll 1$, а $\frac{\sigma T_e^2}{e^4 \ln \Lambda} \approx 1$, то условие $\nu_{ee} \ll \nu_{ea}$ выполняется.

Результаты расчёта распределения температуры представлены на рис. 4. Температура в центре шара низкая и принимает отрицательные значения (по шкале Цельсия). В тонком внешнем сферическом слое толщиной, меньшей $0,1 R$, температура повышается до 2000 К и более. Учитывая параметры физических механизмов переноса тепла, можно предположить, что понижение температуры в центре шара обусловлено потерей тепла вследствие интенсивного излучения на внешней границе. Следует отметить, что температура на поверхности шаровой плазмы возрастает обратно пропорционально ее диаметру. При $R = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ температура не превышает 850 К . Полученные результаты соответствуют известным представлениям о тепловом излучении шаровой молнии.

Результаты расчётов показателя преломления света дублировали экспериментальными измерениями угловых отклонений лучей лазера при прохождении через сферический фронт пропановоздушного пламени. Расчёт распределений температуры в сферическом фронте пламени, «однокомпонентном плазмоиде» и шаровой молнии проводили, используя метод цифровой фотометрии [23–25]. Цифровые фотографии шаровой молнии, «плазмоида» представлены на рис. 5.

Зависимости, представленные на рис. 2–4, свидетельствуют о возможности применения предлагаемого метода для описания структуры плазменных образований по их известным оптическим свойствам [13, 26–29].

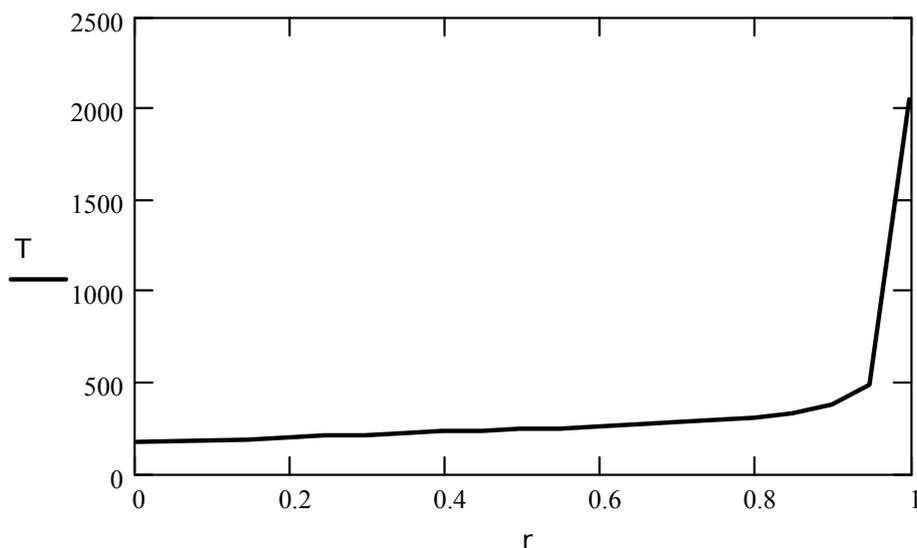


Рис. 4. Радиальное распределение температур в шаровой молнии (сплошная линия)

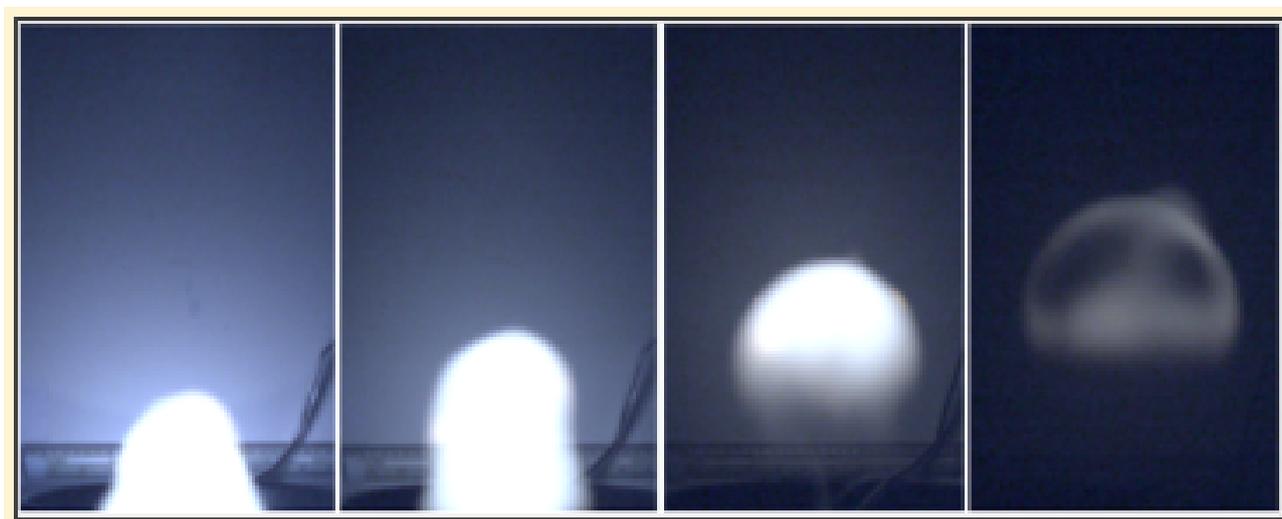


Рис. 5. Фотографии шаровой молнии [26]

В данной работе предлагается физическая идея использования способности оптической неоднородности строить изображения окружающих предметов для расчета физических параметров внутри оптической неоднородности, идея проиллюстрирована на примере шаровой молнии. Достоверность метода проверена путем экспериментальных измерений угловых отклонений световых лучей в сферическом пламени. В области сравнимых по величине температур угловые отклонения одинаковы, расчёты температур подтверждаются измерениями независимым методом — методом цифровой фотометрии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капица П. Л. О природе шаровой молнии. *ДАН СССР*. 1955;101(2):245–248.
2. Стаханов И. П. *О физической природе шаровой молнии*. М.: Энергоатомиздат; 1985. 209 с.
3. Шабанов Г. Д., Жеребцов О. М. Электрический разряд в воздушное полупространство. *Оптический журнал*. 2004;71(1):6–8.
4. Аbruков С. А. *Теневые и интерференционные методы исследования оптических неоднородностей*. Казань: Изд-во. Каз. гос. ун-та; 1962. 83 с.
5. Смирнов Б. М. *Проблема шаровой молнии*. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.; 1988. 208 с.

6. Ратис Ю. Л. *Шаровая молния как макроскопическое квантовое явление*. Самара: Изд-во СНЦ РАН; 2004. 132 с.
7. Торчигин В. П., Торчигин А. В. Шаровая молния как концентрат света. *Химия и жизнь*. 2003;1:47–49.
8. Семенов О. Ю. Визуализация фронта пламени в узком плоском канале. *XII Международная научная конференция «Интеллект и наука»*: Сб. науч. тр. Железногорск, 2012. С. 173–174.
9. Shabanov G. D., Sokolovsky V. Yu. Macroscopic Separation of Charges in a Pulsed Electric Discharge. *Plasma Physics Reports*. 2005;31(6):512.
10. Шабанов Г. Д. Оптические свойства долгоживущих плазменных светящихся образований. *Письма в ЖТФ*. 2002;28(4):81–86.
11. Егоров А. И., Степанов С. И. Долгоживущие плазмиды — аналоги шаровой молнии, возникающие во влажном воздухе. *ЖТФ*. 2002;72(12):102–104.
12. Егоров А. И., Степанов С. И., Шабанов Г. Д. Демонстрация шаровой молнии в лаборатории. *УФН*. 2004;174(1):107–109.
13. Alekseev M. M., Smirnova I. V., Semenov O. Y., Samsonov V. P. Modeling Edge Flame Propagation in a Stratified Fuel Gas-Air Mixture. *Technical Physics Letters*. 2012;38(11):1010–1012.
14. Шибков В. М., Александров А. Ф., Кузовников А. А. *Свободно локализованный СВЧ-разряд в воздухе* / Под ред. Р. Ф. Авраменко, В. Л. Бычкова, А. И. Климова, О. А. Синкевича. М.: Химия; 1994.
15. Смирнов Б. М. *Физика слабоионизованного газа*. М.: Наука; 1978. 416 с.
16. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. *Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений*. 2-е изд., доп. М.: Наука; 1966. 688 с.
17. Semenov O. Yu., Dyomko A. I. Liquid and Gas Optical Flowmeter Model Development. *AIP Conference Proceedings*. 2019;2141(1):050010-1-050010-10. DOI: 10.1063/1.5122153.
18. Donoso J., Trueba J. L., Rañada A. F. The Riddle of Ball Lightning: A Review. *The Scientific World Journal*. 2006;6:254–278. DOI: 10.1100/tsw.2006.48.
19. Doe R. K. Ball Lightning: An Elusive Force of Nature. *Forces of Nature and Cultural Responses*. 2012:7–26. DOI: 10.1007/978-94-007-5000-5_2.
20. Alexeev M. M., Semenov O. Yu., Yakush S. E. Experimental Study on Cellular Premixed Propane Flames in a Narrow Gap Between Parallel plates. *Combustion Science and Technology*. 2019;191(7):1256–1275.
21. Dubowsky S. E., Friday D. M., Peters K. C., Zhao Z., Perry R. H., McCall B. J. Mass Spectrometry of Atmospheric-Pressure Ball Plasmoids. *International Journal of Mass Spectrometry*. 2015;376:39–45. DOI: 10.1016/j.ijms.2014.11.011.
22. Alanakyan Y. R., Bulankin D. A., Pevgov V. G., Smirnov L. V., Tsvetkov A. A. About the Nature of Bead Lightning and Laboratory “Plasmoids”. *Doklady Physics*. 2020;65(1):1–4. DOI: 10.1134/s1028335820010036.
23. Самсонов В. П., Алексеев А. М. Метод цифровой фотометрии в исследовании структуры вихревого пламени. *Письма в ЖТФ*. 2007;33(11):34–39.
24. Yakush S. E., Borisov V. E., Alexeev M. M., Semenov O. Yu. Experimental and Numerical Study of Premixed Flame Propagation in Narrow Gaps. *9th International Seminar on Flame Structure. 9 ISFS Book of Abstracts*. 2017. С. 92. Режим доступа: http://www.kinetics.nsc.ru/kep/9ISFS/9ISFS_Book_of_abstracts.pdf
25. Shmatov M. L., Stephan K. D. Advances in Ball Lightning Research. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2019:105115. DOI: 10.1016/j.jastp.2019.105115.
26. Friday D. M., Broughton P. B., Lee T. A., Schutz G. A., Betz J. N., Lindsay C. M. Further Insight into the Nature of Ball-Lightning-Like Atmospheric Pressure Plasmoids. *The Journal of Physical Chemistry A*. 2013;117(39):9931–9940. DOI: 10.1021/jp400001y.
27. Bychkov V. L., Nikitin A. I., Dijkhuis G. C. Ball Lightning Investigations. *Physics of Earth and Space Environments*. 2010:201–373. DOI: 10.1007/978-90-481-3212-6_6.
28. Bulgakov A. A., Yefimov B. P., Kuleshov A. N., Khorunzhiy M. O. Experimental Investigation into Spherical Plasma Formations. *Telecommun. Radio Eng.* 2005;64:833–839.
29. Wurden C. J. v., Wurden G. A. Free-Floating Atmospheric Pressure Ball Plasmas. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 2011;39(11):2078–2079.

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-04

УМНЫЙ ДОМ И ТЕЛЕМЕДИЦИНА ДЛЯ ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ**Н. Г. Абдулкина^{1,a}, Н. В. Замятин^{2,b}, Г. В. Смирнов^{2,c}**¹ Томский научно-исследовательский институт курортологии и физиотерапии федерального медико-биологического агентства, г. Томск, Российская Федерация² Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Российская Федерация^a anatalia2014@yandex.ru, ^b zamnv47@gmail.com, ^c smirnov@main.tusur.ru

Аннотация: концепция умной среды обитания для здоровья пожилых людей должна обеспечить достойную жизнь в своих домах пожилым людям. В статье показан интеллектуальный подход, представляющий объединение умного дома и телемедицины на основе применения таких технологических областей, как информационные системы, техническое обеспечение умного дома, повсеместные датчики, роботизированная поддержка. Рассмотрена необходимость стандартизации и некоторые этические представления.

Ключевые слова: медицинский мониторинг, домашняя автоматизация, умный дом, техническое обеспечение, информационные системы.

Для цитирования: Абдулкина Н. Г., Замятин Н. В., Смирнов Г. В. Умный дом и телемедицина для пожилых людей. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):24–32. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-04.

Поступила в редакцию: 04.05.2023.

В окончательном варианте: 31.05.2023.

THE SMART HOME AND TELEMEDICINE FOR SENIOR CITIZENS**N. G. Abdulkina^{1,a}, N. V. Zamyatin^{2,b}, G. V. Smirnov^{2,c}**¹ Tomsk Institute of Balneology and Physiotherapy, Federal Medical and Biological Agency, Tomsk, Russian Federation² Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation^a anatalia2014@yandex.ru, ^b zamnv47@gmail.com, ^c smirnov@main.tusur.ru

Abstract: the concept of Smart Habitat for the Health of the Seniors shall provide a decent living for the elderly in their homes. The paper presents an intelligent approach combining the smart home and telemedicine through information systems, smart home hardware, ubiquitous sensors, and robotics. Standardization and some ethical issues are also considered.

Keywords: health monitoring, home automation, smart home, technical support, information systems.

Cite this article: Abdulkina N. G., Zamyatin N. V., Smirnov G. V. The Smart Home and Telemedicine for Senior Citizens. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):24–32. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-04.

Original article submitted: 04.05.2023.

Revision submitted: 31.05.2023.

Введение

Демографическая ситуация складывается так, что показатели рождаемости в России находятся на уровне или ниже порога воспроизводства, 1 или 2 ребенка на женщину. Это приводит к снижению темпов роста населения и увеличивает численность населения пожилого возраста. По данным ВОЗ ожидается, что к 2035 году треть населения развитых стран будет старше 65 лет.

Такое развитие событий создает нагрузку на систему здравоохранения страны как в экономическом, так и в социальном плане. Экономические затраты не только напрямую связаны с самим уходом за пожилыми людьми, но также включают затраты на реорганизацию систем здравоохранения из-за большого числа людей, нуждающихся в медицинской помощи. Социальное давление также может усиливаться в силу того, что граждане РФ будут заботиться о своем здоровье и потребуют более полной информации о своем состоянии, а также захотят и больших возможностей его поддержки. Это уже приводит к нехватке квалифицированного персонала. Кроме того, чтобы профессии обслуживания пожилых людей были более эффективными и привлекательными, необходимо предоставить специалистам

возможности для повышения их производительности и качества обслуживания. Поэтому телемедицина в настоящее время начинает быть предпочтительным средством доступа к здравоохранению для всех и, что особенно актуально, для пожилых людей, ослабленных болезнями и инвалидностью.

Система телемедицины

За последние десятилетия медицинский дистанционный мониторинг (уход за здоровьем на дому), основанный на методах и технологиях информационных систем, получает развитие для обеспечения на дому уровня ухода, по крайней мере, подобного тому, который предоставляется в медицинском учреждении. Это открывает путь к постоянному и эффективному медицинскому наблюдению. Но при этом нужно гарантировать уважение частной жизни человека и стараться не нарушать течение его жизни.

Характеристики, требуемые для таких систем, уже давно определены [1, 2]. Такие системы должны быть открытыми, способными интегрировать разнообразные технологии и достаточно гибкими, чтобы адаптироваться к конкретным случаям каждого пациента, учитывая динамический аспект изменения состояния его здоровья.

Концепция интеллектуальных сред обитания основана на технологии умных домов, которая включает датчики, исполнительные механизмы, коммуникационные системы, позволяющие «отслеживать» пользователей, общаться друг с другом и интеллектуально помогать в выполнении повседневных и рутинных задач. Окружающий интеллект обеспечивает в среде обитания адаптацию и синхронизацию между окружающей средой, пользователем и его профилем и электронными устройствами Интернета вещей.

В случае медицинского наблюдения за пожилыми людьми нужно отслеживать их состояние здоровья и уровень автономии, определять местонахождение пациента, обнаруживать перемещения и падения, оценивать ухудшение когнитивных способностей (потерю памяти, блуждания), а также обеспечивать безопасность человека, контролируя параметры окружающей его среды. Вместе с тем нужно создавать удобства для человека за счет включения/выключения света, открытия/закрытия окон, контроля протечек воды, экономии ресурсов.

Риски пожилых людей

Старость — это последний период в жизни человека, и первым признаком этого периода является снижение активности его жизни и выход на пенсию. Часто человека считают «старым» или пожилым, начиная с 65 лет, в то время как у некоторых людей симптомы старости могут проявляться и раньше. Естественное старение является неизбежным процессом в жизни любого человека. В зависимости обстоятельств, от людей и окружающей среды, с которыми он сталкивается, такое старение может быть более или менее быстрым. Старение предполагает постепенное изменение физических и когнитивных способностей, и повседневная жизнь пожилого человека становится все более затруднительной. Это связано с тем, что изменение физических способностей мешает выполнять действия, которые он практиковал раньше, а когнитивные расстройства приносят еще больше проблем. В итоге может потребоваться удаление пожилого человека в специализированное учреждение для его защиты и облегчения жизни его близких.

Когнитивные расстройства, в частности, могут оказать большое влияние на повседневную жизнь человека до такой степени, что начнут подвергать его опасности. Эти нарушения влияют на интеллектуальные способности, такие как память, понимание, способность рассуждать, внимание или концентрацию. К числу заболеваний, вызывающих деменцию, относятся болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона или лобно-височная деменция.

Одним из самых опасных мест в доме для пожилого человека является кухня. В этом помещении существует много устройств, которые могут причинить вред человеку, если используются неправильно или неисправны. Такие устройства для приготовления пищи, как электрические и газовые плиты с высокой температурой, могут привести к ожогам и пожарам.

Риск падения — это проблема, с которой часто сталкиваются пожилые люди, особенно когда они находятся одни дома. Падения являются основными причинами травм у пожилых людей. Когнитивные проблемы и потеря самостоятельности могут привести к несчастным случаям, которые обычно представляют собой падения, вызванные либо слабостью, либо невнимательностью пожилых людей. По данным скорой помощи, падения являются основной причиной госпитализации пожилых людей и

более 60% серьезных травм. Около 20 миллионов пожилых людей пострадали от падения либо дома, либо в специализированном учреждении из-за того, что их вовремя не обнаружили [4].

Понятие умного дома на основе IoT (Интернета вещей)

ИТ-технологии позволяют создавать интеллектуальные места обитания (умный дом) для улучшения жизни людей и обеспечения надежного удаленного контроля. Такой дом представляет собой помещения, которые используют компьютерные технологии, направленные на оказание медицинской помощи пожилому человеку. Умные дома повышают комфорт, безопасность, здоровье обитателей через естественные интерфейсы для управления различными электронными устройствами, в том числе датчиками регистрации и исполнительными механизмами [5].

Информационная система умного дома организует поток информации, относящейся к пациенту, и поддерживает удаленных и распределенных участников. В основе функционирования лежит принцип контекстно-зависимых систем, имеющих три основные функциональные характеристики. Они могут «чувствовать», «думать» и «действовать». Первым шагом контекстно-зависимых систем является сбор данных с различных сенсоров (датчиков). Сенсоры помогают определить элементы контекста в окружающем мире, связанные с пациентом, которые компьютерному устройству сложно определить традиционными методами. Эта информация может быть использована устройством для того, чтобы установить возможные варианты работы и адаптироваться под эти условия. Собранная информация создает связь между реальным физическим и виртуальным мирами для компьютерной программы [6].

Вторым этапом является анализ собранных данных с последующим хранением результата. Существуют различные технологии анализа данных от простого ранжирования до процедур, связанных с искусственным интеллектом. После анализа результат может быть сохранен для дальнейшего использования, а также для обучения системы.

Последним этапом служит выбор подходящего варианта поведения контекстно-зависимой системы.

Интернет вещей — это интернет будущего, он отображает революцию в области вычислительной техники и коммуникаций и представляет множества сетевых объектов, где все они взаимосвязаны и имеют виртуальное представление. Повседневные предметы превращаются в «умные вещи», способные обнаруживать, интерпретировать и реагировать на окружающую среду, например, на запах, благодаря сочетанию интернета, новых технологий и встроенных повсеместных датчиков.

Сети M2M (машина к машине), основа интернета вещей, состоят из множества устройств (например, исполнительных механизмов, интеллектуальных счетчиков, датчиков), с помощью которых формируется область сети, и шлюзов, рассматриваемых как точка сбора информации. Субъекты телемедицины должны получать мгновенное уведомление об изменениях состояния пациента, даже не находясь в режиме активного запроса. Целесообразно применять сервер и протокол связи передачи телеметрии очереди сообщений (MQTT), использующие понятия «канал» и «подписка», чтобы держать субъектов в курсе изменений. Особенностью этих функций является возможность подключения M2M, при которой различные типы встроенных устройств подключаются к Интернет [7].

Субъектами использования информационной системы телемедицины являются: сам пациент, производители медицинской помощи (врачи больниц, медицинские сестры и помощники по уходу), фармацевты аптек, сотрудники лабораторий биологических и рентгенологических исследований, телеоператоры (круглосуточное обслуживание), социальные работники (помощь по дому, служба доставки еды и т. д.), случайные пользователи (члены семьи, соседи), лица, предоставляющие медицинские услуги, персонал служб экстренной помощи и системные администраторы (техническая и логистическая поддержка).

Функции системы

Идентификация в системе, просмотр медицинских карт, составление или консультация по рецептам, запись и считывание параметров. Лицам, работающим на дому (лицам, осуществляющим уход, социальным работникам), может потребоваться добавить заметки о вмешательстве. Администраторы системы выполняют обновление программного и аппаратного обеспечения, изменение настроек.

Типы данных

Предписания, выписанные врачами, протоколы мониторинга (данные датчиков и моменты записи), жизненно важные параметры (значения, моменты приема, качество приема), команды (в направлении машин и приводов к дому), сообщения, которыми обмениваются участники (обмен сообщениями), личные идентификаторы (права доступа и действия с данными), и, наконец, медицинская карта, которая объединяет всю административную информацию о пациенте, идентификацию услуг, от которых он зависит, и всю историю рецептов, зарегистрированных жизненно важных параметров, результатов медицинских анализов.

Некоторая информация является конфиденциальной [8].

Логическая архитектура

Информационная система состоит из модулей (система домашней автоматизации), сервера и клиентских модулей. Сервер состоит из базы данных, коммуникационного сервера и модуля поддержки принятия решений.

- В базе данных хранится вся необходимая информация о пациенте: медицинская карта, данные, введенные пациентом дома и датчиками, которые его окружают, сгенерированные сигналы тревоги, заметки врачей, медицинские заметки, заметки медсестер, сообщения от пациента и заинтересованных сторон. Сервер обеспечивает безопасный доступ к базе данных по сети.

- Модуль поддержки принятия решений анализирует трафик данных между заинтересованными сторонами в режиме «реального времени».

Компоненты сервера могут быть распределены между несколькими компьютерами. Сервер может работать как автономно, так и совместно с медицинской информационной системой.

Модули обслуживания пациентов расположены по месту жительства в умном доме, в них есть:

- модуль связи с сервером, который основан на различных типах соединений (телефонный модем, ADSL, ISDN) и различных доступных сетевых протоколах [9];

- специальные модули для сбора данных;

- вычислительный модуль для анализа данных, оценки состояния пациента, принятия решений в автономном режиме (независимо от подключения, удаленный) и генерация сигналов тревоги 1-го уровня (предполагает наличие локальной базы данных);

- модуль представления данных включает: удобный для пациента интерфейс для представления и возможного ввода данных. Он может использоваться на самых разных устройствах: ЖК-дисплеях, ПК, планшетах, телевизорах. Клиентская станция пациентов может быть автономным устройством или комбинацией взаимосвязанных устройств.

Модуль обслуживания клиентов (клиентская станция), используемая медицинскими работниками для доступа к данным пациентов, корректировки терапии, просмотра сигналов тревоги, обмена сообщениями с другими участниками, включает:

- коммуникационный модуль, который позволяет взаимодействовать с веб-сервером (браузером);

- модуль презентации, который зависит от типа клиента, его профессии, его должности в системе, его специальности. Станция пациента может быть реализована в различных формах: ПК, мобильный сотовый телефон и т. д.

Модуль поддержки принятия решений анализирует влияние терапии на пациента. Благодаря тщательному отбору проб, более частых, чем обычное наблюдение (отсутствие ежемесячных визитов к врачу, кратковременное пребывание в стационаре), он позволяет проводить более точный анализ, даже если данные менее надежны в абсолютных значениях (в данном случае интересен тренд данных). Этот модуль способен анализировать эволюцию различных параметров пациента (объединение данных). Он должен быть распределен между сервером и станцией пациента, чтобы получать поддержку даже при отсутствии соединения.

Станция пациента выполняет проверку данных и предлагает интерфейс для информации о пациенте, а сервер выполняет более сложную обработку данных. При получении новых данных он анализирует их с учетом предыдущих значений (адаптация к пациенту) на основе установленных правил для выполнения заранее определенных сценариев. Этот модуль также может стать интеллектуальным агентом системы эпидемиологического анализа в реальном времени.

Техническое обеспечение умного дома поддерживает архитектуру окружающего интеллекта. Здесь имеются сенсорные функции (датчики), действия и реакции (исполнительные механизмы), а

также интегративные функции, которые выполняют анализ информации, ее хранение и принятие решений.

В техническом обеспечении умного дома существуют датчики и исполнительные механизмы, коммуникационные сети и распределенные интеллектуальные устройства для управления рефлекторными функциями (функциями домашней автоматизации, сигнализации) и центральными функциями (обнаружение режимов активности, срабатывание предупреждений).

Датчики

Данные, позволяющие оценить состояние здоровья человека, являются его физиологическими данными, и они дополняются обнаружением его деятельности и поз, а также мониторингом его окружения. Научно-технический прогресс, достигнутый в области миниатюрных приборов, датчиков и обработки сигналов, дал возможность расширить сферу применения биомедицинских приборов для немедицинских задач таким образом, что неинвазивные измерения позволили оценить зависимость пациента от окружающей его среды [10].

Датчики физиологических данных

Основные жизненно важные признаки давно определены врачами, и список сигналов, доступных из дома, не ограничен.

Весы легко поддаются автоматизации для известного применения, например, путем взвешивания человека в постели или в туалете.

Внутренняя температура определяется с помощью электронных термометров, которые измеряют инфракрасное излучение поверхности барабанной перепонки (барабанные термометры) или дна полости рта.

Экстремальные значения артериального давления (систолическое и диастолическое давление) доступны с помощью манжетных устройств (сфигмоманометров), которые автоматически надуваются. Они требуют соблюдения определенных условий при измерении (положение покоя, компенсация разницы в высоте между сердцевиной и местом измерения).

Насыщение крови кислородом (оксиметрия) позволяет неинвазивно оценить качество вентиляции. Оптический метод измеряет непрозрачность крови на кончиках пальцев рук, ног или мочке уха. Если это мгновенное измерение на самом деле не имеет медицинского значения, его постоянный мониторинг, особенно во время сна, способен обнаружить и количественно оценить аномалии, такие как чрезмерные колебания частоты.

Пульс определяется несколькими способами. Начиная с электрического сигнала сердца («электрокардиограмма — ЭКГ»), можно определить временной интервал, разделяющий 2 типичных сигнала (значение «QRS»). Период между 2 ударами сердца проще измерить по акустическому сигналу, усиленному стетоскопом. Поскольку функция сердца заключается в периодической подаче насыщенной кислородом крови в периферическую сосудистую систему, частоту сердечных сокращений можно отследить, оценив расстояние между последовательными моментами систолического и диастолического артериального давления (тонометр), то есть между экстремумами уровня оксигенации крови (оксиметр). Однако мгновенный пульс редко представляет интерес, если только он не превышает своих нижних пределов (несколько ударов в минуту) или верхних пределов (несколько ударов в секунду), с другой стороны, его непрерывная запись позволяет наблюдать колебания [10].

Информационные датчики

Многие датчики позволяют получить доступ к другим более конкретным параметрам определенных патологий: уровень глюкозы в крови у диабетиков (глюкометр), дыхательная способность у астматиков (измеритель пикового расхода) [11].

Датчики активности для обнаружения мест покоя и перемещений субъекта в окружающей среде (внешняя система отсчета), либо обнаружения его поз (внутренняя система отсчета) и таких событий, как падение. Пациент может быть обнаружен с помощью датчиков на полу, объемных детекторов, которые измеряют инфракрасное излучение, выделяемое поверхностью тела, или отраженных ультразвуковых волн.

Положение тела (стоя, наклонившись или лежа) можно определить с помощью шарикового инклинометра по информации, передаваемой одноосевым или многоосевым акселерометром, что поз-

воляет с большей точностью определять наклон тела, его скорость и ускорение и даже позволяет обнаружить падение. Актинометрические датчики также являются перспективными, поскольку позволяют отличить стоящего или лежащего человека по занимаемой площади пола [12].

Датчики окружающей среды

Необходимо контролировать показатели окружающей среды в доме, поскольку они влияют на другие показатели, а также потому, что они информируют нас об образе жизни субъекта: температура в помещениях (термометр), атмосферное давление (барометр), относительная влажность (гигрометр), яркость (люксметр), уровень шума (шумомер), уровень запаха (электронный нос).

Некоторые параметры окружающей среды также имеют отношение к безопасности в умном доме: выбросы углекислого газа, газ (газодетекторы), пожар (пожарные сигнализаторы).

Пример расположения датчиков

Размещение датчиков для телемедицины требует оптимизации количества приборов, необходимых для обеспечения лучшего охвата пространства умного дома. Эту задачу лучше решать методами линейного программирования.

Для задачи позиционирования выберем вариант расположения датчиков в виде электронного носа. Электронный нос — это датчик, распознающий смесь газов в виде летучих молекул. Каждый датчик имеет диапазон обнаружения, который зависит от чувствительности и места его расположения. Например, датчик должен быть расположен на высоте двух метров, чтобы обеспечить обнаружение на расстоянии пяти метров.

На эти значения влияет положение (потолок или стена) датчика в среде обитания, планировка помещения, экологические условия помещения. Датчики должны как минимум охватывать все помещения, в которых они установлены, чтобы обеспечить надлежащий сбор данных. На практике нужно максимизировать охват каждой комнаты при минимуме количества датчиков, которые необходимо установить в помещении, исходя из типа датчиков, среды обитания и различных ограничений.

Постановка задачи комбинаторной оптимизации (линейного программирования)

Это оптимизация (максимизация или минимизация) линейной функции нескольких переменных, связанных линейными отношениями, которые называют ограничениями.

Для понимания задачи позиционирования приравняем область чувствительности датчика электронного носа к сфере. Под перекрытием датчиков подразумевается общая зона, создаваемая, например, двумя датчиками. Поэтому нужно определить количество сфер (датчиков), которые необходимо установить в комнате, чтобы заполнить ее. Для позиционирования датчиков создадим 3D-модель, в которой определим объем, занимаемый сферами в помещении.

Для формирования ограничений задачи запишем линейные уравнения, связывающие каждое из ограничений. Эти ограничения зависят от положения и количества датчиков, необходимых для покрытия помещения. Результатом решения этих уравнений является получение общего количества датчиков, чтобы каждый датчик X_i был в трех измерениях положения x_i ; y_i ; z_i .

Уравнение 1 отражает полное покрытие всех сфер, которое должно быть более или менее равным объему комнаты.

Уравнение 2 позволяет найти перекрытие между различными сферами, которое должно быть меньше заданного порогового значения.

Уравнение 3 дает значение объема каждой сферы.

Уравнения 4, 5 и 6 дают евклидовы расстояния размеров сферы.

X_i переводит вектор, находящийся в позиции x_i ; y_i ; z_i , который изменяется в зависимости от длины и ширины помещения. Если датчик установлен на потолке, то z является постоянным и всегда равно высоте потолка. В противном случае он варьируется в зависимости от высоты установки на стене.

$$\max_{x_i; y_i; z_i} \left[\sum_i^n vol(X_i) = 69.21 + \epsilon \right] \quad (1)$$

$$vol(X_i) \cap vol(X_j) \leq \eta \quad (2)$$

$$\text{vol}(X_i) = \frac{4\pi R^3}{3} \forall_i = 12\pi \quad (3)$$

$$R = 3 \quad \text{радиус сферы чувствительного датчика} \quad (4)$$

Результатом решения этих уравнений является получение общего количества датчиков, причем для каждого датчика X_i в трех измерениях положение x_i ; y_i ; z_i .

Например, размещают датчики в гостиной, столовой и вестибюле. Эти три части соединяются, как показано зеленой областью на рисунке, и все вместе образуют геометрическую форму L.

Расчет площади зеленой части дает площадь (комната) = 28,84 м². Высота потолка составляет 2,40 м, что подразумевает объем 69,21 м³. В соответствии с характеристиками, датчики электронного носа обладают следующими свойствами. Для установки чувствительная сфера датчика имеет диаметр 6 м. Область чувствительности датчика электронного носа имеет объем, равный 12 π м³.

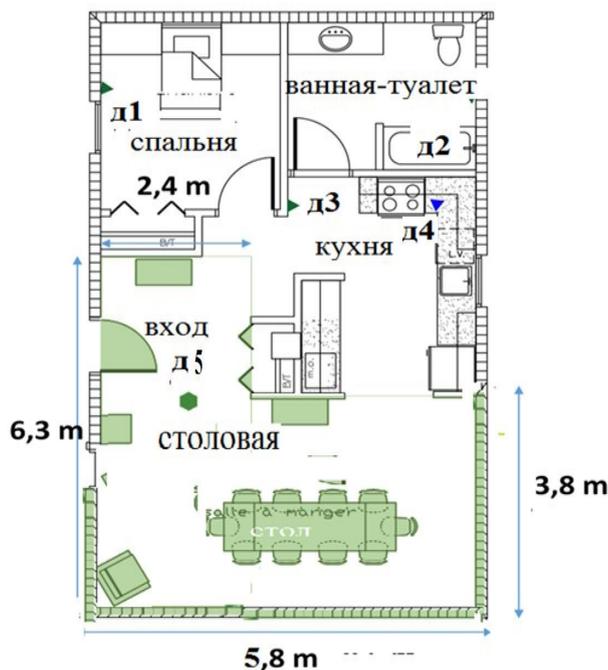


Рис. Пример комнаты умного дома с датчиками

Подстановка параметров квартиры в модель линейного программирования и решение задачи на Python с привлечением библиотеки PuLP и целочисленного представления показывает следующие результаты.

При $\epsilon = 10$ (мертвые зоны) и $\eta = 2$ (экспериментальные значения), результат линейного программирования дает общее количество 2.6. Из этих результатов видно, что минимальное количество датчиков электронного носа 3D модели комнаты для надежной регистрации равно 3 (д3, д4, д5).

Приводы и исполнительные механизмы

Умные дома используют преимущества существующих технологий, чтобы облегчить выполнение определенных задач человеком. Например, отпирание двери в чрезвычайной ситуации, включение или выключение света, регулирование уровня нагревательных приборов. Эти работы могут также выполнять и роботы. Кроме того, роботы могут помогать человеку в выполнении повседневных задач. Рука-манипулятор может быть установлена либо на инвалидном кресле, либо на мобильном роботе, чтобы нажимать кнопку управления, управлять дверным рычагом или брать в руки какой-либо предмет. Роботы-помощники могут с пользой выполнять более сложные задачи: готовить еду или выполнять домашнюю работу, ухаживать за пациентом. Этими роботами можно управлять с помощью голоса или жестов.

Агенты (искусственного) интеллекта — это активные сущности, обладающие способностями восприятия, рассуждения и действия в отношении окружающей их среды. В данном случае эти агенты

отвечают за мониторинг и дистанционную помощь человеку. Они выполняют функции на различных уровнях системы: контроль согласованности информации, обнаружение изменений в состоянии здоровья человека, обнаружение аномальных явлений (контекстные тревожные сигналы), помощь в диагностике, помощь в ведении, помощь в планировании терапии [13].

Интеллектуальный агент окружающей среды должен работать подобно человеку, оказывающему помощь, поскольку они должны взаимодействовать. Конечно, искусственный агент будет использовать разные средства, но он должен выполнить все три этапа оказания помощи: наблюдение, обнаружение аномального поведения и вмешательство, чтобы предложить помощь после обнаружения аномалий.

На первом и третьем этапах будут использоваться датчики обоих типов; датчики и эффекторы. Этап наблюдения будет проводиться путем анализа измерений, отправляемых датчиками, установленными на различных объектах дома. Например, электромагнитный датчик, установленный на каком-либо ящике, подаст сигнал о его открытии или закрытии, коврик с датчиками давления или RFID-метка на чашке определит местонахождение пациента в квартире. Одна из ролей агентов заключается в оказании помощи врачу в его задаче выявления ранних симптомов патологии. Есть много параметров, которые доступны, но представление необработанных данных не является ни удобным, ни эффективным, поэтому нужно их объединять и представлять таким образом, чтобы врачу было легче идентифицировать ситуацию.

Согласованность данных и встроенные тесты

Достоверность данных должна определяться с момента их получения, чтобы гарантировать согласованность значений и их временную привязку. Например, можно проверить принадлежность числовых данных интервалу существования. Для текстовых данных можно проверить, принадлежат ли они к заранее определенной совокупности.

Сигналы тревоги

Основным качеством сигнала тревоги является сокращение промежутка времени между появлением симптома и началом вмешательства. Также за короткое время необходимо предупредить нужного человека: соседа или члена семьи, врача, пожарных или самого пациента.

Человеко-машинные интерфейсы должны быть адаптированы для неопытных пользователей: пожилые люди сталкиваются с трудностями, чтобы понять технические средства, и поэтому плохо продуманные интерфейсы быстро отбрасываются. В первую очередь, нужно решить проблемы, связанные с различными физическими нарушениями (зрения, слуха, трудности языкового общения). Целесообразно использовать мультимодальные интерфейсы и все типы интерфейсов (индивидуальный компьютер, портативный компьютер, мобильный телефон), но наиболее удобными по-прежнему являются самые обычные (телевизор и пульт дистанционного управления). Эти аспекты также относятся к «повсеместным вычислениям»: компьютеры теперь оснащены датчиками, которые информируют об окружающей среде человека и его способностях и, таким образом, помогают адаптироваться.

Существует множество проектов, но лишь немногие из них достигли промышленной стадии из-за отсутствия стандартизации технологических и организационных решений (функциональная совместимость).

Этические факторы

Включение пожилого человека в информационную сеть с дистанционным наблюдением даже по медицинским показаниям проблематично. Вопросы возникают из-за наблюдения за человеком через «глазок» датчиков, передачу данных о здоровье за пределы частного дома. Точно так же необходимо поддерживать баланс между вспомогательными и обязательными аспектами и избегать потенциальных отклонений, к которым может привести «подслушивающее» устройство [14]. Но есть сомнения в том, позволят ли технологии дистанционного медицинского наблюдения на дому установить и поддерживать условия медицинской безопасности и эффективности, сопоставимые с теми, которые доступны человеку в медицинских учреждениях (больница, клиника, дом престарелых и т. д.). Как будет адаптироваться пожилой человек к оборудованию и дистанционному медицинскому наблюдению, и как будет соблюдаться баланс между требованиями безопасности, с одной стороны, и свободой, с другой стороны.

Но также необходимо переосмыслить место пожилого человека в нашем обществе. С распадом семейных связей пожилые люди все чаще оказываются изолированными в учреждениях или дома. Таким образом, этическое мышление должно сопровождать внедрение телемедицины для оказания медицинской помощи на дому.

Заключение

Телемедицина должна улучшить доступ к медицинской помощи при одновременном снижении затрат. Она также несет в себе потенциально важные аспекты технологий ухода за пожилыми людьми в домашних условиях. В технологическом плане эта область медицины обязательно требует применения высоких технологий.

Вклад большого количества «элементарных датчиков», разбросанных в интеллектуальной среде человека, позволяет перейти к «повсеместному» получению данных («диффузное зондирование»), используя подход «слияния множества датчиков», принятый в интеллектуальных системах («интеллектуальные датчики»).

Здоровая среда обитания в виде умного дома и телемедицины обладает значительным потенциалом, но развивается медленно. Существуют различные технологии телемедицины, но отсутствует организационная модель для их эффективного внедрения. Дальнейшие исследования должны быть направлены и на модернизацию умного дома для проживания пожилых людей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владзимирский А. В. *Телемедицина: Curatio Sine Tempora et Distantia*. М.: Aegitas; 2016. 663 с.
2. Монаков Д. М., Алтунин Д. В. Медицинские информационные системы: современные реалии и перспективы. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения*. 2022;8(4):46–53. Режим доступа: <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-4-46-53>.
3. *Программа профилактики падений и переломов у граждан старших возрастных групп. Методические рекомендации* / под ред. О. Н. Ткачевой. М.: Прометей; 2019. 28 с.
4. Скрипникова И. А. Падения — важный фактор риска переломов: причины и способы профилактики. *Consilium Medicum*. 2014;6:28–33.
5. Rosslin John Robles, Tai-hoon Kim. Applications, Systems and Methods in Smart Home Technology: A Review. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2010;15.
6. Anind K. Dey, Gregory D. Abowd. A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications. *Human-Computer Interaction*. 2001;16:97–166.
7. Al-Fuqaha A. et al. Internet of things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*. 2015;17(4):2347–2376.
8. *Медицинские информационные системы: многомерный анализ медицинских и экологических данных: учеб. пос.* / под ред. А. М. Лушнова, М. С. Лушнова. М.: Litres; 2014. 330 с.
9. Перминов В. В. *Унифицированная модель обмена данными в телемедицинских информационных системах: дисс. . . . канд. техн. наук*. М., 2009.
10. Fawwaz E. Fajingbesi, Rashidah F. Olanrewaju, Bisma Rasool Pampori, Sheroz Khan, Mashkuri Yacoob. Real Time Telemedical Health Care Systems with Wearable Sensors. *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Health Care*. 2017;9(3):138–144. DOI: 10.18311/ajprhc/2017/14971.
11. Patel S., Park H., Bonato P. et al. A Review of Wearable Sensors and Systems with Application in Rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2012;21. DOI: 10.1186/1743-0003-9-21.
12. Asma Ben Hadj Mohamed. Réseau de capteurs sans fil comporte mentaux pour l'aide au maintien à domicile par la surveillance en habitat intelligent. Ordinateur et société [cs.CY]. *Université Toulouse le Mirail*. Toulouse II, 2015.
13. Мелихова О. А., Вепринцева О. В., Чумичев В. С. и др. Модели агентов в интеллектуальных системах. *Технические науки — от теории к практике: сб. ст. по матер. LIV междунар. науч.-практ. конф.* Новосибирск: СибАК; 2016. С. 50–56.
14. Наумов В. Б., Савельев Д. А. *Правовые аспекты телемедицины* / под ред. Р. И. Полонникова, Р. М. Юсупова. СПб.: СПИИ РАН, Анатолия; 2002. 107 с.

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-05

АНАЛИЗ ТЕКСТОВ СООБЩЕСТВ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ**Н. Л. Аванесян^{1,a}, В. В. Зенькова^{2,b}, А. А. Чеповский^{1,c}, А. М. Чеповский^{1,3,d}**¹ *Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Российская Федерация*² *Московский физико-технический институт — национальный исследовательский университет (МФТИ), г. Долгопрудный, Московская область, Российская Федерация*³ *Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация*^a *nlavanesyan@hse.ru*, ^b *zenkova.vv@phystech.edu*^c *ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0938-3517>, [✉ aachepovsky@hse.ru](mailto:aachepovsky@hse.ru)*^d *ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8959-6119>, chepovskiy-am@rudn.ru*

Аннотация: в настоящей работе авторы приводят описание методики статистического анализа текстов Telegram-каналов, основанной на сравнении методами корреляционного анализа автоматически сформированных частотных словарей. Рассматриваются коэффициенты попарной ранговой корреляции для сравнения частотных характеристик текстов различных неявных сообществ на естественном языке. Метод предлагается для оценки качества выделения неявных сообществ на графе, полученном при импорте данных из сети каналов мессенджера Telegram.

Ключевые слова: анализ социальных сетей, неявные сообщества графов, автоматический анализ текстов, частотный словарь, ранговая корреляция.

Для цитирования: Аванесян Н. Л., Зенькова В. В., Чеповский А. А., Чеповский А. М. Анализ текстов сообществ социальных сетей. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):33–39. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-05.

*Поступила в редакцию: 12.05.2023.**В окончательном варианте: 31.05.2023.***ANALYSIS OF SOCIAL MEDIA COMMUNITY POSTS****N. L. Avanesyan^{1,a}, V. V. Zenkova^{2,b}, A. A. Chepovskiy^{1,c}, A. M. Chepovskiy^{1,3,d}**¹ *Higher School of Economics, Moscow, Russian Federation*² *Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), Dolgoprudny, Moscow Region, Russian Federation*³ *Peoples Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation*^a *nlavanesyan@hse.ru*, ^b *zenkova.vv@phystech.edu*^c *ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0938-3517>, [✉ aachepovsky@hse.ru](mailto:aachepovsky@hse.ru)*^d *ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8959-6119>, chepovskiy-am@rudn.ru*

Abstract: the study is a statistical analysis of Telegram channels based on the correlation analysis of automatically generated frequency dictionaries. We presented the pairwise correlation factors for comparing the word frequency distribution in informal community posts. The method can identify informal communities by analyzing a graph built on the data exported from the Telegram messenger.

Keywords: social media analysis, informal graph communities, computerized analysis of texts, frequency dictionary, rank correlation.

Cite this article: Avanesyan N. L., Zenkova V. V., Chepovskiy A. A., Chepovskiy A. M. Analysis of Social Media Community Posts. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):33–39. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-05.

*Original article submitted: 12.05.2023.**Revision submitted: 31.05.2023.***Введение**

Анализ социальных сетей как графов взаимодействующих объектов является одним из самых актуальных направлений в исследовании сетевых систем [1–3]. В отечественной литературе чаще рассматривается построение моделей распространения информации и информационного влияния в социальных сетях [4–7]. Но важнее представляется решение задач информационного воздействия и смежных задач на основе анализа структуры графа социальных сетей [1, 2, 8, 9]. Актуальной и сложной

проблемой такого анализа является задача выделения неявных сообществ в графе социальной сети [9–12].

Под выделением неявных сообществ на графе подразумевается разбиение графа на подграфы, такое, что плотность связей внутри этих подграфов намного выше плотности связей между ними. При этом актуальна задача выделения на графе пересекающихся сообществ, подразумевающих наличие общих вершин, принадлежащих сразу двум или более сообществам. Для такого типа задач в [13] был разработан метод Галактик, который в процессе своего применения обеспечивает выделение пересекающихся неявных сообществ.

Одной из наиболее сложных задач при выделении сообществ на графе является проблема оценки корректности и эффективности работы соответствующих методов [1, 14]. Часто используемые способы оценки качества работы алгоритмов выделения сообществ основаны на использовании случайных графов [15, 16], что не соответствует структуре реальных сложных сетей [8, 14]. Поэтому в обзорной работе основоположников данной области исследований [2] проблема оценки качества выделения сообществ на графах ставится как актуальный вопрос информационных технологий.

В работе [17] было показано, что для качественного анализа сетей Telegram-каналов удобным инструментом является сочетание алгоритмического подхода по выделению сообществ в совокупности с подсчетом психолингвистических характеристик. Это позволяет выделять группы каналов, ведущих активное информационное воздействие, подтверждать корректность выделения неявных сообществ. В данной работе для сравнительного анализа текстов сообществ, выделяемых на графе Telegram-каналов, мы предлагаем использовать методику сравнения частотных словарей текстов этих сообществ. Такая методика была ранее применена в работе [18] для импортированных из сети Twitter данных.

Анализируемые сообщества социальных сетей

В данной работе мы исследуем атрибуты графов, которые получаются в результате импорта данных из сети Telegram-каналов согласно (U, M, R) -модели, описанной в [19]. Такого типа модели характеризуют распространение информации, имевшее место за импортируемый промежуток времени T . Кратко опишем содержание модели, предложенной в [19]. В своих сообщениях каналы имеют возможность ссылаться и цитировать публичные записи друг друга, вставлять в тексты сторонние URL-ссылки и упоминания других каналов с автоматическими тегами переходов для пользователей. Для построения графа взаимодействующих объектов этой сети в качестве вершин берутся каналы, а ребра между ними строятся на основании имевших место взаимодействий между каналами за промежуток времени T . Вес на ребрах такого графа задается как линейная комбинация весов, соответствующих каждому из зафиксированных типов взаимодействия. Само множество вершин строится поиском в ширину, начиная от заданного исходного множества, состоящего из одного или нескольких Telegram-каналов, путем пополнения этого множества за счет анализа на каждом шаге постов за промежуток времени T . За глубину скачивания отвечает параметр, который задает ограничение для осуществления поиска в ширину. Новые каналы для пополнения множества вершин находятся из постов каналов, составляющих текущее множество. Подробности модели и метода скачивания описаны в [13, 19].

Многие каналы в мессенджере Telegram не имеют единой тематики постов или отражают различные взгляды и интересы. По этой причине канал мессенджера может относиться к нескольким неявным сообществам сети, и необходимо применять алгоритмы для выделения именно пересекающихся сообществ на графах (т. е. одна вершина может относиться к нескольким сообществам).

В данной работе для анализа структуры графа применяется метод Галактик, предложенный в работе [13] и позволяющий выделить пересекающиеся сообщества на графе взаимодействующих объектов, полученном при импорте данных из мессенджера Telegram по указанной выше модели скачивания. Метод состоит в последовательном выполнении следующих шагов: выделение пересекающихся сообществ на взвешенном графе; формирование мета-графа из полученных вершин-сообществ; обработка полученного мета-графа и последующее выделение непересекающихся мета-сообществ на мета-графе. В итоге получается разбиение исходного графа на пересекающиеся сообщества.

Далее исследуются два графа мессенджера Telegram.

Для первого графа G_1 скачивание сети шло, начиная с канала *@kudago* (этот канал соответствует развлекательному сайту <http://kudago.com/msk/>). Начиная с данного канала, производился импорт данных из Telegram, согласно модели работы [19]. При импорте данных для этого графа за временной

интервал T был взят период с 03.10.2022 по 17.10.2022. Глубина импорта данных для графа G_1 была взята равной 5. Исходный скаченный граф G_1 состоит из 619 вершин и 2973 ребер.

Второй граф G_2 скачивался, начиная с канала @ob_obraz (этот канал рассказывает о новостях общего и высшего образования РФ). Начиная с данного канала, производился импорт данных из Telegram, согласно той же модели работы. Параметры модели были идентичны параметрам, использованным для первого графа. За временной интервал был взят период с 01.12.2022 по 31.01.2023. Глубина импорта данных для графа G_2 была взята равной 2. Исходный скаченный граф G_2 состоит из 168 вершин и 697 ребер.

Далее к графам G_1 и G_2 был применен метод Галактик и получены разбиения на неявные пересекающиеся сообщества. При анализе графа G_1 в процессе работы алгоритма некоторые вершины и инцидентные им ребра убираются из графа как не участвующие активно во взаимодействии, поэтому после работы метода у графа G_1 осталось 458 вершин. Эти вершины распределились по 8 выделенным пересекающимся сообществам. Аналогично у графа G_2 остались 89 изначальных вершин, из которых были сформированы 8 сообществ в соответствии с методикой работы [13]. Их так же оказалось 8 в данном случае.

Тексты и частотные словари текстов сообществ

Для каждого из сообществ S_i были скачаны текстовые сообщения всех пользователей — членов этих сообществ за исследуемый период. Полученные данные объединялись в единый для каждого сообщества массив текстов на естественном (русском) языке за указанный промежуток времени. В первых строках таблиц 1 и 2 приведены размеры созданных массивов текстов для сообществ первого и второго графов соответственно. При этом из текстов удалялись специальные символы, указатели. Методы анализа текстов сообществ социальных сетей были описаны в нашей работе [18].

Характеристики текстов определялись процедурами автоматизированной обработки текстов на естественных языках, описанными в [20, 21]. Лексический анализ позволяет формировать словари буквосочетаний различной длины.

Выделялись методами морфологического анализа отдельные части речи: существительные, глаголы и прилагательные. Частотные словари составлялись для канонических (начальных) форм слов, определяемых по результатам морфологического анализа. Процедуры синтаксического анализа [20] применялись для выделения именных и глагольных групп. Выделенные именные и глагольные группы несут информацию о различных аспектах тематического содержания текста. Частотные словари для словосочетаний составлялись для канонических (начальных) форм слов словосочетаний.

В качестве одной из лингвистических характеристик текста используется псевдооснова, под которой понимается часть слова без некоторых аффиксов. Используемые методы автоматического выделения псевдооснов разработаны в [20]. Лингвистическая характеристика псевдоосновы позволяет анализировать тексты без использования точных словоформ.

По результатам лингвистического анализа для каждого массива текстов сообществ S_i составлялись частотные словари различных характеристик, размеры которых в единицах записей приведены в таблице 1 для графа G_1 и таблице 2 для графа G_2 .

Таблица 1

Размеры текстов и частотных словарей текстов сообществ графа G_1

Словари текстов	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
Объем текстов (Кб)	335	39208	13571	3485	1633	37897	2925	10794
Буквосочетаний длиной 3 символа	5358	14161	12252	10092	8058	13785	8763	11958
Буквосочетаний длиной 4 символа	13224	68159	51774	37820	26166	65348	29962	50583
Буквосочетаний длиной 5 символов	17990	155459	106936	72282	44182	148137	53283	107010
Существительных	1373	12890	9100	6426	3785	12641	4507	9292
Глаголов	478	7581	5151	2947	1927	7255	2134	5109
Прилагательных	583	6182	4599	2838	1710	6128	2202	4336
Именных групп	11103	805899	368445	104458	45755	781353	94448	263547
Глагольных групп	2034	267680	105207	30786	13410	256324	24090	83145
Псевдооснов	4243	60280	38746	22625	12957	58487	16508	38054

Таблица 2

Размеры текстов и частотных словарей текстов сообществ графа G_2

Словари текстов	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇
Объем текстов (Кб)	988	985	566	782	1021	8914	11881	1981
Буквосочетаний длиной 3 символа	6429	6956	6174	6966	7749	11272	12475	8103
Буквосочетаний длиной 4 символа	18536	20912	17572	20366	25291	44828	54111	26704
Буквосочетаний длиной 5 символов	29077	33816	26633	31953	42117	90963	116542	45980
Существительных	2324	2990	2253	2771	3675	7926	10075	3959
Глаголов	1124	1270	882	1136	1574	4076	5831	1822
Прилагательных	1107	1385	1039	1208	1539	3904	4752	1858
Именных групп	31562	42606	20450	29896	29266	280770	325056	74379
Глагольных групп	9360	8635	4679	6908	7409	79580	99957	18350
Псевдооснов	7830	9706	7048	8850	11516	32135	42875	13887

Ранговый анализ словарей текстов сообществ

Сравнение корпусов текстов неявных сообществ возможно осуществлять попарным сравнением частотных словарей различных лингвистических характеристик (всей лексики в целом, отдельных частей речи, псевдооснов слов и подобных показателей), составленных для каждого из исследуемых наборов текстов. Для частотных словарей устанавливаются ранги записей словаря по результатам сортировки по частоте встречаемости занесенной в словарь характеристики. Записи словарей рассматриваются как случайные величины. Тогда для каждой пары словарей можно подсчитать коэффициенты ранговой корреляции, которые будем называть коэффициентами попарной ранговой корреляции. По существу, данные коэффициенты являются оценками наличия монотонной связи между случайными величинами.

Полагаем, что каждая пара словарей имеет одинаковый размер n записей, который в реальных расчетах ограничивается некоторым заданным значением n для каждого из рассматриваемых словарей. Данное «обрезание» словарей обеспечивает отбрасывание характеристик с низкими частотами использования (как правило, единичными).

Рассмотрим словари как выборки для двух случайных величин X и Y , которые обозначим $X^n = \{X_i\}_{i=1}^n$, $Y^n = \{Y_i\}_{i=1}^n$. Определим меру зависимости случайных величин X , Y через средние значения выборок \bar{X}^n и \bar{Y}^n . Для ковариации $\text{cov}(X^n, Y^n)$ тогда имеем:

$$\text{cov}(X^n, Y^n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}^n) (Y_i - \bar{Y}^n), \quad (1)$$

а дисперсия может быть записана в следующей форме:

$$\sigma_{X^n} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}^n)^2}. \quad (2)$$

Для отсортированных по частотам словарей будем рассматривать ранги элементов выборок rgX^n и rgY^n . Тогда коэффициент попарной ранговой корреляции для рассматриваемых выборок определяется следующим образом [22]:

$$r = r(rgX^n, rgY^n) = \frac{\text{cov}(rgX^n, rgY^n)}{\sigma_{rgX^n} \cdot \sigma_{rgY^n}}, \quad (3)$$

где числитель и знаменатель определяются формулами (1) и (2) соответственно.

Для ранжированных словарей размерностью n можем положить среднее рангов:

$$\overline{rgX^n} = \frac{n+1}{2}. \quad (4)$$

Получаем из (3) и (4) конкретное выражение для коэффициента попарной ранговой корреляции через значения рангов записей словарей rgX_i и rgY_i :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (rgX_i - \frac{n+1}{2})(rgY_i - \frac{n+1}{2})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (rgX_i - \frac{n+1}{2})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (rgY_i - \frac{n+1}{2})^2}}. \quad (5)$$

Формула (5) не накладывает никаких ограничений на порядок элементов, имеющих одинаковые значения. В случае набора k элементов X_{i_1}, \dots, X_{i_k} , имеющих одинаковые значения, они могут быть упорядочены согласно произвольной перестановке, и ранг i_j -го элемента можно задать:

$$rgX_{i_j} = R + \pi(j), \quad (6)$$

где R – ранг элемента, предшествующего по порядку группе элементов X_{i_1}, \dots, X_{i_k} ; $\pi(j)$, $j = 1, \dots, k$ – произвольная перестановка j -го элемента в группе элементов, имеющих одинаковые значения.

Коэффициент попарной ранговой корреляции r из (5) может принимать различные значения в зависимости от выбора перестановки $\pi(j)$ в формуле (6). Для целей однозначности вычисления коэффициента (5) используется ранг, усредненный по всем перестановкам $\pi(j)$, $j = 1, \dots, k$. Равные по значению элементы получают одинаковое значение усредненного ранга, не зависящее от их перестановки. Если все частоты внутри каждого из анализируемых словарей не совпадают (все элементы выборок \bar{X}^n и \bar{Y}^n различны), формула (5) преобразуется в классическую формулу ранговой корреляции Спирмена [23].

Однозначность и независимость от перестановок элементов с одинаковым значением при определении коэффициента попарной ранговой корреляции достигается использованием в (5) вместо ранга rgX_{i_1} элемента X_{i_1} , совпадающего по значению еще с элементами X_{i_2}, \dots, X_{i_k} выборки X^n , усредненный по всем перестановкам $\pi \in S_k$ ранг.

Посредством коэффициента попарной ранговой корреляции сравниваются два частотных словаря размерностью m над множеством лексических характеристик $W = \{\omega_i\}$ с частотными характеристиками f_i^k (где k – номер словаря).

$$D_1 = \left\{ d_{1,i}^m = \left(\omega_i, f_i^1 \right) \mid \omega_i \in W \right\},$$

$$D_2 = \left\{ d_{2,i}^m = \left(\omega_i, f_i^2 \right) \mid \omega_i \in W \right\}.$$

Анализируемые словари D_1 и D_2 могут иметь достаточно большие размеры. Поэтому мы рассматриваем только первые (по убыванию частоты) m элементов каждого из словарей. Таким образом, рассматриваются словари $D_1^m = \{d_{1,i}^m = (\omega_i, f_i^1) \mid rgf_i^1 \leq m\}$ и $D_2^m = \{d_{2,i}^m = (\omega_i, f_i^2) \mid rgf_i^2 \leq m\}$. В случае, если в D_1^m встречается слово ω , не встречающееся в D_2^m , мы полагаем при вычислении (5) его частоту в словаре D_2^m , равной 0, и наоборот. В данных исследованиях полагаем значение $m = 10000$.

Вычисляемый по (5) с учетом вышесказанного коэффициент попарной ранговой корреляции принимает значения на интервале $[-1, 1]$. Близкие к 1 значения говорят о монотонной согласованности словарей: если в одном словаре в паре слов одно имеет частоту выше другого, то оно и в другом имеет частоту выше другого. И так для всех пар. Близкие к -1 говорят об обратном эффекте: если в одном словаре слово с частотой выше второго, то в другом – наоборот, его частота будет ниже. То же для всех пар. Если значение близко к 0, то словари несогласованы: соотношение между частотами слов в одном словаре независимо от соотношения с частотами в другом словаре. Цель такого анализа: определить, насколько тексты разных выделенных пересекающихся сообществ близки по психологической направленности, способности к действиям, что может определить корректность разделения каналов (объектов сети) на сообщества по направленности их деятельности.

Результаты анализа текстов сообществ

Вычислительные эксперименты заключались в подсчете коэффициента корреляции (5) для всех пар частотных словарей лингвистических характеристик текстов выделенных сообществ, перечисленных в таблицах 1 и 2. Это следующие характеристики: буквосочетания длиной 3, 4 и 5 символов, существительные, глаголы, прилагательные, именные группы, глагольные группы, псевдоосновы. Мы исследуем для обоих графов по 8 сообществ, что означает определение 252 коэффициентов корреляции для наборов текстов сообществ каждого из двух графов. Далее конкретные примеры значений коэффициента корреляции приведены в таблицах 3 и 4, где представлены значения коэффициента корреляции (5) для конкретных словарей указанных в заголовке таблицы лингвистических характеристик объединенных текстов разных сообществ, выделенных в одном из рассматриваемых графов.

Сравнение по коэффициенту попарной ранговой корреляции частотных словарей буквосочетаний показывает сильное совпадение частотных распределений для буквосочетаний длиной до 3 символов, что подтверждает утверждение [18] о том, что данные буквосочетания характеризуют язык (все

наборы текстов на русском языке). Наблюдаемая согласованность частотных словарей буквосочетаний длиной 4 и 5 символов, псеодооснов для наборов текстов разных сообществ указывает на близость текстов разных сообществ по содержательной направленности, поскольку эти характеристики определяют, в первую очередь, тематику текстов.

Сравнение частотных словарей частей речи (существительных, прилагательных и глаголов) для различных наборов текстов сообществ по коэффициенту попарной ранговой корреляции показывает разброс значений, из которых невозможно принять решение о сравнении текстов разных сообществ.

Сравнение частотных словарей словосочетаний (именных и глагольных групп) показывает наличие возможных различий между частотными словарями словосочетаний текстов разных сообществ.

Для текстов сообществ первого графа сравнение словарей глагольных групп (Таблица 3) показывает возможность разделить наборы текстов большинства сообществ. Это указывает на различие текстов по их психологической направленности и направленности действия.

Результаты разделения текстов сообществ по именным группам показаны в таблице 4 для второго исследуемого графа. Словари именных групп попарно «обратны» по частотам использования словосочетаний в текстах. Это указывает на возможность выделения наиболее часто используемых именных групп в наборах текстов разных сообществ.

В целом результаты сравнения, представленные в таблицах 3 и 4, показывают возможность рассматривать словосочетания как дифференцирующие признаки сообществ.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции словарей глагольных групп текстов сообществ S_i графа G_1

	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
S_0	1							
S_1	-0.694	1						
S_2	-0.69	0.1	1					
S_3	0.529	-0.153	-0.258	1				
S_4	-0.741	-0.292	-0.409	-0.474	1			
S_5	-0.69	0.71	0.065	-0.168	-0.198	1		
S_6	-0.561	-0.055	-0.16	-0.213	-0.354	-0.029	1	
S_7	-0.655	0.197	-0.064	-0.073	-0.122	0.305	-0.102	1

Таблица 4

Коэффициенты корреляции словарей именных групп текстов сообществ S_i графа G_2

	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
S_0	1							
S_1	-0.574	1						
S_2	-0.488	-0.406	1					
S_3	-0.598	-0.446	-0.373	1				
S_4	-0.609	-0.591	-0.107	-0.539	1			
S_5	-0.53	-0.378	-0.414	-0.495	-0.553	1		
S_6	-0.483	-0.399	-0.403	-0.466	-0.462	0.14	1	
S_7	-0.572	-0.351	-0.147	-0.35	-0.503	-0.28	-0.32	1

Заключение

В данной работе на основе исследования реальных данных показана возможность оценки корректности выделения пересекающихся сообществ на графе, импортированном из сети Telegram-каналов. Данный подход основан на анализе методами компьютерной лингвистики объединенных корпусов текстов, выявленных у членов выделенных сообществ. Это может быть распространено на иные

графы, имеющие схожие атрибуты. Например, графы, полученные при импорте данных из социальных сетей.

Данная работа в совокупности с работами [17, 18] формулирует принципиально новый подход к оценке корректности выделения пересекающихся сообществ на графах взаимодействующих объектов, основанный на сочетании алгоритмических методов выделения сообществ с лингвистическим анализом текстов из выделенных сообществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чеповский А. А. О неявных сообществах на графе взаимодействующих объектов. *Успехи кибернетики*. 2023;4(1):56–64. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-1-08.
2. Fortunato S., Newman M. E. J. 20 Years of Network Community Detection. *Nat. Phys.* 2022;18:848–850.
3. Kanavos A., Voutos Y., Grivokostopoulou F., Mylonas P. Evaluating Methods for Efficient Community Detection in Social Networks. *Information*. 2022;13(5):209.
4. Базенков Н. И., Губанов Д. А. Обзор информационных систем анализа социальных сетей. *Управление большими системами: сб. трудов*. 2013:357–394.
5. Батура Т. В. Методы анализа компьютерных социальных сетей. *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*. 2012;10(4):13–28.
6. Батура Т. В., Копылова Н. С., Мурзин Ф. А., Проскуряков А. В. Методы анализа данных из социальных сетей. *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*. 2013;11(3):5–21.
7. Губанов Д. А., Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г. *Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства*. М.: Физматлит: МЦНМО; 2010. 228 с.
8. Евин И. А., Хабибуллин Т. Ф. Социальные сети. *Компьютерные исследования и моделирование*. 2012;4(2):423–430. DOI: 10.20537/2076-7633-2012-4-2-423-430.
9. Newman M. E. J. *Networks: An Introduction*. Oxford University Press; 2010. 784 p.
10. Newman M. E. J. Modularity and Community Structure in Networks. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2006;103(23):8577–8582.
11. Blondel V. D., Guillaume J.-L., Lambiotte R., Lefebvre E. Fast Unfolding of Communities in Large Networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*. 2008;10:P10008.
12. Rosvall M., Esquivel A., Lancichinetti A., West J., Lambiotte R. Memory in Network Flows and its Effects on Spreading Dynamics and Community. *Nature Communications*. 2014;5:4630.
13. Попов В. А., Чеповский А. А. Выделение неявных сообществ на графе взаимодействия Telegram-каналов с помощью «метода Галактик». *Труды ИСА РАН*. 2022;72(4):39–50. DOI: 10.14357/20790279220405.
14. Fortunato S. Community Detection in Graphs. *Physics Reports*. 2010;486(3):75–174.
15. Lancichinetti A., Fortunato S., Radicchi F. Benchmark Graphs for Testing Community Detection Algorithms. *Physical Review E*. 2008;78:046110.
16. Danon L., Díaz-Guilera A., Duch J. & Arenas A. Comparing Community Structure Identification. *J. Stat. Mech.* 2005;P09008.
17. Чеповский А. А. Об особенностях построения и анализа графов взаимодействующих объектов в сети Telegram-каналов. *Вопросы кибербезопасности*. 2023;1:75–81. DOI: 10.21681/2311-3456-2023-1-75-81.
18. Аванесян Н. Л., Соловьев Ф. Н., Чеповский А. А. Характеристики текстов сообществ социальных сетей. *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*. 2021;19(1):5–14. DOI: 10.25205/1818-7900-2021-19-1-5-14.
19. Попов В. А., Чеповский А. А. Модели импорта данных из мессенджера Telegram. *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*. 2022;20(2):60–71. DOI: 10.25205/1818-7900-2022-20-2-60-71.
20. Чеповский А. М. *Информационные модели в задачах обработки текстов на естественных языках*. М.: Национальный открытый университет «ИНТУИТ»; 2015. 228 с.
21. Соловьев Ф. Н. Автоматическая обработка текстов на основе платформы ТХМ с учетом анализа структурных единиц текста. *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*. 2020;18(1):74–82. DOI: 10.25205/1818-7900-2020-18-1-74-82.
22. Бендат Дж., Пирсол А. *Прикладной анализ случайных данных*. М.: Мир; 1989. 540 с.
23. Деза Е. И., Деза М. М. *Энциклопедический словарь расстояний*. М.: Наука; 2008. 444 с.

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-06

ФОРМИРОВАНИЕ СИНОНИМИЧНЫХ РЯДОВ С ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКОЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭМОЦИОНАЛЬНОСТИ СЛОВ**А. Р. Гончаров^а, С. А. Лысенкова^б, А. С. Назин^в***Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация*^а  *mr.tesanta@ya.ru*, ^б *lsa1108@mail.ru*, ^в *nazin_as@surgu.ru*

Аннотация: представлен результат экспертной оценки машинного перевода онлайн-сервисом «Reverso Context» в задаче формирования синонимичных рядов. Данные ряды формируют кортежи слов, предназначенные для проведения процедуры анкетирования методом «наилучшее-худшее масштабирование» и расчёта коэффициентов эмоциональности слов в новом тональном словаре. Номинальные оценки экспертов были переведены в связанные ранги, на основании которых рассчитан коэффициент согласованности экспертов. Обработанные оценки экспертов показывают адекватность подобранного данным сервисом перевода.

Ключевые слова: сентимент-анализ, словарь эмоций, сервис множественного перевода, экспертная оценка, машинный перевод, коэффициент согласованности.

Для цитирования: Гончаров А. Р., Лысенкова С. А., Назин А. С. Формирование синонимичных рядов с экспертной оценкой для получения коэффициентов эмоциональности слов. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):40–46. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-06.

*Поступила в редакцию: 18.06.2023.**В окончательном варианте: 19.06.2023.***EXPERT EVALUATION-BASED GENERATION OF SYNONYMIC SETS FOR SENTIMENT ANALYSIS****A. R. Goncharov^a, S. A. Lysenkova^b, A. S. Nazin^c***Surgut State University, Surgut, Russian Federation*^а  *mr.tesanta@ya.ru*, ^б *lsa1108@mail.ru*, ^в *nazin_as@surgu.ru*

Abstract: this study presents the expert evaluation of machine translation by the Reverso Context online service as applied to the generation of synonymic sets. These sets are used for a “best-worst” survey and estimation of emotionality levels to make a sentiment dictionary. The expert scores were converted into ranks. We also estimated the consistency index for the experts. The expert evaluations indicated that the machine translation offered by the online service is adequate.

Keywords: comparative analysis, speech mood dictionary, machine translation, sentiment analysis, consistency index.

Cite this article: Goncharov A. R., Lysenkova S. A., Nazin A. S. Expert Evaluation-Based Generation of Synonymic Sets for Sentiment Analysis. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):40–46. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-06.

*Original article submitted: 18.06.2023.**Revision submitted: 19.06.2023.***Введение**

Мнения являются неотъемлемой частью человеческого общения. Под мнением подразумевают суждение о каком-либо объекте, в результате которого выражается эмоциональная окраска (тональность) автора и несущая смысловая идея текста [1]. Умение распознавать тональность текстов успешно применяется в потребительской сфере, в новостных ресурсах и в прочем социальном инструментарии. Тенденция значимости мнений обусловлена возникновением больших данных и онлайн-технологий, что подразумевает автоматизированное нахождение тональности (сентимент-анализ) и обработку электронных текстовых массивов.

Чаще всего тональность текста определяется классификацией — соотношением его по заданным категориям: ранжированная шкала или принадлежность к какому-либо классу эмоциональности в выделенном множестве («положительная», «нейтральная» или «отрицательная»).

Автоматизация позволяет ускорить процесс классификации, и одним из существующих методов автоматизированного сентимент-анализа является использование тональных словарей — заранее

составленных лексических шаблонов с их тональной оценкой, которая может быть выражена номинально в виде шкалы проявлений эмоций и/или числовым значением. Суть методики заключается в присвоении каждому слову текста тональной оценки при наличии данного элемента в словаре. Совокупность таких оценок используют в принятии решения об итоговой тональности источника.

Каждый элемент словаря относят к конкретной области применения, что подразумевает анализ определённых текстовых источников и сложность самостоятельного составления подобного словаря. Поэтому в информационных системах сентимент-анализа чаще всего используют готовые решения. Например, краудсорсинговый тональный словарь «NRC-EIL» [2], содержащий часто употребляемые англоязычные слова из социальной сети «Twitter» с коэффициентами интенсивности эмоционального тона. Словарь применяется в таких областях, как разведка мнений, оценка тенденций продвижения коммерческих Интернет-продуктов, анализ лозунгов политических партий. Также словарь используется в задачах генерации текстов и лирической поэзии [3].

Важно отметить, что формирование мнений и образов восприятия мира у человека происходит на сознательном уровне той культуры, в которой он воспитывался, рос и контактировал с другими её представителями. Язык общения содержит большой объём когнитивных моделей, описывающих «концептуальную вселенную» человека и передающих эмоциональный опыт и специфику культуры. Данные модели уникальны для каждой культуры, так как в основе мировоззрения каждого народа лежит своя система социальных ценностей и стереотипов. Поэтому результат сентимент-анализа на одном языке может не быть перенесён на другой язык.

Тональные словари в разных языках неодинаковы: разный состав и объём описательной лексики, хотя сами по себе передающие психологические состояния (эмоции) элементов универсальны. Несмотря на то, что исследуемый тональный словарь NRC-EIL был переведён на более, чем 100 других языков (включая русский язык), можно встретить примеры «уникальных» слов (рис. 1), используемых в определённых социальных группах.

	Слово	Эмоция	Интенсивность эмоции	Перевод
164	fumin	anger	0.779	фумин
193	stfu	anger	0.750	стфу
3824	frankenstorm	fear	0.672	Франкеншторм
6152	carol	joy	0.328	Кэрол
6416	chow	joy	0.135	чау
6417	pitter	joy	0.134	питтер
9528	fain	trust	0.398	файн

Рис. 1. Примеры «уникальных» слов в NRC-EIL. Примечание: составлено авторами по источнику [4]

В связи с этим была выдвинута гипотеза о межкультурном различии интерпретации слов NRC-EIL в русскоязычной культуре, результатом которого является изменение значений коэффициентов тональности в данном тональном словаре [5]. Для проверки существования выдвинутой теории необходимо провести анкетирование выделенной группы русскоязычной аудитории методом «наилучшее-худшее масштабирование» с применением синонимичных рядов, позволяющих респонденту уникально идентифицировать элементы и произвести выбор крайних элементов.

Материалы и методы

Главной особенностью проведения анкетирования методом BWS (best-worst scaling, «наилучшее-худшее масштабирование») [6] для расчёта коэффициентов эмоциональности слов является предоставление респонденту выбора крайних элементов (наилучший и наихудший) по рассматриваемому свойству из набора альтернатив. Метод опирается на частоту выбора объектов, которая обеспечивает метрику их сравнения важности, и в его основе лежит теория выбора по шкале максимального различия (maxdiff). Стоит отметить, что метод «BWS» и модель «maxdiff» не являются тождественными и рассматривают разные подходы в выборе: первый предполагает, что индивид производит

выбор наилучшего/наихудшего элемента в определённом порядке, в то время как второй предполагает одновременный выбор пары элементов на основе максимальной разности шкалы полезности [7].

Для подсчёта коэффициентов русскоязычной версии NRC-EIL участнику анкетирования поочередно предоставляют вариант кортежа из $n = 4$ разных слов из множества N и предлагают произвести крайний выбор двух элементов, где проявляется соответственно наилучшая и наихудшая интенсивность рассматриваемой эмоции (в данном случае исследуется категория «радость»). Для проведения исследования выбрана эмоциональная группа «радость» в связи с содержанием небольшого количества элементов и трудоёмким процессом получения коэффициентов. Многие эксперты сходятся во мнении, что «радость» входит в группу базовых эмоций человека [8].

Данная постановка задачи формирует полное ранжирование объектов в «лёгкой» для респондента форме, а исследователю предоставляются парные оценки. В связи с тем, что респондентам необходимо предоставить кортеж из элементов русскоязычного перевода словаря, возникает необходимость идентификации одинаковых элементов, так как в рассматриваемой эмоциональной группе было выявлено 139 дублирующих позиций (рис. 2).

	Слово	Эмоция	Интенсивность эмоции	Перевод
5286	love	joy	0.828	любовь
5302	greatful	joy	0.816	благодарный
5328	lovinlife	joy	0.797	любовь
5332	grateful	joy	0.789	благодарный
5418	thankful	joy	0.727	благодарный
5616	amour	joy	0.607	любовь

Рис. 2. Примеры дублирующих позиций в переводе NRC-EIL. Примечание: составлено авторами по источнику [4]

Некоторые исходные слова словаря, например, «grateful» и «thankful», имеют одно и то же значение в русскоязычном переводе («благодарный»). Данная лексическая особенность связана с разнообразием семантических установок исходного языка, которые не всегда имеют смысловые соответствия в системе содержания языков перевода. Стоит учесть, что не во всех случаях можно подобрать идеальный эквивалент слову оригинала.

Предоставление участнику анкетирования кортежа слов с одинаковыми элементами приведёт к неясности, нарушению концепции метода BWS и, в конечном итоге, к несогласованным итоговым результатам, в ходе исследования респондент не сможет определить смысловое различие предоставляемых элементов выбора.

Было принято решение обогатить перевод соответствующими эквивалентными значениями, которые призваны дополнить «центральный элемент мысли», образуя тем самым синонимичный ряд. Под «синонимичным рядом» подразумевается список однозначных слов, ранжированных в зависимости от интенсивности или оттенка определённого качества [9]. В данном исследовании синонимичный ряд отражает более или менее передающие понятия «опорного» слова (доминанта), расположенного для удобства в начале ряда. Например, для опорного слова «счастье» сформированный синонимичный ряд может иметь следующий вид:

< счастье, благодать, успех, блаженство >

Наполнение ряда является субъективным действием, не поддающимся строгой оценке правильности подбора соответствующих слов. Уровень знаний и личный образ восприятия мира у человека создают его личную интерпретацию вопроса при коммуникации, а образы ситуаций реагирования на окружение мотивируют использовать синонимические ряды в естественном языке.

Одним из способов составления синонимичного ряда является применение множественного

перевода с помощью аналогов, когда иностранному слову соответствует несколько значений с последующим выбором наиболее подходящих по контексту слов [10].

Правильный перевод и подбор соответствующих аналогов является трудной задачей для полной передачи смыслового значения исходного слова. Для получения адекватных результатов исследования привлекаются эксперты, оценивающие сформированный машинный перевод. Экспертам предоставляется пояснительная записка, отражающая цель и задачи экспертизы, приводятся краткие сведения о рассматриваемом предмете оценивания.

В оценке перевода могут быть задействованы эксперты с возможным наличием различающихся взглядов, концепций, опыта, поэтому возникает вероятность проблемы согласованности. В данном случае под «согласованностью» понимается общий уровень знаний экспертов, позволяющий прийти к единому заключению по решаемой задаче. Для расчёта согласованности экспертов применяется коэффициент согласованности (конкордации) Мориса Кендалла. Коэффициент выражает количественную степень близости индивидуальных мнений/ответов экспертов и, в данном случае, равен единице, если ответы экспертов одинаковы, и равен нулю, если ответы различны. Условие применения данного коэффициента заключается в представлении оценок каждого эксперта в виде рангового ранжирования: номинальные оценки каждого эксперта переводят в связанные ранги в порядке возрастания относительно других его значений. В случае одинаковых оценок присваивается ранг, представляющий собой среднее значение из тех рангов, которые они получили бы, если бы не были равны. Например, при оценивании экспертом некоторых объектов по пятибалльной шкале формируется ряд номинальных оценок $\langle 2, 1, 4, 5, 4 \rangle$ и при его переводе в ранжированные связанные ранги образуется ряд $\langle 2, 1, 3.5, 5, 3.5 \rangle$.

Итоговая согласованность экспертов по коэффициенту Кендалла с ранжированными связанными рангами рассчитывается по следующей формуле [11]

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j}, \quad (1)$$

где: m — количество экспертов ($m = 3$); n — количество оценок ($n = 1264$); $S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} - \bar{x} \right)^2$; x_{ij} — оценка i -ого наблюдения j -ым экспертом; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} \right)$; $T_j = \sum_{k=1}^{H_k} \left(h_k^2 - h_k \right)$.

В формуле (1) T_j — показатель связанных рангов в j -ой ранжировке эксперта, H_k — число групп равных рангов в j -ой ранжировке, h_k — число равных рангов в k -ой группе связанных рангов при ранжировке j -ым экспертом. В данном случае $H_k = 4$ для каждой ранжировки ответов эксперта, так как в качестве оценивания использовалась номинальная шкала из 4 вариантов оценки перевода.

Как известно, одной из целей проведения экспертизы является получение полной согласованности экспертов. Необходимо убедиться, что полученный коэффициент согласованности W является не случайной величиной, а истинным значением, которому можно доверять в полученных результатах экспертизы. Поэтому произведём проверку значимости коэффициента согласованности. Для определения значимости связанных ранжированных рангов при большом числе наблюдений/оценок используется распределение хи-квадрат (χ^2):

$$\chi^2_{\text{расч}} = \frac{12 \cdot S}{m \cdot n \cdot (n + 1) - \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^m T_j}. \quad (2)$$

Полученное значение сравнивается с табличным $\chi^2_{\text{табл}}$ по заданному уровню доверительной вероятности p и числу степеней свободы $df = n - 1$. Обычно доверительная вероятность принимается равной 0.95. Для оценки значимости коэффициента конкордации W необходимо и достаточно, чтобы найденное значение было больше табличного ($\chi^2_{\text{расч}} > \chi^2_{\text{табл}}$). В таком случае гипотеза о согласии экспертов в ранжировках принимается, иначе имеется несогласованность экспертов.

Результаты и их обсуждение

Для формирования синонимичных рядов элементов группы «радость» словаря NRC-EIL был использован онлайн-сервис «Reverso Context» множественного перевода, который выдаёт список часто

используемых эквивалентных значений (рис. 3). Для удобства восприятия полученные ряды имеют глубину до 4 первых часто используемых элементов. Отмечено, что не все термины были распознаны сервисом, поэтому принято решение в таких случаях использовать в анкетировании только исходный русскоязычный перевод словаря.

	Слово	Синонимичный ряд
0	happiest	самый счастливый, самые счастливые, самым счас...
1	happiness	счастье, счастье, радость, благополучие
2	bliss	блаженство, счастье, радость, благодать
3	celebrating	празднование, праздник, посвященный, празднует
4	jubilant	ликующий, ликовали, ликовал, ликуют
5	ecstatic	восторженный, экстатический, экстатичный, экст...
6	elation	восторг, эйфория, радость, душевный подъём
7	beaming	сияющий, испускающий лучи, сияние, группировка
8	bestdayever	самый лучший день,
9	loveee	любимая,

Рис. 3. Примеры сформированных синонимичных рядов. Примечание: составлено авторами по источнику [4]

Для проверки адекватности подобранных онлайн-сервисом множественного перевода терминов, которые должны отражать смысловую идею первого исходного слова в ряду, были приглашены три эксперта.

В результате проведения экспертизы получены три ряда номинальных оценок перевода (рис. 4), значения которых располагаются в диапазоне от 0 до 3, где:

- «0» — полностью некорректный;
- «1» — скорее некорректный, чем корректный;
- «2» — скорее корректный, чем некорректный;
- «3» — полностью корректный.

	Слово	Машинный перевод	эксперт 1	эксперт 2	эксперт 3
0	happiest	самый счастливый, самые счастливые, самым счас...	3	3	3
1	happiness	счастье, счастье, радость, благополучие	3	3	3
2	bliss	блаженство, счастье, радость, благодать	2	3	3
3	celebrating	празднование, праздник, посвященный, празднует	2	3	2
4	jubilant	ликующий, ликовали, ликовал, ликуют	2	3	2
5	ecstatic	восторженный, экстатический, экстатичный, экст...	3	3	3
6	elation	восторг, эйфория, радость, душевный подъём	3	3	3
7	beaming	сияющий, испускающий лучи, сияние, группировка	2	3	2
8	bestdayever	самый лучший день,	3	2	3
9	loveee	любимая,	2	3	0

Рис. 4. Примеры полученных экспертных оценок. Примечание: составлено авторами по источнику [4]

Так как экспертные оценки измеряются в номинальной шкале, то их значения были переведены в ранжированные связанные ранги (рис. 5).

Была рассчитана согласованность экспертов, где коэффициент $W = 0,6697$.

	Слово	Машинный перевод	эксперт 1	эксперт 2	эксперт 3
0	happiest	самый счастливый, самые счастливые, самым счас...	729.5	735.0	708
1	happiness	счастье, счастье, радость, благополучие	729.5	735.0	708
2	bliss	блаженство, счастье, радость, благодать	123.5	735.0	708
3	celebrating	празднование, праздник, посвященный, празднует	123.5	735.0	105
4	jubilant	ликующий, ликовали, ликовал, ликуют	123.5	735.0	105
5	ecstatic	восторженный, экстатический, экстатичный, экст...	729.5	735.0	708
6	elation	восторг, эйфория, радость, душевный подъём	729.5	735.0	708
7	beaming	сияющий, испускающий лучи, сияние, группировка	123.5	735.0	105
8	bestdayever	самый лучший день,	729.5	124.5	708
9	loveee	любимая,	123.5	735.0	105

Рис. 5. Пример перевода оценок в связанные ранги. Примечание: составлено авторами по источнику [4]

По полученным оценкам была проведена проверка согласованности экспертов для убеждения в наличии общего уровня их знаний по решаемой задаче. При наличии связанных рангов $\chi^2_{\text{расч}} = 2537,51$. Табличное значение в данном случае $\chi^2_{\text{табл}} = 1346,79$ при $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $df = 1263$. Поскольку $\chi^2_{\text{расч}} \geq \chi^2_{\text{табл}}$, то можно утверждать с 95% вероятностью, что экспертные оценки перевода взаимно непротиворечивы и имеется согласованность мнений экспертов по вопросу качества перевода.

Преобразуем оценки экспертов в два качественных класса перевода: «корректный» и «некорректный», где в «корректный» входят оценки $y \in \{2,3\}$, а в «некорректный» — $y \in \{0,1\}$. Количество элементов класса «корректный» составляет 1218 (при учёте голосования выбора из всех оценок экспертов), что составляет 96,36% от всего объёма словаря.

Заключение

Полученные оценки экспертов показывают адекватность подобранного перевода в сформированных синонимичных рядах из слов группы эмоции «радость» словаря NRC-EIL. Машинный перевод онлайн-сервисом «Reverso Context» показал способность подобрать эквивалентные значения по заданному опорному слову. Отмечено, что полностью с задачей формирования синонимичных рядов сервис не справился, что показывает необходимость ручного контроля для получения более достоверных результатов исследования.

Расчёт новых коэффициентов эмоциональности слов группы «радость» NRC-EIL основывается на попарных сравнительных оценках BWS соответствующих элементов словаря. Полученные синонимичные ряды позволят сформировать анкеты и провести опрос среди русскоязычных пользователей. Анкетирование по методу BWS позволит получить данные коэффициенты и частично проверить существование выдвинутой гипотезы о межкультурном различии в использовании данного тонального словаря.

Наличие словаря улучшает качество работы систем сентимент-анализа, снижает зависимость от внешних данных (признаков) и позволяет в удобной форме хранить оценочную лексику языка. Важно отметить, что полностью отказаться от использования внешних источников в глубоком сентимент-анализе невозможно, так как наличие дополнительных признаков снимает с текстов неоднозначность и уточняет смысл конструкций при помощи адаптации систем к рассматриваемой предметной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юрганов А. А. Сентимент-анализ как инструмент исследования текстов. *Проблемы современной науки и образования*. 2017;29:39–41. EDN: ZDMSVF.
2. *The NRC Emotion Intensity Lexicon*. Режим доступа: <https://www.saifmohammad.com/WebPages/AffectIntensity.htm>.
3. Bena B., Kalita J. K. Introducing Aspects of Creativity in Automatic Poetry Generation. *ArXiv*. 2002;02511.

4. *Обработка и анализ данных с Pandas. Блог о разработке на Python.* Режим доступа: <https://egorovegor.ru/pandas-obrabotka-i-analiz-dannyh-v-python/>.
5. Гончаров А. Р., Лысенкова С. А. Анализ английского лексикона интенсивности эмоций и формирование алгоритма построения его русскоязычной версии. *Вестник кибернетики.* 2022;4:29–36. DOI 10.34822/1999-7604-2022-4-29-36.
6. Flynn T. N., Marley A. A. J. Best-Worst Scaling: Theory and Methods. *Handbook of Choice Modelling.* Edited by S. Hess, A. Daly. Edward Elgar Publishing; 2014. P. 178–201.
7. Marley A. A. J., Louviere J. J. Some Probabilistic Models of Best, Worst, and Best-Worst Choices. *Journal of Mathematical Psychology.* 2005;49(6):464–480. Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2005.05.003>.
8. Пенский О. Г. Роботы и человек. *Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика.* 2020;3:50–55. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/journal/issue/322388>.
9. *Теория перевода: учеб. пособие* / сост. Ж. С. Пустовалова. Казань: КГК им. Жиганова; 2015. 82 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/180910>.
10. *Основы технического перевода: учеб. пособие* / сост. Ю. В. Титова, Т. В. Капустина. Ульяновск: УлГТУ; 2016. 170 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/165029>.
11. Лубенец Ю. В. Альтернативный коэффициент конкордации при наличии связанных рангов. *Вестник Воронежского государственного технического университета.* 2021;17(1):40–45. DOI 10.36622/VSTU.2021.17.1.005. EDN: XBBVII.

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-07

ЕДИНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ФОНД ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ КАК БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПАРСЕР СТРУКТУРЫ ДАННЫХ В ФОРМАТЕ ЯЗЫКА ОПИСАНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Л. О. Перетяtko

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных», г. Обнинск,

Российская Федерация

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9182-2952>, ✉ peretyatkol@meteo.ru

Аннотация: данная статья относится к серии статей, посвященной работе с данными, размещёнными в Едином государственном фонде данных Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), а именно, технологиям и инструментам для работы с этими данными как с большими данными.

Статья посвящена универсальному парсеру структуры данных в формате ЯОД (языка описания гидрометеорологических данных). Структура данных в формате ЯОД также называется ЯОД описанием. Разработанный парсер осуществляет анализ, разбор и сохранение структуры ЯОД описания для последующей конвертации данных в этом формате. Для реализации парсера была разработана система классов на основе описания формата ЯОД. Результатом работы парсера является структура ЯОД в виде набора взаимосвязанных объектов разработанных классов для обеспечения возможности чтения или записи данных в формате ЯОД. Универсальный парсер является ключевой составляющей комплекса программных средств взаимной конвертации данных в формате ЯОД в современные распространённые форматы.

В работе представлены диаграмма классов в нотации UML и их описание, особенности универсального парсера, подробное описание этапов его работы.

Универсальный парсер ЯОД описания разработан на базе Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных.

Ключевые слова: язык описания гидрометеорологических данных, Единый государственный фонд данных, ЕГФД, парсер, технология обработки данных, иерархическая структура данных.

Для цитирования: Перетяtko Л. О. Единый государственный фонд гидрометеорологических данных как большие данные. Универсальный парсер структуры данных в формате языка описания гидрометеорологических данных. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):47–52. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-07.

Поступила в редакцию: 10.04.2023.

В окончательном варианте: 10.04.2023.

THE NATIONAL HYDROMETEOROLOGICAL ARCHIVE AS BIG DATA. A UNIVERSAL PARSER OF THE HYDROMETEOROLOGICAL DATA DESCRIPTION LANGUAGE

L. O. Peretyatko

All-Russia Research Institute of Hydrometeorological Information, World Data Center, Obninsk, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9182-2952>, ✉ peretyatkol@meteo.ru

Abstract: this paper refers to a series of papers on handling the big data stored in the National Hydrometeorological Archive (NHA) managed by the Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.

This study presents a universal parser of the data structure in the HDDL format (hydrometeorological data description language). The parser analyzes, parses, and saves the HDDL document structure for subsequent conversion. We developed a number of classes to handle the HDDL format. The parser produces a data source structure as a set of interconnected objects of the classes to read or write data in the HDDL format. The universal parser is a key component of the software package for HDDL data conversion into other common formats.

The paper presents an UML diagram of the classes and their description, features of the universal parser, and a detailed description of its operation.

The universal parser is developed at the All-Russia Research Institute of Hydrometeorological Information, World Data Center.

Keywords: hydrometeorological data description language, National Hydrometeorological Archive, NHA, parser, data processing, hierarchical data structure.

Cite this article: Peretyatko L. O. The National Hydrometeorological Archive as Big Data. A Universal Parser of the Hydrometeorological Data Description Language. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):47–52. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-07.

Original article submitted: 10.04.2023.

Revision submitted: 10.04.2023.

Введение

Данная статья относится к серии статей, посвященной работе с данными, размещёнными в Едином государственном фонде данных Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), а именно, технологиям и инструментам для работы с этими данными как с большими данными [1].

Электронные данные Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении (ЕГФД) хранятся в специальном формате ЯОД (язык описания гидрометеорологических данных). Особенностью этого формата является возможность описывать иерархическую структуру данных, получаемых от наблюдательной сети Росгидромет. Подробное описание формата ЯОД представлено в соответствующей статье [2].

Универсальный парсер структуры данных в формате ЯОД (ЯОД описания) реализован на языке программирования C++ [3], с использованием фреймворка Qt версии 5 [4]. Разработанный парсер является ключевой компонентой системы взаимной конвертации данных различной структуры [5].

Разработана система классов для парсера ЯОД описания, представленная в виде UML диаграммы [6] (см. рис 1).

Класс `StringMassive` представляет отдельные сегменты ЯОД описания, описывающие отдельные части записей или групп. Хранит текстовое описание сегмента, имя вышестоящего по иерархии сегмента и уровень вложенности.

Класс `Element` представляет элементы ЯОД описания. Хранит информацию о элементе: имя, тип, формат хранения, формат преобразования, список допустимых значений, комментариев и прочую вспомогательную информацию.

Класс `Group` представляет группу элементов ЯОД описания. Хранит список элементов, тип, имя, имя вышестоящей по иерархии группы, уровень вложенности, количество экземпляров, описание группы, а также другую вспомогательную информацию.

Класс `Record` представляет записи ЯОД описания. Хранит информацию о записи: имя, список целых групп, список фрагментов групп, номер и список отдельных сегментов описания записи.

Класс `Core` представляет ЯОД описание. Реализует методы для получения и сохранения ЯОД описания и его использования в последующей конвертации. Хранит список записей, заголовков каждой записи, название семейства ЯОД описания, тип данных в формате ЯОД, определяемый по ЯОД описанию.

Особенности парсера

Разработанный парсер ЯОД описания обладает следующими особенностями:

- универсальность — работа парсера была успешно протестирована на примере шестидесяти различных ЯОД описаний метеорологических, аэрологических, океанографических и гидрологических данных;

- использование регулярных выражений [7] для упрощения анализа и разбора на составляющие строк ЯОД описания;

- использование рекурсивных алгоритмов;

- сохранение особенностей иерархической структуры ЯОД, которые учитываются при дальнейшей конвертации;

- сохранение текста ЯОД описания в качестве метаданных.

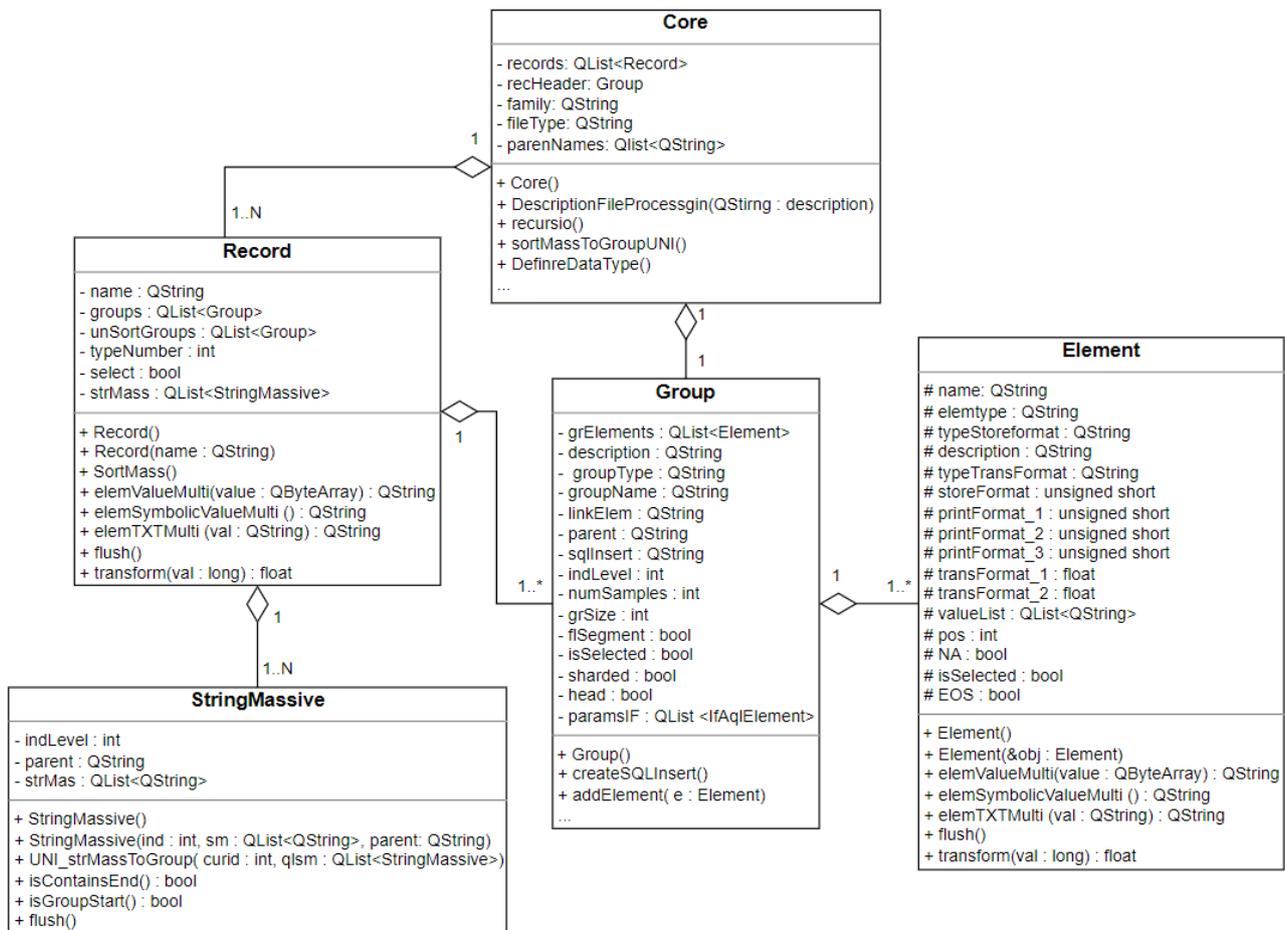


Рис. 1. UML диаграмма классов парсера ЯОД описания

Алгоритм работы парсера

Файл с ЯОД описанием считывается построчно. После чтения каждой строки из неё удаляются лишние пробелы в начале и в конце, множественные пробелы или табуляции заменяются на одинарные пробелы.

Работу парсера ЯОД описания можно разделить на четыре основных этапа.

На первом этапе ведётся поиск строки с ключевым словом FAMILY, в которой выделяется и сохраняется имя семейства файлов, указанного после ключевого слова (SI — имя семейства, см. рис 2). Затем выполняется поиск одного из двух возможных ключевых слов — RECORD или RECORDS. Наличие ключевого слова RECORDS означает наличие описания заголовка для множества типов записей в ЯОД описании (см. рис 2) и дальнейшее появление ключевого слова RBODY, обозначающего начало описания каждой отдельной записи. Заголовок каждой записи имеют одинаковую структуру и содержит данные, которые позволяют идентифицировать каждую запись в файле с данными. При обнаружении слова RECORDS выполняется сохранение описания заголовка записей для дальнейшей обработки. Ключевое слово RECORD означает, что описывается только одна запись, а описание заголовка отсутствует. При обнаружении слова RECORD выполняется чтение и сохранение описания всей записи.

На втором этапе, если обнаружено ключевое слово RECORDS:

- выполняется обработка текстового описания заголовка записей и сохранение его в виде объекта класса Group (поле recHeader класса Core);
- выполняется поиск ключевого слова RBODY и считывание описания каждой записи до конца файла. Описание каждой записи заканчивается комбинацией ключевого слова END и именем записи, указанного после RBODY;
- выполнение рекурсивной обработки полученного описания записи — разделение на отдельные текстовые сегменты (см. рис 3). Для каждого сегмента определяется уровень вложенности (начинается

```

FAMILY SI V(4044);

RECORDS;
LNG  ДЛЗАП  В(2) PC(4); //
MIT  НУЛИ    В(2) PC(4); //
KEY(I,СПГОД) ГОД      В(2) PC(4); // Год
KEY(I,СПМЕСЯЦ ) МЕСЯЦ В(1) PC(2); // Месяц
KEY(U) СТАНЦИЯ В(4) PC(7); // Станция
MRC(I) ТИПЗАП В(1) PC(2); // Тип записи (1-12)
    
```

Рис. 2. Описание семейства ЯОД файлов и заголовка записей в ЯОД описании

с нуля) и имя вышестоящего сегмента. Последние два шага выполняются для каждой следующей записи.

Если обнаружено ключевое слово RECORD, выполняется рекурсивная обработка и преобразование записи в объект.

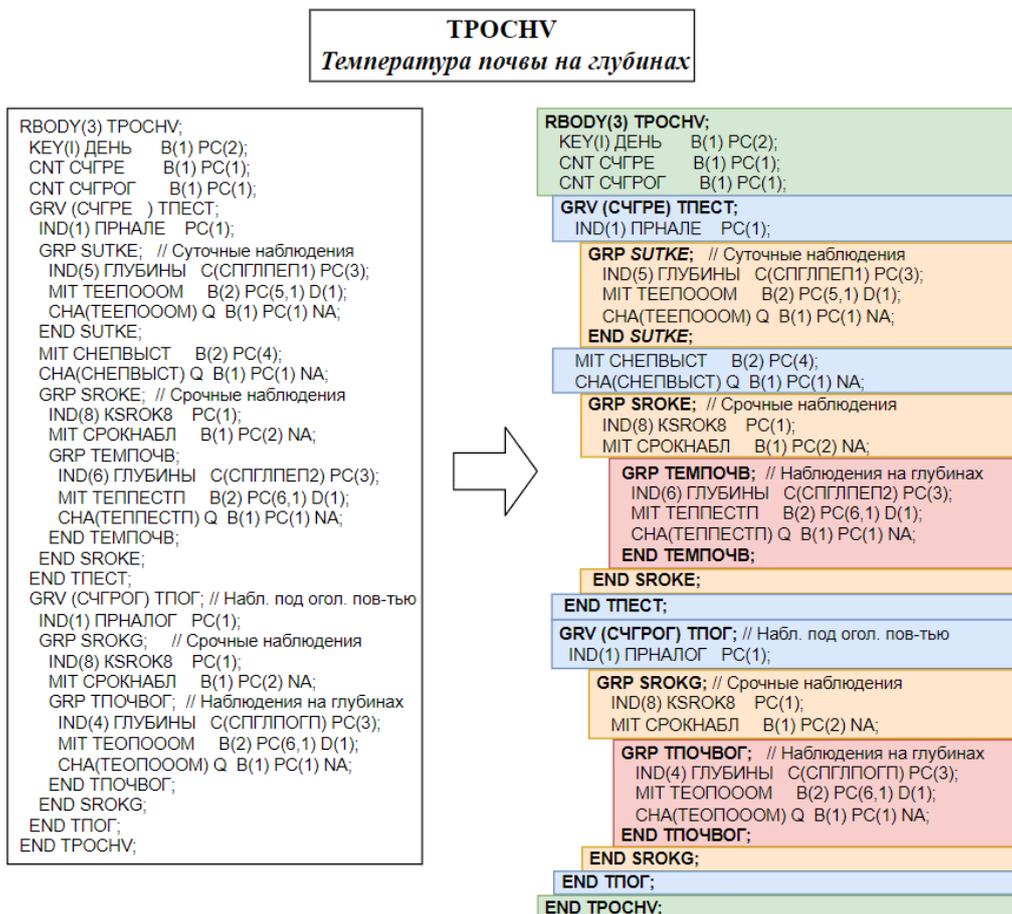


Рис. 3. Разделение ЯОД описания записи ТРОСНУ на отдельные тестовые сегменты

На третьем этапе в записи выполняется объединение текстовых сегментов, описывающих одну и ту же группу или элементы записи на одном и том же уровне. Таким образом получается список объединённых сегментов, который можно представить в виде иерархической структуры. На рисунке 4 представлен пример результата работы третьего этапа.

На четвертом этапе выполняется преобразование списка сегментов записи в список объектов класса Group, каждый из которых содержит полную информацию о группе. Причём преобразованию

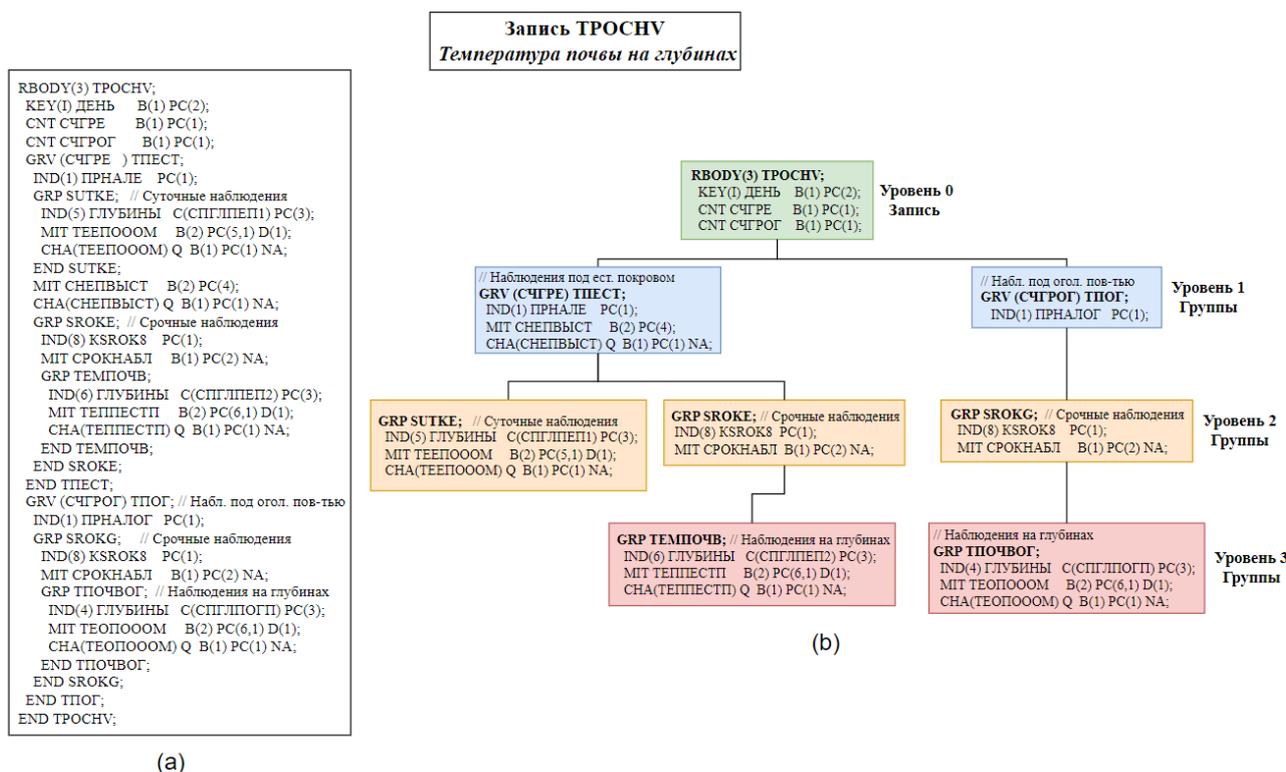


Рис. 4. Запись ТРОСНУ в формате ЯОД: (a) описание записи ТРОСНУ в формате ЯОД; (b) иерархическая структура записи ТРОСНУ из объединённых сегментов



Рис. 5. Списки описания групп: (a) список частей групп; (b) список целых групп

подвергаются как список отдельных сегментов записи, так и список объединённых сегментов. В итоге получается список целых групп (см. рис. 5.a) и список частей групп (см. рис. 5.b).

Список целых групп используется для создания структуры, например, в реляционной базе данных, и выстраивания связей между таблицами в ней. Список частей группы отражает порядок ЯОД и используется при чтении данных в формате ЯОД.

Заключение

В настоящей статье были представлены: диаграмма классов в нотации UML с подробным описанием каждого класса, особенности разработанного парсера, поэтапное описание алгоритма работы парсера на примере описания записи TPOCHV (температура почв на глубине), относящейся к восьмисрочным метеорологическим данным. В результате тестирования работы парсера на примере шестидесяти различных ЯОД описаний была доказана универсальность разработанного парсера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перетяцько Л. О. Единый государственный фонд гидрометеорологических данных как большие данные. Технологии и инструменты для работы с ним. *Успехи кибернетики*. 2022;3(4):98–101. DOI: 10.51790/2712-9942-2022-3-4-11.
2. Кофтан Ю. Р., Перетяцько Л. О. К построению технологии взаимной конвертации баз данных различной структуры для пополнения и верификации данных ЕГФД, а также для обслуживания потребителей. *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. 2018;181:162–174.
3. Шлее М. *Qt 5.10. Профессиональное программирование на C++*. СПб.: БХВ-Петербург; 2018. 1072 с.
4. *Документация Qt версии 5*. Режим доступа: <https://doc.qt.io/qt-5/qstring.html>.
5. Перетяцько Л. О., Кофтан Ю. Р. Система взаимной конвертации данных различной структуры для обслуживания потребителей ЕГФД. *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. 2020;186:163–175.
6. Арлоу Д., Нейштадт И. *UML 2 и Унифицированный процесс, Практический объектно-ориентированный анализ и проектирование*, 2-е изд. / пер. с англ. СПб: Символ-Плюс; 2007. 624 с.
7. Фицджеральд М. *Регулярные выражения: основы* / пер. с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс»; 2015. 144 с.

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-08

ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ГРУПП СВЯЗАННЫХ ДИСЦИПЛИН ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ БАКАЛАВРИАТА ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА»

М. В. Юрчишина^а, К. И. Бушмелева^б

Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация

^а ✉ nesterenko_mv@surgu.ru, ^б bkiya@yandex.ru

Аннотация: представлены результаты анализа названий и содержания рабочих программ дисциплин, входящих в учебный план направления обучения «Информатика и вычислительная техника» бакалавриата пяти различных высших учебных заведений. На основании анализа выбраны группы дисциплин, присутствующие во всех рассмотренных планах, с учетом анализа содержания; сформулированы названия этих групп. Для формирования оптимального учебного плана необходимо построить цепочки дисциплин, которые требуют последовательного расположения в учебном плане. Поскольку таких цепочек может быть несколько, сначала необходимо выделить группы дисциплин, связанных общей предметной областью. По результатам исследования предварительно выбраны несколько групп дисциплин, связанных общими базовыми понятиями, составлены вопросы анкетирования для проведения экспертного оценивания в данном вопросе и установления необходимого набора групп связанных дисциплин. Также сформулированы критерии к претендентам на роль экспертов в данном исследовании. Сформулированы вопросы для проверки соответствия участников опроса установленным критериям. Оформлена анкета-опросник для проведения заочного оценивания.

Ключевые слова: анализ, анкетирование, экспертное оценивание, учебный план, оптимизация, система ограничений.

Для цитирования: Юрчишина М. В., Бушмелева К. И. Подход к формированию групп связанных дисциплин для обучающихся бакалавриата по направлению «Информатика и вычислительная техника». *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):53–59. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-08.

Поступила в редакцию: 13.02.2023.

В окончательном варианте: 13.02.2023.

BUILDING GROUPS OF RELATED COURSES FOR THE UNDERGRADUATES MAJORING IN COMPUTER SCIENCE

M. V. Yurchishina^a, K. I. Bushmeleva^b

Surgut State University, Surgut, Russian Federation

^a ✉ nesterenko_mv@surgu.ru, ^b bkiya@yandex.ru

Abstract: this study analyzes the names and content of the syllabi from the B.Sc. Computer Science curricula in five universities. We identified the most frequent courses and categorized them into groups. An optimal curriculum includes chains of courses delivered sequentially. There can be several such sequences. We selected several groups of courses presenting the common basic concepts, and surveyed the experts. We also proposed the expert selection criteria and developed questionnaire for a distance evaluation.

Keywords: analysis, surveying, expert evaluation, curriculum, optimization, system of restraints.

Cite this article: Yurchishina M. V., Bushmeleva K. I. Building Groups of Related Courses for the Undergraduates Majoring in Computer Science. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):53–59. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-08.

Original article submitted: 13.02.2023.

Revision submitted: 13.02.2023.

Введение

Система высшего профессионального образования существенно трансформировалась за последние несколько десятилетий. Различные модификации вносятся регулярно, в связи с постоянно изменяющимися запросами производства на технических специалистов, появлением новых технологий и программных продуктов. Поэтому образовательные учреждения вынуждены ежегодно корректировать учебные планы, по которым обучаются студенты на одном и том же направлении, в том числе открывать новые профили. Основная задача учебного плана — систематизировать учебный процесс. В состав

учебного плана необходимо включить конкретный набор дисциплин, их трудоемкость, расположение в каком-либо семестре, а также определить перечень компетенций, которые данные дисциплины должны формировать. Основная часть учебного плана представляет собой таблицу большого размера. При очередной корректировке или составлении плана для нового профиля в рамках имеющегося направления значительная часть дисциплин сохраняется, но может изменяться их трудоемкость или расположение. При частых корректировках достаточно велика вероятность ошибок, допущенных в результате попыток соблюсти все требования к учебному плану, в том числе логических несоответствий в расстановке дисциплин.

Набор требований в каждом учебном заведении формируется из двух составляющих: ФГОС ВО (федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования) и внутренних требований учебного заведения (данные требования не могут противоречить ФГОС, но могут содержать более широкий набор ограничений). Процедура составления плана содержит большое количество рутинных операций. Данный процесс можно автоматизировать с применением системы поддержки принятия решений [1, 2, 3]. В работе [4] представлены основные задачи, допускающие автоматизированную оптимизацию в процессе составления учебного плана. Проектируется система, которая с помощью специалиста по формированию учебных планов (например, заведующего кафедрой) позволит оптимизировать учебный план в нескольких задачах [4]. Проектирование такой системы требует использовать значительный объем экспертной информации.

В настоящей статье рассматривается только одна из описанных задач. Она заключается в распределении дисциплин по учебным семестрам. Формулировка математической постановки оптимизационной задачи [5] содержит две основные части: постановка цели (целевая функция) и система ограничений. В задаче об определении местоположения дисциплины в учебном плане в качестве цели определено наиболее равномерное распределение по различным семестрам учебных дисциплин, формирующих различные виды компетенций. Такая цель выбрана в связи с тем, что зачастую студенты теряют интерес к обучению из-за малого количества специальных дисциплин на младших курсах. При составлении системы ограничений необходимо учесть все требования, установленные во ФГОС и нормативных документах вуза. Учет последовательности изучения дисциплин также предусмотрен системой ограничений.

Математическая модель

Оптимизационная задача для расстановки дисциплин в учебном плане оптимальным образом может быть записана в следующей форме.

Каждая дисциплина — $D_i(x_i, p_i, z_i)$, $i \in \mathbb{N}$ — характеризуется набором из трех значений (в рамках данной задачи) [4]:

x_i — номер семестра, в котором изучается данная дисциплина;

p_i — коэффициент значимости данной дисциплины;

z_i — минимальная трудоемкость данной дисциплины;

N — общее количество дисциплин.

При этом неизвестными фактически являются номера семестров всех дисциплин — x_i . Процесс расстановки требует известных значений трудоемкости каждой дисциплины (чтобы не нарушить требования по нагрузке на студентов) и коэффициентов значимости дисциплин. Коэффициент значимости дисциплины не является общепринятым термином, он вводится в работе [4] как результат формулирования оптимизационной задачи. В данной работе значения коэффициентов значимости не используются.

Целевая функция выбрана в виде (1).

$$F_{ц} = \prod_{s=1}^8 \sum_{i=1}^{n_s} p_i \rightarrow \max. \quad (1)$$

Значение такой целевой функции при равномерном распределении суммарного коэффициента по семестрам становится максимальным. При этом из-за системы ограничений достигнуть абсолютного максимума невозможно, но такая функция отражает достаточно четко приближение каждого суммарного по семестру значения коэффициентов к усредненному.

Построенная система ограничений состоит из трех групп, содержащих несколько однотипных уравнений или неравенств.

1. Общие ограничения на значения номеров семестров, обеспечивающие учебный процесс, рассчитанный на 8 семестров (2).

$$1 \leq x_i \leq 8, \quad \forall i \in \mathbb{N}, i \leq N, \quad (2)$$

где N — общее количество дисциплин.

2. Последовательность изучения дисциплин.

а. Если $(i + 1)$ -ая дисциплина должна изучаться сразу после i -ой, то

$$x_{i+1} = x_i + 1, \quad \forall i \in \mathbb{N}, i \leq N_1, \quad (3)$$

где N_1 — количество дисциплин, требующих строгой последовательной установки за какой-либо другой дисциплиной.

б. Если $(i + 1)$ -ая дисциплина должна изучаться не ранее i -ой, то

$$x_{i+1} \geq x_i, \quad \forall i \in \mathbb{N}, i \leq N_2, \quad (4)$$

где N_2 — количество дисциплин, требующих для изучения предварительное или параллельное изучение какой-либо другой дисциплины.

в. Если $(i + 1)$ -ая дисциплина должна изучаться в k -ом семестре, то

$$x_i = k, \quad \forall i \in \mathbb{N}, i \leq N_3, \quad (5)$$

где N_3 — количество дисциплин, для которых номер семестра изучения фиксирован.

3. Ограничение на общую трудоемкость семестра. Во ФГОС зафиксировано ограничение на общий объем трудоемкости в учебном году, но распределение нагрузки по учебным семестрам не следует делать очень неравномерным. Данное ограничение необходимо для избежания существенного дисбаланса между семестрами (6).

$$-2 + \frac{1}{8} \sum_{k=1}^N z_k \leq \sum_{k=1}^{n_s} z_k \leq 2 + \frac{1}{8} \sum_{k=1}^N z_k; \quad (6)$$

$\forall s \in \mathbb{N}, 1 \leq s \leq 8$, где n_s — количество дисциплин, изучаемых в семестре с номером s .

Для составления конкретных ограничений вида (3)-(5), то есть выбора дисциплин, которые требуют введения таких ограничений, необходимо установить связи между содержательными частями дисциплин, что требует использования экспертной оценки профессионалов, владеющих конкретными предметными областями.

Результаты и их обсуждение

Наибольшую сложность вызывает расстановка дисциплин, составляющих последовательные цепочки [6, 7], состоящие из трех и более дисциплин. В таблице представлена выборка дисциплин, разделенных на предположительные группы, которые удалось выделить при анализе пяти учебных планов различных учебных заведений.

Таблица

Выборка дисциплин из учебных планов различных вузов, реализующих образовательные программы по направлению обучения «Информатика и вычислительная техника» для бакалавриата

Учебное заведение	Математические дисциплины	Дисциплины, посвященные информатике	Дисциплины по программированию
Сургутский государственный университет	Математический анализ	Информатика	Основы программирования
	Алгебра и геометрия	Введение в профессиональную деятельность ИВТ	Алгоритмические языки программирования
	ТФКП и дифференциальные уравнения	Информационные технологии в ИВТ	Технологии программирования
	Теория вероятности и математическая статистика	Операционные системы	Системное программное обеспечение
	Дискретная математика		WEB-программирование

Учебное заведение	Математические дисциплины	Дисциплины, посвященные информатике	Дисциплины по программированию
	Математическая логика и теория алгоритмов	ЭВМ и периферийные устройства	Объектно-ориентированное программирование
	Методы оптимизации		
	Вычислительная математика	Теория информации	Программирование мобильных устройств
Российский университет транспорта	Математика (Аналитическая геометрия, Математический анализ, Дифференциальные уравнения)	Организация вычислительных машин и систем	Низкоуровневые языки программирования
	Линейная алгебра	Операционные системы. Аппаратно-программные платформы	Методы программной инженерии
		Периферийные устройства	Системы программирования
	Теория вероятностей и математическая статистика	Информационные технологии	Веб-программирование/ Разработка интернет-приложений
		Архитектура вычислительных систем и комплексов	Открытые программные платформы
	Дискретная математика	Информатика	Программирование
	Математическая логика и теория алгоритмов	Цифровые технологии	Языки программирования высокого уровня
		Основы вычислительной техники	Технологии программирования
Курский государственный университет	Математический анализ	Введение в информатику	Введение в программирование
	Основы математической логики	Архитектура вычислительных систем	Языки и методы программирования
	Дискретный анализ		Объектно-ориентированное программирование
	Алгебра и геометрия	Информационные технологии	Технологии программирования
	Анализ функций одной переменной	Администрирование операционных систем	Программирование микроконтроллеров
	Численные методы в инженерных исследованиях	Информационно-правовое обеспечение программного продукта	Функционально-логическое программирование Разработка IoT-вещей
Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова	Алгебра и геометрия	Информационные технологии	Программирование
	Математический анализ	Введение в профессиональную деятельность	Программирование дискретных структур
	Интегралы и дифференциальные уравнения		Программная инженерия
	Теория вероятностей и математическая статистика	ЭВМ и периферийные устройства	Объектно-ориентированное программирование Интернет-программирование
	Математическая логика и теория алгоритмов	Операционные системы	Программирование IC
	Компьютерные вычисления	Информационные системы	Тестирование программного обеспечения
	Теория принятия решений	Системное программное обеспечение	Программирование мобильных приложений
Донской государственный технический университет	Дискретная математика	Информатика и программирование	Информатика и программирование
	Теория вероятностей и математическая статистика	Операционные системы	
	Алгебра и аналитическая геометрия	Аппаратное обеспечение автоматизированных информационных систем	Программирование
	Математический анализ		WEB-программирование

Учебное заведение	Математические дисциплины	Дисциплины, посвященные информатике	Дисциплины по программированию
	Математическая логика и теория алгоритмов	Единая информационная среда	Разработка пользовательского интерфейса
	Графы и конечные автоматы	Программное обеспечение проектной деятельности	
	Численные методы		
	Основы математического моделирования	Системы хранения информации	Искусственный интеллект

В данной работе целью ставится выделение только групп дисциплин, а непосредственный состав в каждой группе будет анализироваться дополнительно.

Анализ выбранных планов показывает, что подходящими группами связанных дисциплин можно выбрать:

- математические дисциплины;
- дисциплины, связанные с информатикой;
- дисциплины по программированию.

Таким образом, к экспертному оцениванию предлагаются вопросы для установления необходимости именно этих групп и вопрос о необходимости включения других групп. Дополнительно экспертам ставится задача первичного оценивания самого набора дисциплин в группах, но получение окончательного решения потребует другого набора экспертов. При этом предварительная оценка послужит элементом сбора информации для последующих этапов экспертного оценивания [8].

Установление необходимости выбранных наборов дисциплин и обнаружение других цепочек взаимосвязанных дисциплин проводится методом экспертного оценивания. С помощью экспертного оценивания [5, 9] требуется установить следующий набор фактов или опровергнуть их. В каждой группе выбраны наиболее типичные названия дисциплин, и в вопросах для сбора информации предложен их ориентировочный перечень.

1. Необходим ли набор математических дисциплин?
2. Является ли предложенный набор математических дисциплин необходимым, достаточным, избыточным (предварительная оценка)?
3. Необходим ли набор дисциплин, связанных с информатикой?
4. Является ли предложенный набор дисциплин, связанных с информатикой, необходимым, достаточным, избыточным (предварительная оценка)?
5. Необходим ли набор дисциплин по программированию?
6. Является ли предложенный набор дисциплин по программированию необходимым, достаточным, избыточным (предварительная оценка)?
7. Необходимы ли какие-либо дополнительные группы учебных дисциплин?

Перечисленные вопросы составляют основную часть исследования в проектируемом анкетировании.

Для получения адекватного результата анкетирования необходимо установить критерии, по которым следует определять возможность выступать экспертом в данном исследовании. Поскольку основная задача, которая преследуется учебным процессом, — формирование ряда компетенций, необходимых специалисту в определенной области, то экспертами следует выбирать тех, кто обладает следующими качествами:

- понимает, каким набором компетенций должен обладать выпускник;
- понимает, какими учебными дисциплинами могут быть сформированы эти компетенции;
- имеет представление о типичном наборе используемых учебных дисциплин.

Подтверждение выбранных качеств можно установить по одному из следующих параметров, характеризующих кандидатов:

- подтвержденный стаж работы в области реализации образовательных программ высшего образования по направлению обучения «Информатика и вычислительная техника» для бакалавриата — не менее 5 (пяти) лет;
- подтвержденный опыт работы в области проектирования и/или оценки образовательных программ высшего образования по направлению обучения «Информатика и вычислительная техника» для

бакалавриата, в том числе подтвержденный опыт работы в сфере внутренней и/или внешней оценки качества образования по данному направлению;

- подтвержденный опыт работы в сфере профессиональной направленности обучающихся по направлению обучения «Информатика и вычислительная техника» для бакалавриата при наличии собственного диплома об образовании по данному направлению.

Кроме указанных фактических критериев будут учитываться наличие ученой степени, ученого звания в области технических наук, должностное положение, объективность, независимость, стремление помочь в исследовании.

Количество экспертов, необходимое для получения достаточной точности оценки, должно составлять не менее трех, но для хорошего значения точности результатов желательно привлечь 13-15 экспертов [10].

Составленная анкета содержит четыре области для удобства восприятия экспертами содержания и проведения экспертного оценивания (Рис.).

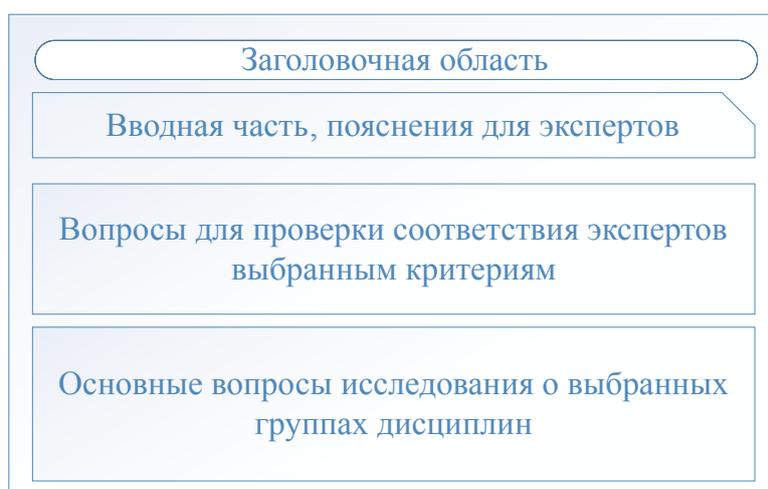


Рис. Схема составленной анкеты для выделения групп дисциплин

Наибольшую важность для исследования представляет часть, содержащая основные вопросы о выбранных группах. Вопросы данной части сформулированы в простой форме с выбором одного варианта ответа из имеющихся. При этом без подтверждения соответствия эксперта выбранным критериям невозможно будет воспринимать результат как достоверный. Вводная часть необходима для пояснения экспертам сути, цели и важности исследования, а также значимости их личного вклада в него.

Заключение

Проведен анализ набора дисциплин учебных планов различных учебных заведений по направлению обучения «Информатика и вычислительная техника» для бакалавриата за предшествующие периоды. Выделены группы дисциплин, объединенных общей предметной областью. Подготовлена анкета-опросник для проведения экспертного оценивания в заочной форме. Цель исследования заключается в выборе групп дисциплин для учебного плана по указанному направлению, связанных общими понятиями. Но анкета несет также и функцию предварительного сбора информации для последующего составления анкет и определения состава каждой группы дисциплин. Сформулированы критерии к экспертам и подготовлены вопросы для проверки выбранных критериев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Халин В. Г. *Системы поддержки принятия решений*: учеб. и практикум для вузов / под редакцией В. Г. Халина, Г. В. Черновой. М: Издательство Юрайт; 2023. 494 с.
2. Ларичев О. И., Петровский А. Б. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития. *Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика*. 1987;21:131–164.

3. Сараев А. Д., Щербина О. А. Системный анализ и современные информационные технологии. *Труды Крымской Академии наук*. Симферополь: СОНАТ; 2006. С. 47–59.
4. Юрчишина М. В., Бушмелева К. И. Математическое моделирование процесса оптимизации учебного плана высшего образования. *Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты*: сб. тр. нац. науч.-практ. конф. М.: РТУ МИРЭА; 2022. С. 141–144.
5. Рыков А. С. *Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации*. М.: Издательский ДОМ МИСиС; 2009. 608 с.
6. Алексахин С. В., Николаев А. Б., Строганов В. Ю. Моделирование связности дисциплин учебного плана в системе дистанционного образования. *Информационные технологии в образовании (ИТО-2001) Секция: 3. ИТ в открытом образовании*: мат. XI Международ. конф.-выставки. М.: МИФИ; 2001.
7. Лавлинская О. Ю. Ранжирование учебных дисциплин с использованием экспертных оценок. *Моделирование систем и информационные технологии*: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: Научная книга; 2006. Вып. 3. Ч. 2. С. 80–83.
8. Орлов А. И. *Экспертные оценки*: учеб. пос. М.: ИВСТЭ; 2002. 31 с.
9. Анохин А. Н. *Методы экспертных оценок*: учеб. пос. Обнинск: ИАТЭ; 1996. 148с.
10. Крянев А. В., Семенов С. С. К вопросу о качестве и надёжности экспертных оценок при определении технического уровня сложных систем. *Надёжность*. 2013;4:90–99.

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-09

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ПЕРЕДАВАЕМЫХ ДАННЫХ ПО СЕТИ

В. А. Жебель^{1,a}, А. И. Солдатов^{1,2,b}¹ Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация² Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Российская Федерация^a ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-9625-5250>, ✉ vladzhebel@yandex.ru; ^b asoldatof@mail.ru

Аннотация: в статье представлены результаты исследования способов защиты информации, передаваемой по вычислительным сетям, которые могут быть перехвачены и прочитаны, а также перехвачены и модифицированы. Показано, что существующие методы защищают информацию в сети с помощью криптографии (шифрования трафика), и только несколько методов проводят анализ поля TTL. В статье проведены исследования стека протоколов TCP/IP, сетевой модели OSI и полей кадра, установлены поля заголовков, которые будут использоваться в работе. Описаны инструменты, при помощи которых проводились исследования, отражается конфигурация пакетов. Предложен комплексный коэффициент достоверности для повышения достоверности передачи данных в сети предприятия за счет использования проверочных пакетов. Данный коэффициент является составным и включает в себя различные флаги и поля из сетевых протоколов стека TCP/IP, которые анализируются после приема. Предлагается гипотеза составления данного коэффициента достоверности и примерная шкала измерения. По результатам анализа делается вывод о достоверности принятых данных согласно данной шкалы измерения.

Ключевые слова: защита информации, сетевой трафик, коэффициент достоверности, поле кадра, протокол TCP/IP.

Для цитирования: Жебель В. А., Солдатов А. И. Использование коэффициента достоверности данных для определения достоверности передаваемых данных по сети. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):60–67. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-09.

Поступила в редакцию: 24.04.2023.*В окончательном варианте:* 24.04.2023.

THE RELIABILITY COEFFICIENT FOR NETWORK DATA TRANSMISSIONS

V. A. Zhebel^{1,a}, A. I. Soldatov^{1,2,b}¹ Surgut State University, Surgut, Russian Federation² Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation^a ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-9625-5250>, ✉ vladzhebel@yandex.ru; ^b asoldatof@mail.ru

Abstract: this study considers the protection of information transmitted over computer networks that can be intercepted and decoded, or modified. It is shown that existing data protection methods use cryptography (traffic encryption). Just a few methods analyze the TTL field. We studied the TCP/IP protocol stack, the OSI network model, and the frame fields, and identified the header fields to be used. We presented the research tools and their configuration. We proposed a comprehensive reliability coefficient to assess the reliability of data transmission in corporate network through the use of verification packets. The composite coefficient includes various flags and fields from the TCP/IP network protocols, which are analyzed after reception. A hypothesis for building the reliability coefficient, and an approximate measurement scale are proposed. The analysis shows that the hypothesis and scale are correct.

Keywords: information security, network traffic, reliability coefficient, frame field, TCP/IP protocol.

Cite this article: Zhebel V. A., Soldatov A. I. The Reliability Coefficient for Network Data Transmissions. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):60–67. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-09.

Original article submitted: 24.04.2023.*Revision submitted:* 24.04.2023.

Введение

В современном мире информационные данные предприятий и учреждений передаются по сети. Сети передачи данных делятся на локальные вычислительные сети и глобальные сети. Данные,

которые передаются, могут быть перехвачены и прочитаны или перехвачены и модифицированы. При таком исходе данные, которые пришли по локальной или глобальной сети, могут нести в себе как вредоносные программы, такие как вирусы, черви, троянские кони, а также модифицированные данные или просто неправильные данные. Эта проблема не нова, и разные ученые и компании решают её различными способами.

Первым и самым очевидным способом является шифрование [1]. Протоколы шифрования значительно увеличили безопасность передачи данных на некоторое время, однако с появлением мощных компьютеров, способных в реальном масштабе времени расшифровывать трафик, а также бурным развитием нейронных сетей проблема защиты данных обострилась [2]. Необходимо также указать на создание квантовых компьютеров, которые способны за довольно короткое время расшифровывать сетевой трафик. Данную проблему пытаются решить при помощи наращивания длины ключа, например, для протокола SSH длина ключа постепенно увеличивалась с 512 бит сначала до 1024 бит, далее до 2048 бит, а теперь производители оборудования рекомендуют ключ длиной в 4096 бит [3]. Это косвенно подтверждает развитие направления по расшифровке данных.

Вторым способом защиты данных являются сетевые брандмауэры, в английской терминологии firewall, или межсетевые экраны [4]. Данные устройства способны блокировать трафик извне и пропускают трафик только на выход. На выход пропускают только те данные, которые запрашивал пользователь. Реализация подобных устройств возможна как на аппаратном, так и на программном уровне [5]. Однако такие устройства не защищают от подменного трафика, если злоумышленник модифицирует трафик, который передается от запрашиваемого сервера. Кроме того, если злоумышленник находится между жертвой и сервером, он может получать ответ от сервера, переупаковывать трафик и посылать ответ машине жертвы.

Сетевых атак существует достаточно большое количество (может насчитываться несколько десятков), и они различаются по:

- характеру воздействия, оказываемого на сеть;
- цели оказываемого воздействия;
- наличию обратной связи с сетью, подвергнутой атаке;
- условию начала атаки;
- расположению субъекта по отношению к объекту атаки;
- уровню эталонной модели ISO.

Проблематикой защиты трафика от вредоносного воздействия или прослушивания занимаются многие ученые, среди которых можно отметить А. В. Черниговского, М. В. Кривова, А. Л. Истомина, В. А. Буковшина, Д. А. Чуб, И. Н. Колосок, А. Ч. Аманову. Каждый из них предлагает различные методы и способы решения указанных выше проблем на разных уровнях и для разных вычислительных сетей. Однако большинство из них предлагают для защиты трафика использовать криптографию [6] (шифрование трафика), и только пара методов обращаются к анализу поля TTL [7].

А. В. Черниговский, М. В. Кривов предлагают использовать способ анализа трафика с помощью сетевого анализатора и нейронной сети Кохонена [8]. В. А. Буковшин, Д. А. Чуб, И. Н. Колосок предлагают проводить анализ зашифрованного сетевого трафика на основе вычисления энтропии и применения нейросетевых классификаторов [9]. А. Ч. Аманова предлагает воспользоваться методом решения данной задачи при помощи применения помехоустойчивого кодирования, т.е. внесения избыточности в передаваемый по каналу цифровой сигнал для повышения достоверности передаваемой информации [10]. А. В. Неижмак предлагает использовать модель функционирования системы повышения достоверности с применением контрольных пакетов, в которой осуществляется защита от пассивного прослушивания трафика [11].

Авторы предлагают использовать коэффициент достоверности для выявления модифицированных данных, передаваемых по сети. В данной работе исследуется новый метод проверки достоверности данных, передаваемых по сети, путем передачи проверочных пакетов, которые будут иметь различные параметры на различных уровнях модели OSI, а также принятия этих пакетов на другой машине и расчета коэффициента достоверности данных, передаваемых по сети.

Предлагается ввести коэффициент, который состоит из различных параметров, где будут как качественные, так и количественные характеристики.

Материалы и методы

Предложенный нами новый метод проверки достоверности данных заключается в расчете коэффициента достоверности информации. Метод предполагает добавление «маячков» в кадры, пакеты, сегменты трафика, которые передаются по сети и выявляются на конечной электронно-вычислительной машине. Пакеты передаются через определенное время и определенным размером. Инструменты для этого можно применять различные, как самые простые, такие как утилита `ping` в расширенном ее применении, так и специальное программное средство на примере `Scapy` (<https://scapy.net/>) [12]. Данная программа, по сути, является библиотекой к языку программирования Python, которая позволяет генерировать трафик с заданными критериями, а также перехватывать трафик в сети.

Проведя исследования стека протокола TCP/IP были выбраны PDU (Protocol Data Unit — обобщённое название фрагмента данных на разных уровнях стека протокола TCP/IP) различных уровней, такие как: кадр, пакет, сегмент данных. В процессе исследования кадра информативных признаков выявить не удалось, однако в данном PDU как количественную характеристику можно применить размер кадра.

Следующим рассмотрен IP-пакет данных. Исследование проводилось на пакете протокола IPv4 (рис.1). В данном пакете можно применить поля, такие как:

- DSCP (Differentiated Services Code Point), под которое выделено 6 бит. Это поле используется для разделения трафика на классы обслуживания;
- поле Flag (флаги). Для него выделено 3 бита, которые используются для контроля над фрагментацией пакетов. Нас будет интересовать второй бит;
- поле TTL (Time-to-Live) имеет размер 1 байт (8 бит) и называется «Время жизни пакета». Данное поле нужно, чтобы пакет не блуждал по сети до бесконечности в том случае, если конфигурация транзитных узлов некорректная и произошла петля маршрутизации. В данном поле можно выбрать произвольное значение для проверочного пакета и изменять его через какое-то время.



Рис. 1. Фрагмент заголовка пакета сетевого протокола IPv4

На сетевом уровне были рассмотрены два протокола: IPv4 и IPv6. Флаги заголовка IPv4 были описаны ранее. IPv6 в целом похож на IPv4 (рис.2).

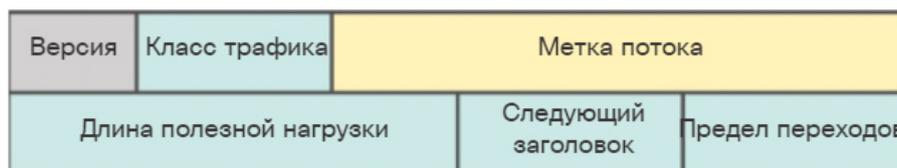


Рис. 2. Фрагмент заголовка пакета сетевого протокола IPv6

Существует небольшая разница в названии полей, в то же время поля «Класс трафика», где находятся флаги — DSCP (Differentiated Services Code Point), и Hop Limit (поле вместо TTL) остаются, что дает нам возможность использовать их.

Следующим является сегмент протокола управления передачей TCP (рис. 3). В данном PDU имеются:

- поле «Срочно» (Urgent), это 16-битное поле, используемое для указания срочности содержащихся данных;
- контрольные биты — 6 бит (Control bits);
- также есть гипотезы по использованию полей: опции (Options), Sequence Number и Acknowledgement Number.

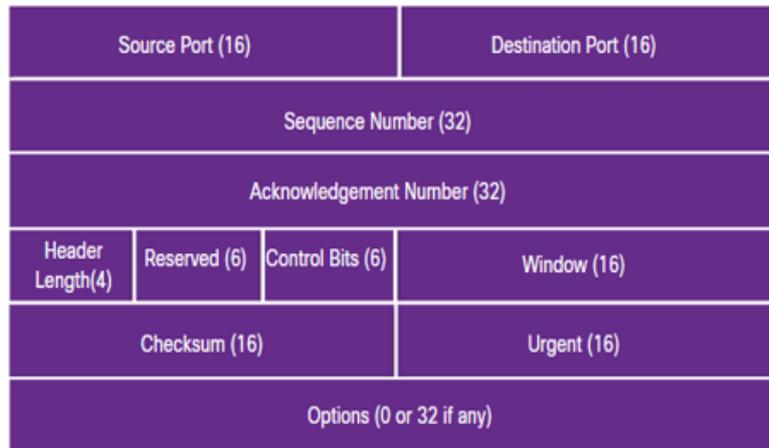


Рис. 3. Поля сегмента сетевого протокола TCP

Для шифрования трафика задаем интервалы времени, через которые будут отправляться проверочные пакеты. Например, пять или шесть секунд. Дополнительно рассматривается еще вариант внесения и кодирования информации, которая инкапсулируется с верхнего уровня (уровня приложения). После этого становятся известны все составляющие компоненты комплексного коэффициента, которые имеют буквенное обозначение: длина кадра — LF, длина пакета — LP, длина сегмента — LS, поле пакета DSCP — DSCP, поле пакета Flag (флаги) — F, поля пакета TTL для IPv4 и Hop Limit для IPv6 — T и H, поле сегмента Urgent протокол TCP — U, поле сегмента Control bits протокол TCP — CB, поле сегмента Options протокол TCP — O, поле сегмента Sequence Number протокол TCP — SN, поле сегмента Acknowledgement Number — AN, информация с верхнего уровня (уровень приложения) — Data. Таким образом, комплексный коэффициент достоверности (ККД) для протокола IPv4 — см. формулу 1.

$$LF + LP + LS + DSCP + F + T + U + CB + O + SN + AN + Data = \text{ККД}. \quad (1)$$

Для протокола IPv6 ККД будет иметь вид (см. формулу 2):

$$LF + LP + LS + DSCP + H + U + CB + O + SN + AN + Data = \text{ККД}. \quad (2)$$

Знаки плюс в формулах (1) и (2) не предполагают математическое сложение, а указывают на объединение данных в одно целое. Какой математической операцией — сложения или умножения — будут объединяться компоненты, авторам предстоит еще определить по результатам будущих исследований.

Далее, стоит определиться, какие показатели будут количественными, какие качественными. Предположим, длина кадра, длина пакета, длина сегмента — это количественные показатели, остальные — качественные показатели. При отсылке определенного сообщения оно обрастает заголовками разных уровней, в которых мы помечаем определенные поля и задаем такой формат, чтобы знать длину кадра и пакета.

Результаты и их обсуждение

Для проведения экспериментальных исследований необходим набор инструментов, при помощи которых можно формировать ККД. Так, при помощи элемента библиотеки Scapy напрямую нет возможности устанавливать длину кадра (рис.4). Поэтому ее придется задавать косвенно.

При рассмотрении IP-пакета выявлены поля и определены возможности их изменения (рис.5).

```
>>> ls(Ether)
dst      : DestMACField          = ('None')
src      : SourceMACField       = ('None')
type     : XShortEnumField     = ('36864')
>>>
```

Рис. 4. Поля кадра Ethernet, которые можно задавать в Scapy

```
>>> ls(IP)
version  : BitField (4 bits)    = ('4')
ihl      : BitField (4 bits)    = ('None')
tos      : XByteField          = ('0')
len      : ShortField          = ('None')
id       : ShortField          = ('1')
flags    : FlagsField         = ('<Flag 0 ()>')
frag     : BitField (13 bits)  = ('0')
ttl      : ByteField           = ('64')
proto    : ByteEnumField       = ('0')
chksum   : XShortField         = ('None')
src      : SourceIPField       = ('None')
dst      : DestIPField         = ('None')
options  : PacketListField    = ('[]')
>>>
```

Рис. 5. Поля пакета IPv4, которые можно задавать в Scapy

Как видно из рис. 5, есть программная возможность изменять поля пакета, а именно: длину пакета — LP, поле пакета DSCP — DSCP, поле пакета Flag (Флаги) — F, поля пакета TTL для IPv4.

В пакете протокола IPv6 имеются поля: «Класс трафика», где находятся флаги — DSCP и Hop Limit (поле вместо TTL), которые можно изменять (рис.6).

```
>>> ls(IPv6)
version  : BitField (4 bits)    = ('6')
tc       : BitField (8 bits)    = ('0')
fl       : BitField (20 bits)   = ('0')
plen     : ShortField          = ('None')
nh       : ByteEnumField       = ('59')
hlim     : ByteField           = ('64')
src      : SourceIP6Field      = ('None')
dst      : DestIP6Field        = ('None')
>>>
```

Рис. 6. Поля пакета IPv6, которые можно задавать в Scapy

Результаты экспериментальных исследований по формированию пакета, его отправке по сети и перехвату при помощи программы Wireshark приведены на рис. 7 и рис. 8.

Из рис. 8 видно, что пакет был отправлен на определенный IP-адрес, с определенной длиной и TTL. Однако в экспериментах было выяснено, что длина пакета, установленная вручную, не меняет длину кадра. По данному критерию нужно будет еще поработать по возможности изменения длины кадра или отказаться от манипуляций с ней.

Далее были исследованы поля протокола TCP, создана переменная tcp, и проведены эксперименты с полями данного протокола (рис. 9).

```

>>> ip = IP()
>>> ip.display()
<bound method Packet.display of <IP...>
>>> ip.display()
###[ IP ]###
version = 4
ihl = None
tos = 0x0
len = None
id = 1
flags =
frag = 0
ttl = 64
proto = ip
chksum = None
src = 127.0.0.1
dst = 127.0.0.1
\options \
>>> ip.ttl=100
>>> ip.src="192.168.0.6"
>>> ip.dst="192.168.0.3"
>>> ip.display()

>>> ip.display()
###[ IP ]###
version = 4
ihl = None
tos = 0x0
len = None
id = 1
flags =
frag = 0
ttl = '100'
proto = ip
chksum = None
src = 192.168.0.6
dst = 192.168.0.3
\options \
>>> ip.ttl=100
>>> send(ip)
Sent 1 packets.
>>>
    
```

Рис. 7. Формирование пакета в Scapy

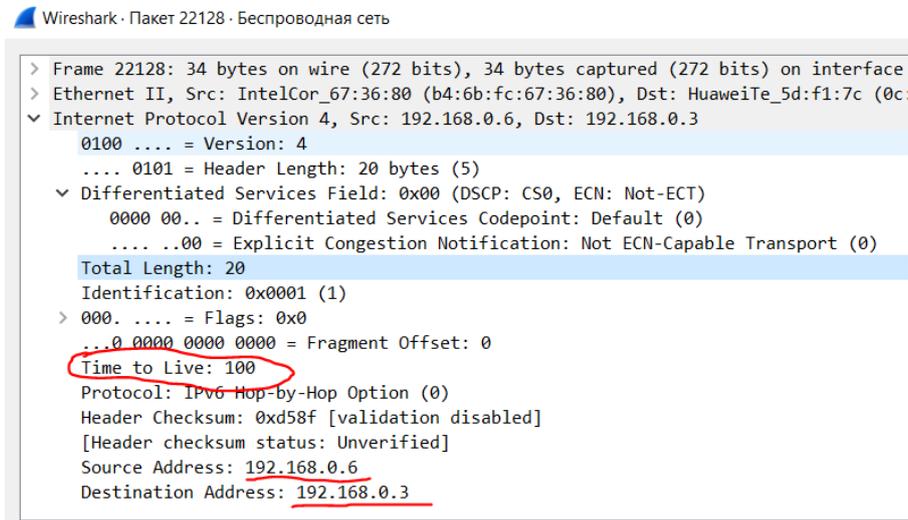


Рис. 8. Формирование пакета в Scapy

```

>>> tcp.display()
###[ TCP ]###
sport = ftp_data
dport = http
seq = 0
ack = 0
dataofs = None
reserved = 0
flags = S
window = 8192
chksum = None
urgptr = 0
options = ''
    
```

Рис. 9. Поля сегмента TCP, которые можно задавать в Scapy

Комплексный пакет, состоящий из данных «Hello», TCP-сегмента и IPv4-пакета, отправлен в сеть (рис. 10). Данные инкапсулируются в TCP-сегмент, он в свою очередь — в IPv4-пакет.

После формирования пакета проверяем его поля на адекватность и перехватываем данный пакет в программе WireShark (рис. 11).

```
>>> send(ip/TCP()/"Hello")
.
Sent 1 packets.
>>> ip/TCP()/"Hello"
<IP frag=0 ttl=67 proto=tcp src=192.168.0.6 dst=192.168.0.3 |<TCP |<Raw load='Hello' |>>>
>>>
```

Рис. 10. Отправка комплексного пакета с данными

Wireshark · Пакет 130795 · Беспроводная сеть

- Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
 - 0000 00.. = Differentiated Services Codepoint: Default (0)
 -00 = Explicit Congestion Notification: Not ECN-Capable Transport (0)
 - Total Length: 45
 - Identification: 0x0001 (1)
 - > 000. = Flags: 0x0
 - ...0 0000 0000 0000 = Fragment Offset: 0
 - Time to Live: 67
 - Protocol: TCP (6)
 - Header Checksum: 0xf670 [validation disabled]
 - [Header checksum status: Unverified]
 - Source Address: 192.168.0.6
 - Destination Address: 192.168.0.3
 - > Transmission Control Protocol, Src Port: 20, Dst Port: 80, Seq: 0, Len: 5
 - 0000 0c 70 4a 5d f1 7c b4 6b fc 67 36 80 08 00 45 00 .pJ].|k.g6...E.
 - 0010 00 2d 00 01 00 00 43 06 f6 70 c0 a8 00 06 c0 a8 -----C..p-----
 - 0020 00 03 00 14 00 50 00 00 00 00 00 00 00 50 02 -----P..-----P.
 - 0030 20 00 ea 4d 00 00 48 65 6c 6c 6f ..M..Hello

Рис. 11. Перехват пакета в программе WireShark

В данном пакете наблюдаем IP-пакет с заданными параметрами и сегмент TCP, в хвосте — данные «Hello».

Таким образом, в результате наблюдений и экспериментов был выявлен и утвержден инструмент, при помощи которого будет проводиться исследование, и апробированные данные и гипотезы по управлению полями в заголовках пакета и сегмента.

Заключение

В результате проведённого исследования предложен новый метод для повышения достоверности данных, передаваемых по сети, который основан на комплексном коэффициенте достоверности, состоящем из разнообразных критериев на различных уровнях стека протокола TCP/IP. Данный подход находится в стадии апробации, подготовлен экспериментальный стенд, проведены первичные эксперименты и произведен подбор инструментального программного обеспечения для его реализации. Далее необходимо написать программу на языке Питон, в которую будет импортироваться библиотека Scapy для более точной и удобной реализации программного продукта. Предложенный подход дополняет и расширяет метод поиска пассивного перехвата трафика.

В дальнейшем планируется провести исследования полей и флагов, выявить качественные и количественные критерии, а также определить их влияние на коэффициент достоверности. После этого будет сформирован комплексный коэффициент с определённой шкалой, например, от нуля до единицы. И данная шкала будет откалибрована с заданными значениями и вероятностями. Допустим, при отметке по шкале ниже 0.7 наши данные считаются недостоверными, а при отметке по шкале выше 0.8 — достоверными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Запечников С. В. Криптографическая защита процессов обработки информации в недоверенной среде: достижения, проблемы, перспективы. *Вестник современных цифровых технологий*. 2019;1:4–16. EDN: JDKVZQ.

2. Бабенко Л. К. *Криптографическая защита информации: симметричное шифрование*: учеб. пос., 1-е изд. М.: Издательство Юрайт; 2019. 220 с. ISBN 978-5-9916-9244-1. EDN: KGIGHZ.
3. Ворожейкин Д. С. Исследование сетевого протокола прикладного уровня Secure Shell. *Инновации и инвестиции*. 2020;6:190–193. EDN: KPSSUQ.
4. Любухин А. С. Межсетевые экраны на страже информации. *Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы в XXI веке*: сб. ст. Международ. науч.-практ. конф.: в 2-х частях. Пермь, 03 ноября 2017 года. Часть 2. Пермь: Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС»; 2017. С. 4–7. EDN: ZSEZRZ.
5. *Банк данных угроз безопасности информации: BDU:2023-00876: Уязвимость реализации технологии преобразования сетевых адресов Network Address Translation (NAT) виртуального сервера FastL4 межсетевых экранов BIG-IP Advanced Firewall Manager, позволяющая нарушителю вызвать отказ в обслуживании*. Режим доступа: <https://bdu.fstec.ru/vul/2023-00876>.
6. Багдасарян Р. Х., Осипян В. О., Литвинов К. И. и др. О технологии распределенной передачи данных и проблемах проверки достоверности информации по каналу связи. *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. 2021;4:48–57.
7. Бухарин В. В. Метод обнаружения сетевого перехвата информационного трафика информационно-телекоммуникационной сети. *Электронный журнал «Труды МАИ»*. 2012;57:1–9.
8. Черниговский А. В., Кривов М. В. Моделирование работы сетевого анализатора данных на основе SOM. *Современные технологии и научно-технический прогресс*. 2014;1:12. EDN: SHOTZV.
9. Буковшин В. А., Чуб П. А., Короченцев Д. А. и др. Анализ зашифрованного сетевого трафика на основе вычисления энтропии и применения нейросетевых классификаторов. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2020;6:117–128. DOI: 10.18522/2311-3103-2020-6-117-128. EDN: RFSDXK.
10. Аманова А. Ч. Обеспечение высокой достоверности передаваемых данных методом помехоустойчивого кодирования. *Потенциал современной науки*: мат. Международ. (заоч.) науч.-практ. конф. Прага, Чехия, 30 ноября 2020 г. Нефтекамск: Научно-издательский центр «Мир науки» (ИП Вострецов Александр Ильич); 2020. С. 32–36. EDN: MVKYFZ.
11. Неижмак А. В. Модель функционирования системы повышения достоверности с использованием контрольных пакетов. *Автоматизация процессов управления*. 2018;2:41–49.
12. *Официальный сайт Scapy*. Режим доступа: <https://scapy.net/>.

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-10

КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИИ**О. Е. Филатова^{1,a}, М. А. Филатов^{2,b}, Т. В. Воронюк^{2,c}, М. И. Музиева^{2,d}**¹ Сургутский филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», г. Сургут, Российская Федерация² Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация^a ✉ filatovamail@mail.ru, ^b filatovmik@yandex.ru, ^c kosolvtv@list.ru, ^d m-madina94@mail.ru

Аннотация: за последние 100–120 лет изучения механизмов возникновения и генерации биопотенциалов мозга, нервов, мышц сложилось твердое убеждение, что биопотенциалы могут описываться в рамках стохастических подходов. Вместе с тем открытие эффекта Еськова–Зинченко (статистической неустойчивости выборок любых параметров гомеостатической системы) существенно подрывает возможности стохастики в электрофизиологии. Отметим, что для описания биопотенциалов мы можем взять в качестве первой фазовой координаты $x_1(t)$ величину этих биопотенциалов, а в качестве второй — $x_2 = dx_1/dt$ — скорость их изменения. В таком двумерном фазовом пространстве состояний мы вводим аналог принципа неопределенности Гейзенберга (на вариационные размахи Δx_1 и Δx_2) и тем самым приближаем электрофизиологию к аппарату квантовой механики. В работе представлены различия и сходства между квантовой механикой и электрофизиологией гомеостатических систем. Вместо статистических функций $f(x)$ предлагается рассчитывать параметры псевдоаттракторов в двумерном фазовом пространстве состояний (биопотенциалов) вектора $x(t) = (x_1, x_2)^T$.

Ключевые слова: хаос, неопределенность, эффект Еськова–Зинченко, псевдоаттракторы.*Для цитирования:* Филатова О. Е., Филатов М. А., Воронюк Т. В., Музиева М. И. Квантовомеханический подход в электрофизиологии. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):68–77. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-10.*Поступила в редакцию:* 02.05.2023.*В окончательном варианте:* 19.06.2023.**A QUANTUM MECHANICAL APPROACH TO ELECTROPHYSIOLOGY****О. Е. Filatova^{1,a}, М. А. Filatov^{2,b}, Т. В. Voronyuk^{2,c}, М. И. Muzieva^{2,d}**¹ ¹ Surgut Branch of Federal State Institute “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences”, Surgut, Russian Federation² Surgut State University, Surgut, Russian Federation^a ✉ filatovamail@mail.ru, ^b filatovmik@yandex.ru, ^c kosolvtv@list.ru, ^d m-madina94@mail.ru

Abstract: for the last 100–120 years of studying the brain, nerves, muscles biopotential generation they were described as stochastic processes. The discovery of the Eskov–Zinchenko effect (stochastic instability of any homeostatic system sample datasets) makes it impossible to apply stochastic laws to electrophysiology. We can define biopotentials with their magnitude x_1 as the first phase coordinate and their variation rate $x_2 = dx_1/dt$ as the second coordinate. In such a 2D phase space, we defined an analog to the famous Heisenberg uncertainly principle (for Δx_1 and Δx_2 variation ranges). We also present the similarities between electrophysiology and quantum mechanics. We suggested to estimate the properties of pseudo-attractors in the 2D phase space of biopotentials (for the $x(t) = (x_1, x_2)^T$ vector) instead of the statistical $f(x)$ functions.

Keywords: chaos, uncertainly, Eskov–Zinchenko effect, pseudo-attractors.*Cite this article:* Filatova O. E., Filatov M. A., Voronyuk T. V., Muzieva M. I. A Quantum Mechanical Approach to Electrophysiology. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):68–77. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-10.*Original article submitted:* 02.05.2023.*Revision submitted:* 19.06.2023.**Введение**

В середине 50-х годов XX века нобелевский лауреат *A. V. Hill* пытался в журнале *Nature* ответить на вопрос: почему биофизика является разделом физики [1]. При этом выдающийся специалист

в области физиологии и биофизики мышечного сокращения обосновывал свое высказывание двумя весомыми аргументами: во-первых, в биофизике в основном используются физические методы исследования, которые общепризнаны в физике, и во-вторых, он пытался обосновать, что биосистемы в своем поведении подобны многим физическим системам [1].

За эти более чем 60 лет наука доказала правоту первого постулата *Hill*, но нет строгих доказательств второму его постулату (поведение биосистем подобно динамике физических систем) [2–12]. Напомним, что почти за 10 лет до этой статьи наш выдающийся биомеханик и физиолог Н. А. Бернштейн выдвинул гипотезу о «повторении без повторений», в которой он говорил фактически об отсутствии статистической устойчивости выборок в биомеханике [13]. Год спустя *W. Weaver* вообще выделил все биомедицинские системы в отдельные системы третьего типа (СТТ) [14], которые должны были отличаться от детерминистских систем (описываются в рамках функционального анализа) и стохастических систем [15–26].

Таким образом, Бернштейн [13] и *Weaver* [14] пытались вывести биофизику из области детерминизма (функциональный анализ) и стохастики, но ничего вместо детерминистско-стохастической науки (ДСН) эти двое ученых не предложили. Отметим, что мышцы (основной объект *Hill* и Бернштейна) управляются центральной нервной системой (ЦНС), состояние которой объективно регистрируется в виде параметров электроэнцефалограмм (ЭЭГ) и электромиограмм (ЭМГ). И ЭЭГ, и ЭМГ сопровождают любой двигательный акт, и их изучение составляет основу нервно-мышечной физиологии [2–12]. Возникает закономерный вопрос: можно ли изучать такие объекты в рамках ДСН? Можно ли использовать стохастику в электрофизиологии?

Отметим, что с позиций новой теории хаоса-самоорганизации (ТХС) сейчас доказан факт статистической неустойчивости любых электрофизиологических параметров в виде эффекта Еськова–Зинченко (ЭЭЗ) [20–26]. Тогда возникает закономерный вопрос: можно ли в рамках ТХС и ЭЭЗ продемонстрировать особые свойства ЭЭГ и ЭМГ, которые бы приблизили нервно-мышечную систему (НМС) к физическим объектам не только из-за физических методов (и параметров — биопотенциалов), которые используются при регистрации активности, но и по особым свойствам СТТ (биосистемам)?

Очевидно, что эти особые свойства должны приблизить СТТ (живые системы) к физическим системам, возможно, по особой динамике поведения их параметров [2–12]. Именно эту сторону связи биосистем с физическими системами мы бы и хотели выделить в настоящем сообщении, т. к. физические методы уже давно используются в изучении НМС [2–12, 13–21], но насколько оправдано использовать стохастику и функциональный анализ в этих целях?

Особые свойства биомедицинских систем (СТТ-complexity)

С момента провозглашения синергетики *H. Haken* в Штутгарте (1969 год) в различные науки активно вводится термин «*complexity*» и «эмерджентные свойства» для описания различных систем [16–26]. Подчеркнем, что до настоящего времени нет четкого определения ни «*complexity*», ни «эмерджентных» систем. Это послужило поводом для историка науки *J. Hogan* саркастически отметить усилия известного американского физика *Seth Lloyd* по определению термина *complexity* (*Lloyd* представил более 30 определений этого термина). Все это сподвигло *J. Hogan* написать известную книгу под броским названием «*The End of Science*». О каком «конце науки» можно сейчас говорить, ведь ДСН господствует, а постулаты и модели ТХС еще только внедряются в биологию и медицину [2–12, 15–21]. При этом Г. Р. Иваницкий реально подчеркивает сложность в изучении биосистем с позиций ДСН.

Сейчас уже очевидно, что конец науки наступил в отношении дальнейшего использования функционального анализа (детерминизм), что доказывал еще *I. R. Prigogine* в 1990-х годах, и математической статистики (всей стохастики в целом) в описании и изучении живых систем (СТТ-complexity), что сейчас доказывается в ТХС в виде ЭЭЗ [2–14]. Для тех, кто не знаком с основами ТХС, напомним, что речь идет о потере статистической устойчивости выборок любых параметров x_i , образующих любой вектор состояния биосистемы $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в m -мерном фазовом пространстве состояний (ФПС) [2–14]. При этом движение $x(t)$ не описывается динамическим хаосом Лоренца [2–12, 15–26].

Это означает, что если мы, например (согласно требованиям европейской ассоциации кардиологов), зарегистрируем за 5 минут не менее 300 кардиоинтервалов (КИ) при нормальной работе сердца испытуемого и изучим статистическую функцию распределения $f(x)$ для этих КИ, их спектральную плотность сигнала (СПС), автокорреляции $A(t)$ и т. д., то любые эти знания (о $f(x)$, СПС, $A(t)$ и т.

д.) будут иметь уникальный характер [9, 10, 21–26]. В следующие 5 минут у этого же обследуемого мы получим другую выборку, с другой $f_2(x)$, СПС₂, $A_2(t)$ и т. д. [2, 3, 21–24]. Невозможно два раза подряд у одного испытуемого получить две выборки, которые бы имели одну общую генеральную совокупность [15–26].

Это касается любых других параметров организма человека: треморограмм (ТМГ), теппинграмм (ТПГ), КИ, параметров состояния нейро-вегетативной системы (НВС) и любых электрофизиологических параметров [16–19]. В нашем сообщении мы будем говорить именно об электрофизиологических параметрах, в первую очередь, речь идет об ЭЭГ и ЭМГ. Для примера мы представляем две характерные таблицы: табл. 1 (для ЭМГ) и табл. 2 (для ЭЭГ), в которых представлены критерии Вилкоксона p (при парном сравнении выборок) со значением $p \geq 0,05$. Отметим, что в этих таблицах мы сравниваем выборки ЭМГ и ЭЭГ, которые были получены при повторных регистрациях от отдельного (одного) испытуемого, находящегося в одном (неизменном) физиологическом состоянии. Здесь числа k_1 (для ЭМГ) и k_2 (для ЭЭГ) — это числа пар выборок, которые (эти две сравниваемые) мы можем отнести к одной генеральной совокупности. Для таких пар выборок ЭМГ (или ЭЭГ) мы имеем критерий Вилкоксона $p \geq 0,05$, т. е. они статистически совпадают (имеют общую генеральную совокупность). Остальные пары не совпадают ($p < 0,05$). Это доказывает ЭЭЗ и в электрофизиологии, а не только при изучении ССС и тремора [2–12].

Таблица 1

Матрица парного сравнения ЭМГ одного и того же человека при слабом напряжении мышцы ($p = 50 Н$), представляющая критерий Вилкоксона (критерий значимости $p < 0,05$, число совпадений $k_1 = 6$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,00	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,03		0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,05	0,87		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,51	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,01
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,45	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00		0,26	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,07	0,00	0,26		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

В табл. 1 мы имеем при слабом сжатии динамометра (за 5 секунд регистрации ЭМГ одним и тем же испытуемым, сила сжатия $F_1 = 50Н$) число пар $k_1 = 6$. Из всех 105 разных пар сравнения мы имеем только менее 10% пар, которые (эти две сравниваемые выборки ЭМГ) могут по критерию Вилкоксона ($p \geq 0,05$) иметь одну общую генеральную совокупность. Подчеркнем, что таких пар крайне мало ($k_1 = 6$), и все эти k_1 пар имеют разные генеральные совокупности [2–12]. Фактически это означает, что мы не можем подобрать произвольно однородные выборки для одного испытуемого в его неизменном физическом состоянии [21–26]. Невозможно даже получить подряд три выборки, которые статистически совпадают [21–26].

Все это доказывает статистическую неустойчивость подряд получаемых выборок ЭМГ от одного и того же испытуемого (в его неизменном гомеостазе). Такая неустойчивость лежит в основе ЭЭЗ в биомеханике, и сейчас мы говорим об ЭЭЗ и в электрофизиологии, и в биофизике электрогенерируемых систем. Теоретически этого и следовало ожидать, т. к. неустойчивость механограмм (ТМГ или ТПГ) должна обеспечиваться работой мышц [23–26]. Эта работа сопровождается генерацией био-

потенциалов (ЭМГ). Если ТМГ или ТПГ статистически неустойчивы, то было бы весьма экзотично (маловероятно) наблюдать статистическую устойчивость биопотенциалов мышц (ЭМГ). При этом подчеркнем, что переменными $x_1(t)$ являются величины биопотенциалов (мышцы — табл. 1 и мозга — табл.2). Это перемещение не механическое, а изменение электрическое, но они — эти изменения (как и ТМГ) — статистически неустойчивы.

Таблица 2

Матрица парных сравнений параметров ЭЭГ одного и того же здорового человека (15 выборок ЭЭГ подряд) без воздействий (канал Т6-Ref, число совпадений $k_1 = 33$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,32	0,05	0,10	0,64	0,01	0,55	0,00	0,28	0,31	0,00	0,90	0,00	0,00
2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
3	0,32	0,00		0,75	0,00	0,03	0,67	0,19	0,00	0,01	0,30	0,02	0,10	0,00	0,00
4	0,05	0,00	0,75		0,00	0,07	0,83	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,04	0,00	0,00
5	0,10	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,41	0,38	0,66	0,03	0,00	0,21	0,00	0,00
6	0,64	0,00	0,03	0,07	0,00		0,21	0,86	0,00	0,21	0,52	0,00	0,66	0,00	0,00
7	0,01	0,00	0,67	0,83	0,00	0,21		0,02	0,00	0,00	0,01	0,19	0,00	0,00	0,00
8	0,55	0,00	0,19	0,00	0,41	0,86	0,02		0,08	0,93	0,15	0,00	0,97	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	0,08		0,06	0,00	0,00	0,07	0,00	0,01
10	0,28	0,00	0,01	0,00	0,66	0,21	0,00	0,93	0,06		0,00	0,00	0,36	0,00	0,00
11	0,31	0,00	0,30	0,06	0,03	0,52	0,01	0,15	0,00	0,00		0,00	0,05	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,90	0,00	0,10	0,04	0,21	0,66	0,00	0,97	0,07	0,36	0,05	0,00		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Как мы показываем в табл. 1, все регистрируемые ЭМГ одного испытуемого в неизменном гомеостазе не могут демонстрировать статистическую устойчивость (это и есть ЭЗ в электрофизиологии). Только очень малое число пар k_1 имеют одну генеральную совокупность (для них $p \geq 0,05$, но эти все для $k_1 = 6$), генеральные совокупности все разные, совпадают только отдельные пары ЭМГ. Это доказывает ЭЗ и для ЭМГ, и тем самым мы доказываем отсутствие однородности выборок ЭМГ, которые получены от одного испытуемого (в его неизменном физиологическом состоянии) [15–26].

Если не совпадают выборки ЭМГ для одного человека, то трудно ожидать совпадения выборок ЭМГ для разных испытуемых. В табл. 3 мы наблюдаем матрицу парных сравнений выборок ЭМГ 15 разных испытуемых, которые сжимают динамометр с одинаковым усилием $F_1 = 50\text{Н}$. Очевидно, что k_3 (число пар ЭМГ, имеющих одну, общую генеральную совокупность), тоже невелико ($k_3 = 11$) в табл. 3. Но это число k_3 довольно часто показывает большее значение, чем k_1 для одного испытуемого. Это получило название в ТХС эффекта Еськова–Филатовой (ЭЕФ), когда группа из разных испытуемых более статистически подобна, чем один испытуемый при 15 повторах регистрации ЭМГ. В ЭЕФ мы имеем $k_3 > k_1$, и это парадокс новой ТХС. Если ЭЗ мы сейчас хорошо описываем (и объясняем) в ТХС, то ЭЕФ даже ТХС пока объяснить не может.

Отметим, что и ЭЭГ демонстрируют также ЭЕФ, когда k_2 для одного человека меньше, чем k_4 для группы испытуемых. Пока этому явлению ни современная наука (ДСН), ни ТХС не могут дать объяснение, но ЭЕФ наблюдаются довольно часто и в биофизике электровозбудимых систем, и в электрофизиологии. Подчеркнем, что ЭЗ и ЭЕФ наблюдаются всегда для электрогенераторных структур. Мы это доказали в наших многочисленных биофизических исследованиях с ЭМГ и с нейросетями мозга — НСМ [2, 15–19]. Этим СТТ-complexity отличаются от традиционных объектов ДСН, что уводит ТХС из области современной науки в область новых знаний о живых системах. Очевидно, что потеря однородности выборок (см. табл. 1, 2, 3) уводит СТТ из области стохастики, т. к. математическая статистика не может описывать статистически неустойчивые биосистемы, тем более, что мы не можем уже повторно воспроизвести начальное состояние вектора $x_1(t_0)$ для ЭМГ и ЭЭГ. Как их тогда описывать и моделировать? Возможен ли прогноз поведения СТТ-complexity?

Таблица 3

Матрица парного сравнения ЭМГ группы девушек (число испытуемых $N = 15$) при слабом напряжении мышцы ($F_1 = 50$ Н), использовался критерий Вилкоксона (значимость $p < 0,05$, число совпадений $k_3 = 11$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,35		0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,67		0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,03		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,28	0,03	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55		0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
10	0,00	0,02	0,40	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,22	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,05	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00		0,12	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,73	0,11	0,00	0,00	0,00	0,12		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Квантовая механика и базовые принципы ТХС

Напомним, что в основе квантовой механики лежит ряд базовых принципов поведения квантовых объектов. В первую очередь, это касается принципа неопределенности Гейзенберга, который накладывает ограничение на точность определения двух фазовых координат: соответственно, механической координаты x_1 и ее скорости изменения x_2 в виде: $\Delta x_1 \times (\Delta x_2 \times m) \geq h/4\pi$. Если масса объекта существенно не изменяется (при малых скоростях движения объекта, т. е. при $x_2 \ll c$, где c — скорость света), то m можно перенести вправо и получить неравенство для двух фазовых координат: $x_1 \times \Delta x_2 \geq h/4\pi m = Z$, где Z — некоторая константа [2–10].

В таком виде принцип неопределенности, как нами было показано [20–26], можно применять и для любых координат, описывающих состояние функций организма человека x_i . Подчеркнем, что в биофизике электрогенераторных систем $x_1(t)$ — это величина биопотенциала, а x_2 — величина скорости изменения $x_1(t)$. Обе эти величины удовлетворяют ЭЭЗ, т. е. они статистически неустойчивы [18–26].

Эти координаты x_i входят в общий вектор состояния функций организма человека $x(t)$, и они демонстрируют статистическую неустойчивость выборок, т. е. их выборки не однородны как для одного человека (табл. 1), так и для группы, (табл. 3). Очевидно, что для каждой такой координаты x_i мы можем рассчитать скорость ее изменения $x_{2i} = dx_i/dt$. В этом случае мы получаем двумерный вектор состояния для параметра x_i , и в таком двумерном ФПС мы можем сформулировать ряд ограничений на движение такого вектора: $x^* = (x_i, x_{2i})^T$. При этом очень важно подчеркнуть, что эти ограничения следуют из внутренних (особых) свойств биосистемы, а не зависят от внешних факторов среды обитания организма. В квантовой механике свойства электрона — это тоже его (особые) свойства, а не результат внешней стохастики.

Наличие таких внутренних ограничений обусловлено особыми свойствами биосистемы (СТТ-complexity). В ТХС были сформулированы 5 таких принципов функционирования СТТ: компартментно-кластерная организация, неопределенность 2-го типа (аналог принципа Гейзенберга), эволюция СТТ, телеологичность, свойство выхода за пределы трех сигм (пяти, десяти, двадцати и т. д. сигм). Подчеркнем, что главный принцип из этих пяти — это принцип неопределенности 2-го типа. Этот принцип основан на ЭЭЗ, и он охватывает любые параметры организма человека [3–12, 16–18].

В рамках этого 2-го принципа мы сейчас говорим, что СТТ может находиться в непрерывном движении, когда $dx_i/dt \neq 0$ непрерывно. Очевидно, что для НСМ (для ЭЭГ) это обязательное условие. При отсутствии биоэлектрической активности мозга (для биопотенциалов НСМ x_i) будем иметь

$dx_i/dt = 0$ и $x_i = \text{const}$, что означает смерть организма. Это имеет место и для тремора, работы сердца, но вот мышца, если она не работает (находится в расслабленном состоянии), может иметь (для ЭМГ) $x_2 = \text{const}$ (отсутствие активности мышцы). В рабочем состоянии мышцы это невозможно, при напряжении мышцы имеем $dx_2/dt \neq 0$. Подчеркнем, что даже потенциал покоя (на мембране мышечного волокна) все-таки демонстрирует некоторые изменения (колебания), т. е. там $dx_1/dt \neq 0$.

Таким образом, наличие ненулевой скорости ($dx_i/dt \neq 0$) — это главное свойство любой биосистемы, если она находится не в полном покое. Для квантовых частиц мы также (во многих случаях) имеем условие $dx_i/dt \neq 0$. Очевидно, что для живых систем мы можем написать ограничения в виде неравенств, но теперь мы будем иметь систему неравенств вида: $Z_{\max} \geq \Delta x_1 \times \Delta x_2 \geq Z$, где Z_{\min} и Z_{\max} — это некоторые величины, ограничивающие движение вектора состояния биосистемы по параметрам $x(t)$ в ФПС [8–13].

В новой ТХС Z_{\max} играет роль предельного объема некоторого псевдоаттрактора (ПА), внутри которого непрерывно и хаотически движется вектор $x_i^* = (x_i, x_{2i})^T$. Например, тремор каждого человека происходит внутри некоторого прямоугольника в таком двумерном ФПС со сторонами Δx_1 и Δx_{2i} . Площадь такого ПА является характеристикой физиологического состояния организма человека (в данном гомеостазе). Обычно переход в другое состояние изменяет и эти вариационные размахи Δx_1 и Δx_{2i} . При этом имеется площадь S прямоугольника (ПА, $S = \Delta x_1 \times \Delta x_2$) как инварианта данного физиологического состояния [2, 4–12].

Еще раз подчеркнем, что речь идет об изменении внутренних свойств биосистемы, но они (ПА) могут меняться и за счет внешних факторов среды обитания человека. Например, это могут быть охлаждение организма, физические нагрузки, прием лекарственных препаратов и т. д. [11, 15]. В рамках такого подхода очень важно понимать, как изменяются системы регуляции функций, т. е. внутренние свойства объекта. В стохастике традиционно вариационный разброс появляется за счет влияния каких-либо внешних факторов среды, это возмущающие воздействия на биопроцесс. В ТХС такие постоянные изменения — это внутреннее свойство биосистемы (СТТ-*complexity*).

Иными словами (говоря терминологией психологии), вся математическая статистика построена на экстравертных воздействиях, а объекты квантовой механики (и наши СТТ-*complexity*) имеют особые (внутренние) свойства. Такие системы интровертны, т. е. их неопределенность зависит от их особых (внутренних) свойств. Например, движение квантовых частиц (в рамках принципа Гейзенберга) не зависит от внешних случайных воздействий. Рассеяние электронов (и фотонов) на щели, по сути, происходит не только из-за того, что внешние факторы возмущают их движение.

Квантовые объекты и СТТ-*complexity* демонстрируют принцип неопределенности Гейзенберга (и его аналог в ТХС) из-за особых свойств самого исследуемого объекта (электрона, фотона или функциональной системы организма человека). Этим СТТ-*complexity* и квантовые частицы отличаются от обычных механических систем (на макроуровне или даже на уровне Вселенной). В этой связи *W. Weaver* [14] был прав, когда говорил об особых системах 3-го типа, т. к. эти системы приближаются по особым свойствам к квантово-механическим системам. Их статическая неопределенность не возникает из-за хаоса внешних воздействий (как в стохастике), а является внутренним свойством СТТ-*complexity* [2–8, 20–26].

СТТ-*complexity* имеют два особых свойства, которые отсутствуют у детерминистских и стохастических систем: они находятся в непрерывном движении ($dx_i/dt \neq 0$ непрерывно), и это движение на фазовой плоскости вектора $(x_i, x_{2i})^T$ ограничено некоторым прямоугольником $Z_{\max} = \Delta x_1 \times \Delta x_{2i}$, т. е. ПА. Площадь этого ПА $S = \Delta x_1 \times \Delta x_2$ зависит от внутренних свойств СТТ (она имеет интровертную природу), но механизмы регуляции S все-таки зависят и от факторов внешней среды. Для биопотенциалов x_1 (ЭМГ) и x_2 (ЭЭГ) мы всегда можем найти их скорости изменения ($x_{12} = dx_1/dt$ и $x_{22} = dx_2/dt$) и построить фазовые траектории на такой двумерной ФПС.

ПА на такой ФПС будет описывать движения вектора организма человека в том или ином физиологическом состоянии (человека). При изменении физиологического состояния организма человека изменяются и параметры ПА. Для квантовой частицы это может означать, например, изменение массы частицы, тогда будет изменяться и $Z_{\min} = h/4\pi$ (в правой части 1-го неравенства). Рассмотрим ряд примеров изменения площади S для ПА при изменении состояния функций организма.

Применение аналогий квантовой механики в биофизике мышечного сокращения

Еще раз подчеркнем, почему мы вышли за пределы функционального анализа (детерминизма)

и стохастики. Во-первых, мы всегда для СТТ наблюдаем непрерывное и хаотическое изменение их вектора состояния ($dx_i/dt \neq 0$ непрерывно). При этом такие изменения проявляются в непрерывном (и хаотическом) изменении статистических функций распределения $f(x_i)$, их СПС, $A(t)$ и других характеристик. Это показывают таблицы 1, 2, 3 (выше) и тысячи других матриц, которые мы получали в различных наших исследованиях [2–13, 25].

Это главное свойство СТТ-*complexity*, и это неоднократно отмечал Г. Р. Иваницкий в своих публикациях [15, 16]. Очень важно теперь представить модели для описания таких статистически неустойчивых систем (СТТ). Выше мы показали некоторую аналогию с квантовыми объектами и предложили рассчитывать параметры ПА. К таким параметрам относятся: площадь S для ПА и координаты их (ПА) центров x_1^C и x_2^C в двумерном ФПС. Рассмотрим ряд иллюстративных примеров для ЭМГ и ЭЭГ [3–12]. Подчеркнем, что изменение ПА может происходить как за счет внутренних перестроек организма (заболевание, например), так и под действием внешних факторов [2, 17, 23].

В табл. 4 мы представляем расчет площади ПА для ЭМГ отводящей мышцы мизинца при двух разных силах сжатия испытуемым динамометра. В первом столбце табл. 4 мы представляем площади S_1 при силе сжатия $F_1 = 50$ Н, а во втором столбце мы представляем площади S_2 при силе сжатия $F_2 = 100$ Н. Испытуемый был один и тот же, но площади ПА для ЭМГ существенно различаются ($S_1 \neq S_2$). Здесь напряжение мышцы – это внутренняя перестройка функций организма [2].

Очевидно, что площадь S для ПА ЭМГ является мерой оценки физиологического состояния мышцы (силы сжатия). При этом в любом состоянии (при фиксированном значении F_1 или F_2) мы будем иметь калейдоскоп статистических функций распределения $f(x_i)$, разных СПС и $A(t)$ при фиксированном F (неизменном физиологическом состоянии испытуемого). Статистика не может объективно описывать биопотенциалы мышц (ЭМГ), т. к. отсутствуют статистические инварианты в неизменном состоянии НМС, выборки ЭМГ все разные [4–11].

Площадь же ПА для ЭМГ существенно изменяется при переходе от F_1 к F_2 . Могут изменяться и координаты центров ПА для состояний НМС с F_1 и F_2 . Более того, такие изменения наблюдаются не только для одного человека (что доказывает ЭЗЗ для НМС), но и для группы испытуемых из 15 человек, которые сначала сжимали динамометр с силой F_1 (изучали S_1^2 и среднее значение $\langle S_1^2 \rangle$ по этой группе), а затем с силой F_2 (получали S_2^2 и среднее значение $\langle S_2^2 \rangle$ по группе).

Таблица 4

Значение площадей ПА S выборок ЭМГ одной и той же девушки при слабом ($F_1 = 50$ Н) и сильном ($F_2 = 100$ Н) напряжении мышцы (15 повторных измерений)

Одна и та же девушка		
	$S_1, 50$ Н	$S_2, 100$ Н
1	26508	107260
2	24300	114935
3	35802	139755
4	27459	111734
5	32208	119712
6	18792	101084
7	29848	152609
8	24336	191360
9	16968	100000
10	16968	68904
11	21242	116864
12	15200	101403
13	18984	104682
14	20304	113634
15	30965	86064
$\langle S \rangle$	23992	115333
	Т-критерий значимости функций $f(x)$ $p = 0,00$	

Подчеркнем, что это не единичные измерения, а десятки и сотни рассчитанных матриц парных сравнений выборок для ЭМГ как одного испытуемого (при многократных повторях по 225 раз), так и групп испытуемых (при 225 повторях их измерений ЭМГ (и ЭЭГ)). Везде картина одинаковая: число пар статистически совпадающих выборок k невелико для ЭМГ (как группы, так и одного испытуемого при повторениях), а параметры S для ПА различаются для разных испытуемых и для разных сил сжатия ($S_1 \neq S_2$ при F_1 и F_2) [3–12, 25, 26].

Неопределенность 2-го типа для ЭЭГ

Аналогичная закономерность получается и для ЭЭГ как для разных испытуемых (в группе), так и для одного испытуемого при $n = 15$ повторных измерениях ЭЭГ в спокойном состоянии. Для доказательства этого утверждения мы представляем табл. 5, в которой приводится расчет площадей S для ПА ЭЭГ одного испытуемого, находящегося в двух разных физиологических состояниях. Левый столбец — это расчет S_1^{\ominus} для ПА₁ ЭЭГ испытуемого, находящегося в спокойном состоянии, а правый столбец показывает S_2^{\ominus} для ПА₂ ЭЭГ при фотостимуляции с частотой 10Гц (раздражение зрительного анализатора), отведение с одной и той же точки, одним и тем же электродом (отведение *T6-Ref*).

Таблица 5

Значение площадей ПА S выборок ЭЭГ здорового человека в период релаксации (S_1^{\ominus}) и в период фотостимуляции (S_2^{\ominus})

	Здоровый человек	
	S_1^{\ominus} , в период релаксации	S_2^{\ominus} , в период фотостимуляции
1	6240	3048
2	3595	3811
3	3494	2814
4	3430	3453
5	2983	2572
6	3338	4190
7	6834	3874
8	7986	3670
9	4508	3710
10	2533	3503
11	4244	2774
12	4178	2566
13	4933	3015
14	4810	3502
15	8282	2455
$\langle S \rangle$	4759	3264
Т-критерий, значимость различий выборок $\hat{f}(x)$: $p = 0,01$		

Очевидно, что средняя площадь до фотостимуляции $\langle S_1^{\ominus} \rangle$ отличается от средней площади ПА₂ при фотостимуляции $\langle S_2^{\ominus} \rangle$. Обычно фотостимуляция зрительного анализатора приводит к уменьшению площади ПА₂ для ЭЭГ у одного и того же испытуемого. Иллюстрация этого эффекта представлена на рисунке, где рис. А дает фазовый портрет ЭЭГ в координатах x_1^{\ominus} — величина биопотенциалов в микровольтах (период квантования сигнала $\tau = 100$ Гц), а вторая фазовая координата $x_2^{\ominus} = dx_1^{\ominus}/dt$ — скорость изменения биопотенциалов в ЭЭГ. Такие фазовые координаты подобны фазовым координатам в квантовой механике, но здесь уже регистрировались не механические перемещения, а величины биопотенциалов мозга. Значения S_1^{\ominus} (до фотостимуляции) представлены в условных единицах (как площади ПА).

Подчеркнем, что при патологии (например, при эпилепсии) площадь S_2^{\ominus} резко возрастает, что является маркером отклонений в функциях организма. В целом площадь S и координаты центра ПА являются важными характеристиками функционального состояния испытуемых. Они являются инвариантами для данного физиологического состояния одного исследуемого человека (а это основа персонализированной медицины).

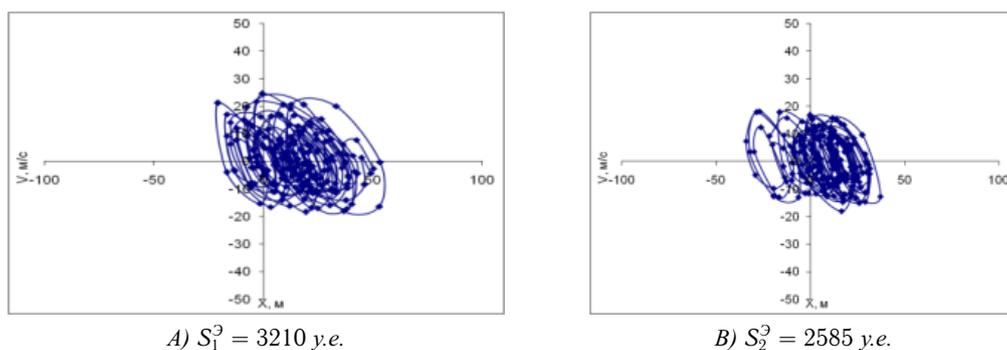


Рис. Фазовые портреты движения вектора состояния $(x = (x_1, x_2)^T)$ ЭЭГ условно здорового испытуемого в период: *A* — релаксации (спокойное состояние), площадь ПА $S_1^3 = 3210$ у. е.; *B* — при фотостимуляции, $S_2^3 = 2585$ у. е. Здесь по оси абсцисс откладываются величины измеряемых биопотенциалов x_1 (в мкВ), а по оси ординат у. е. — скорости изменения этих же биопотенциалов ($x_2 = dx_1/dt = V$) в отведение Т6-Ref.

Заклучение

ЭЭЗ в электрофизиологии (исходно он был доказан в биомеханике) приводит нас к статистической неопределенности в регистрируемых выборках ЭЭГ и ЭМГ как для одного и того же испытуемого (при повторах испытаний), так и для группы разных испытуемых (см. табл. 1, 2, 3). Этот эффект сейчас нами распространяется на всю биологию и медицину, но в электрофизиологии и биофизике в качестве переменных выступают биопотенциалы нервов, мышц и других электрогенераторных структур.

Выборки для ЭМГ и ЭЭГ генерируют статистический хаос не только для одного человека, но и для группы (ЭЭЗ). При этом группа может быть статистически более подобна, чем один человек (при повторах регистрации его ЭЭГ и ЭМГ). Это получило название ЭЕФ, и он пока не имеет объяснения даже в ТХС (и тем более в ДСН).

Для выхода из кризиса стохастики (и ДСН) мы предлагаем аналог принципа неопределенностей Гейзенберга для координат x_1 (биопотенциалы) и $x_2 = dx_1/dt$. Оказалось, что площади (объемы) ПА и фазовые портреты вектора $x(t) = (x_1, x_2)^T$ объективно описывают состояние биосистемы. Они являются мерой неизменности (покоя) СТТ или их изменений (кинематики, эволюции СТТ). Возникает реальная сложность (*complexity*) для СТТ (живых систем), которая пока в биофизике не учитывается. Выборки ЭМГ и ЭЭГ имеют историчный характер (они уникальны), их будущее не может прогнозироваться в рамках стохастики.

ЛИТЕРАТУРА

- Hill A. V. Why biophysics? *Science*. 1956;124(3234):1233–1237.
- Газя Г. В., Еськов В. В., Стратан Н. Ф., Салимова Ю. В., Игнатенко Ю. С. Использование искусственных нейросетей в промышленной экологии. *Вестник новых медицинских технологий*. 2021;28(2):111–114.
- Хадарцева К. А., Филатова О. Е. Новое понимание стационарных режимов биологических систем. *Успехи кибернетики*. 2022;3(3):92–101. DOI: 10.51790/2712-9942-2022-3-3-10.
- Чемпалова Л. С., Яхно Т. А., Манина Е. А., Игнатенко А. П., Оразбаева Ж. А. Гипотеза W. Weaver при изучении произвольных и непроизвольных движений. *Вестник новых медицинских технологий*. 2021;28(1):75–77.
- Еськов В. В., Ивахно Н. В., Гриценко И. А., Мамина К. Е. Новое понятие системного синтеза в биомедицине и экологии человека. *Вестник новых медицинских технологий*. 2021;28(4):118–122.
- Еськов В. М., Пятин В. Ф., Башкатова Ю. В. Медицинская и биологическая кибернетика: перспективы развития. *Успехи кибернетики*. 2020;1(1):58–67.
- Зимин М. И., Пятин В. Ф., Филатов М. А., Шакирова Л. С. Что общего между «Fuzziness» L. A. Zadeh и «Complexity» W. Weaver в кибернетике. *Успехи кибернетики*. 2022;3(3):102–112. DOI: 10.51790/2712-9942-2022-3-3-11.

8. Еськов В. В., Башкатова Ю. В., Шакирова Л. С., Веденева Т. С., Мордвинцева А. Ю. Проблема стандартов в медицине и физиологии. *Архив клинической и экспериментальной медицины*. 2020;29(3):211–216.
9. Хадарцев А. А., Филатова О. Е., Еськов В. В., Мандрыка И. А. Энтропийный подход в физике живых систем и теории хаоса-самоорганизации. *Успехи кибернетики*. 2020;1(3):41–49.
10. Галкин В. А., Еськов В. В., Пятин В. Ф., Кирасирова Л. А., Кульчицкий В. А. Существует ли стохастическая устойчивость выборок в нейронауках? *Новости медико-биологических наук*. 2020;20(3):126–132.
11. Еськов В. В. *Математическое моделирование гомеостаза и эволюции complexity: монография*. Тула: Издательство ТулГУ; 2016. 307 с.
12. Eskov V. V., Orlov E. V., Gavrilenko T. V., Manina E. A. Capabilities of Artificial Neuron Networks for System Synthesis in Medicine. *Silhavy R. (eds) Cybernetics Perspectives in Systems. CSOC 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022;503. Режим доступа: https://doi.org/10.1007/978-3-031-09073-8_16.
13. Бернштейн Н. А. *О построении движений*. М.: Медгиз; 1947. 254 с.
14. Weaver W. Science and Complexity. *American Scientist*. 1948;36:536–544.
15. Еськов В. В., Пятин В. Ф., Шакирова Л. С., Мельникова Е. Г. *Роль хаоса в регуляции физиологических функций организма*. Самара: ООО «Порто-принт»; 2020. 248 с.
16. Еськов В. М., Галкин В. А., Филатова О. Е. *Complexity: хаос гомеостатических систем*. Самара: Изд-во ООО «Порто-принт»; 2017. 388 с.
17. Gazyu G. V., Eskov V. M. Uncertainty of the First Type in Industrial Ecology. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021;839(042072). DOI:10.1088/1755-1315/839/4/042072.
18. Eskov V. M. Methods for Identifying Two Types of Uncertainty in BioCybernetics. *AIP Conference Proceedings*. 2021;2402(050042). DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0072488>.
19. Козупица Г. С., Пятин В. Ф., Кухарева А., Байтуев И. А. Три великие проблемы Гинзбурга и три реальные проблемы биомедицины. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2022;3:5–14. DOI: 10.12737/2306-174X-2022-3-5-14.
20. Газя Г. В., Еськов В. В. Искусственные нейросети в оценке возрастных изменений. *Вестник новых медицинских технологий*. 2022;29(1):101–105. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-1-101-105.
21. Еськов В. В., Газя Г. В., Асриев Е. А. Возрастные аспекты изменения параметров кардиоритма женского населения Севера РФ. *Вестник новых медицинских технологий*. 2022;29(2):100–103. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-2-100-103.
22. Газя Г. В., Еськов В. В., Бодин О. Н., Веденев В. В. Системный анализ параметров сердечно-сосудистой системы мужчин и женщин Югры. *Вестник новых медицинских технологий*. 2021;4:26–29. DOI: 10.24412/1609-2163-2021-4-26-29.
23. Газя Г. В., Еськов В. В., Орлов Е. В., Стратан Н. Ф. Влияние факторов севера и промышленного производства на возрастные изменения работы сердца. *Вестник новых медицинских технологий*. 2022;29(1):106–109. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-1-106-109.
24. Еськов В. В., Шакирова Л. С. Почему детерминистский и стохастический подход невозможно использовать в кардиологии и во всей медицине? *Вестник новых медицинских технологий*. 2022;29(4):117–120. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-4-117-120.
25. Еськов В. В., Газя Г. В., Коннов П. Е. Фундаментальные проблемы биоклибернетики из-за неустойчивости выборок биосистем. *Успехи кибернетики*. 2022;3(4):110–122. DOI:10.51790/2712-9942-2022-3-4-13.
26. Eskov V. M. Methods for Identifying Two Types of Uncertainty in BioCybernetics. *AIP Conference Proceedings*. 2021;2402(050042). DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0072488>.

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-11

**ПОТЕРЯ ОДНОРОДНОСТИ ГРУППЫ – ВТОРАЯ «ВЕЛИКАЯ» ПРОБЛЕМА
БИОМЕДИЦИНЫ****В. В. Еськов^{1,a}, Г. В. Газя^{2,b}, А. Ю. Кухарева^{1,c}**¹ Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация² Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Российская Федерация^a firing.squad@mail.ru, ^b safety.ot86@gmail.com, ^c alja.87@mail.ru

Аннотация: в конце XX века нобелевский лауреат В. Л. Гинзбург представил три «великие» проблемы физики, которые имеют прямое отношение к живым системам. После открытия эффекта Еськова–Зинченко эти три проблемы перешли в реальные три проблемы биосистем, которые связаны с особенностями биосистем. Вторая реальная проблема из этого списка связана с потерей однородности групп испытуемых. Это действительно «великая» проблема для всех наук, изучающих живые системы, или системы 3-го типа, по W. Weaver.

Ключевые слова: хаос, нестабильность, эффект Еськова–Зинченко.

Для цитирования: Еськов В. В., Газя Г. В., Кухарева А. Ю. Потеря однородности группы – вторая «великая» проблема биомедицины. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):78–84. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-11.

Поступила в редакцию: 21.03.2023.

В окончательном варианте: 29.05.2023.

**THE LOSS OF GROUP HOMOGENEITY AS THE SECOND GREAT PROBLEM IN
BIOMEDICINE****V. V. Eskov^{1,a}, G. V. Gazya^{2,b}, A. Yu. Kukhareva^{1,c}**¹ Surgut State University, Surgut, Russian Federation² Ugra State University, Khanty-Mansiysk, Russian Federation^a firing.squad@mail.ru, ^b safety.ot86@gmail.com, ^c alja.87@mail.ru

Abstract: in the end of the 20th century, V. Ginsburg, a Nobel prize winner, presented three “great” problems of physics directly related to living systems. After the discovery of the Eskov-Zinchenko effect, these three problems became the problems of biosystems. The second problem on the list is the loss of homogeneity in sampling groups. This is a “great” problem for all sciences studying living systems or type 3 systems according to W. Weaver.

Keywords: chaos, instability, Eskov-Zinchenko effect.

Cite this article: Eskov V. V., Gazya G. V., Kukhareva A. Yu. The Loss of Group Homogeneity as the Second Great Problem in Biomedicine. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):78–84. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-11.

Original article submitted: 21.03.2023.

Revision submitted: 29.05.2023.

Введение

Нобелевский лауреат В. Л. Гинзбург в 1999 году, подводя итоги столетия для физики, представил три «великие» проблемы физики [1]. Эти «великие» проблемы напрямую касаются всех живых систем. Отметим, что еще в 1948 году основоположник теории информации (вместе с К. Шенноном) W. Weaver предложил вывести все биосистемы за пределы современной детерминистской и стохастической науки (ДСН) [2].

Подчеркнем, что после открытия эффекта Еськова–Зинченко (ЭЗ) в виде потери статистической устойчивости выборок (потери эргодичности) [3–11] мы приходим к доказательности первой великой проблемы Гинзбурга (стрела времени – необратимость живых систем). Однако третья великая проблема связана и с ЭЗ (любая выборка уникальна), и с потерей однородности любой группы испытуемых [11–19].

В итоге эти две великие проблемы для биомедицины приводят к доказательству гипотезы W. Weaver о том, что все биосистемы не могут быть объектом ДСН. Современная ДСН не может

описывать уникальные биосистемы. Тем более, когда мы не можем получить однородную группу испытуемых [20].

В итоге мы приходим к кризису всей математической статистики (и всей стохастики в целом) как науки для изучения биосистем. Системы третьего типа (по W. Weaver [2]) — СТТ — не могут быть объектом современной ДСН.

Кризис стохастики в изучении живых систем и новые неопределенности СТТ

За последние 150–200 лет вся биология, медицина, психология, экология и все остальные науки (о живых системах) активно используют методы математической статистики. При этом никто не задавал вопрос об эргодичности СТТ [11–19].

В 1948 году W. Weaver [2] представил три выдающиеся гипотезы для всей современной ДСН. Однако Weaver не дал никаких доказательств реальности этих трех гипотез, и поэтому ученые мира оставили его работы без должного внимания. Это очень странно для науки (наблюдается потеря чувствительности к новому).

Напомним, что Weaver представил особую (новую) классификацию всех систем природы. Он выдвинул первую гипотезу о том, что существуют системы 1-го типа (СПТ), т. е. детерминистские системы; существуют системы 2-го типа (СВТ), т. е. стохастические системы; существуют СТТ (биосистемы) [2].

Далее W. Weaver предложил вывести СТТ за пределы всей современной науки. Это было революционным предложением (СТТ — не объект ДСН). Однако на это никто не среагировал во всей мировой науке [2–11, 20].

Очень странно, но в работе Weaver имеется строгая логика, которая связана с понятием Complexity, но на это никто не обратил внимания. Это слово появилось впервые у СВТ, которые действительно имеют Uncertainty и Unpredictability вместе с Complexity из-за отсутствия точного прогноза в обычном состоянии вектора $x(t)$, т.е. в виде одной точки [2].

Отметим, что все биосистемы можно описывать вектором состояния $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в m -мерном фазовом пространстве состояний (ФПС). Для этого вектора $x(t)$ мы в детерминизме (в теории динамических систем — ТДС) всегда можем задать его начальное состояние $x(t_0)$, динамические уравнения и точно конечное состояние $x(t)$. Оно многократно повторимо.

В ТДС (для СПТ) мы всегда все точно определяем и точно (до одной точки $x(t)$) прогнозируем конечное состояние системы. Для стохастических систем (СВТ) мы этого сделать не можем, т. к. заданная $x(t_0)$ не определяет (точно!) конечное состояние $x(t)$. Поэтому мы работаем с облаком точек в ФПС.

Для СВТ появляются Uncertainty, Unpredictability и реальная Complexity. Подчеркнем, что во всей стохастике мы не можем точно предсказать конечное состояние системы, т. е. нужны повторения опытов и нужны выборки $x(t)$.

Для СВТ мы работаем в режиме повторений, и нужно уже повторять не точку (как для СПТ в ТДС), а целую выборку точек $x(t)$. Очень странно, что за эти 150–200 лет во всех науках о живых системах никто не проверял вероятность совпадения двух соседних выборок на интервалах времени t_1 и t_2 .

Если взять две соседние выборки $x(t)$ на интервалах времени t_1 и t_2 и сравнить их (после 100 таких парных повторений), то мы можем убедиться, что эти две соседние выборки (для одного и того же испытуемого в спокойном состоянии, сидя) очень редко статистически совпадают [11–12].

Расчет такого совпадения в биомеханике для треморограмм (ТМГ) дает частоту события $p_{i,i+1}^* \leq 0,05$, для теппиграмм (ТПГ) — $p_{i,i+1}^* \leq 0,15$, для кардиоинтервалов (КИ) — $p_{i,i+1}^* \leq 0,2$, для электромиограмм (ЭМГ) — $p_{i,i+1}^* \leq 0,2$, а для электроэнцефалограмм (ЭЭГ) — $p_{i,i+1}^* \leq 0,35$. Все эти величины крайне малы для статистики [20].

Напомним, что в статистике говорят о неизменности системы, если ее выборки (параметров) совпадают с вероятностью $p \geq 0,95$. В доказательной медицине эту величину поднимают до $p \geq 0,99$ (и даже до $p \geq 0,999$). Все это фантастические величины для биосистем, где обычно $p \leq 0,05$ или $p \leq 0,2$, редко $p \leq 0,35$.

Мы имеем дело с крайне нестабильными биосистемами, для которых невозможно использовать статистику (любая выборка $x(t)$ уникальна). Начальные состояния $x(t_0)$ для биосистемы, её фазовая

траектория в ФПС и конечное состояние $x(t_i)$ невозможно произвольно повторить не только точно, но и как выборку.

Математически это означает потерю эргодичности для любой биосистемы [20]. Мы не можем произвольно повторить любую выборку $x(t)$ для любой СТТ. Очень странно, но за последние 200 лет никто не ставил вопрос об эргодичности любой сложной биологической системы (СТТ).

Очевидно, что мы не знаем, что происходит за пределами измеряемых интервалов Δt_1 и Δt_2 . Что происходит до интервала Δt_1 , между Δt_1 и Δt_2 и после Δt_2 . Для ответа на этот вопрос мы начали измерять подряд по 15 выборок ТМГ, ТПГ, ЭМГ, КИ, ЭЭГ и др. параметров [3–15].

Для таких 15 выборок одного и того же параметра функций организма человека, находящегося в неизменном физическом состоянии (в покое, сидя), мы рассчитывали матрицы парных сравнений этих 15 выборок по критерию Вилкоксона p_{ij} (для i -й и j -й выборок). Если $p_{ij} \geq 0,05$, то такая пара выборок может иметь общую генеральную совокупность. Можно сказать, что эти две выборки статистически совпадают [19–20].

В итоге нами были построены сотни матриц парных сравнений выборок ТМГ, ТПГ, КИ, ЭМГ, ЭЭГ и других параметров функций организма человека. Во всех таких матрицах числа k пар, для которых критерий Вилкоксона $p_{ij} \geq 0,05$, весьма невелико. Обычно $k \leq 20\%$ и очень редко $k \leq 0,3$. Для примера мы представили типичную матрицу парных сравнений выборок ЭМГ (см. табл. 1).

Таблица 1

Матрица парного сравнения выборок ЭМГ одного и того же человека (при слабой статической нагрузке, $F_1 = 50Н$), использовался критерий Вилкоксона (критерий различий $p < 0,05$, число совпадений $k = 8$) [4]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00		0,08	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,08		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,22	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,46	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,46	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46		0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,05	0,00	0,13	0,10	0,05	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

В этой матрице число $k_1 < 0,05$, т. е. повторить любую выборку ТМГ крайне сложно статистически. Это доказывает ЭЗ, т. е. уникальность выборок в биомеханике. Во всей нервно-мышечной системе (НМС) обычно эти числа $k \leq 0,2$, т. е. выборки ТМГ, ТПГ, ЭМГ уникальны. Возникает глобальная Complexity для НМС.

Аналогичная ситуация и для параметров работы сердца. Мы изучали 17 таких разных параметров работы сердечно-сосудистой системы (ССС) больших групп испытуемых (более 20000 человек), и везде ситуация одинакова. Для примера мы представляем табл. 2 в виде матрицы для КИ.

Очевидно, что в таких таблицах парных сравнений выборок КИ число k пар выборок КИ, для которых $p_{ij} \geq 0,05$, очень невелико. Обычно $k \leq 0,2$, что и представлено в табл. 2. Очевидно, что любая выборка КИ уникальна, т. е. ССС – не эргодичная система.

Невозможно произвольно повторить любые выборки КИ (и других 16 параметров работы ССС). Все это доказано нами за последние 20 лет в виде ЭЗ. Подчеркнем, что ЭЗ доказывает стрелу времени I. R. Prigogine и В. Л. Гинзбурга (как 1-ю великую проблему). Одновременно ЭЗ раскрывает и

Таблица 2

Матрица парного сравнения выборок КИ одного и того же человека (без нагрузки, число повторов регистрации КИ $n = 15$), использовался критерий Вилкоксона (критерий различий $p < 0,05$, число совпадений $k = 17$) [3]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
2	0.00		0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.33	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00		0.48	0.00	0.91	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.48		0.00	0.86	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.40	0.84	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.05	0.91	0.86	0.00		0.04	0.00	0.00	0.00	0.13	0.08	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.05		0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.02		0.56	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	0.00	0.01	0.56		0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.63	0.99		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.19	0.00	0.02	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00		0.55	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.33	0.00	0.03	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55		0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
14	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
15	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

третью великую проблему Гинзбурга [1]. Это проблема редукции. Можно ли описывать СТТ в режимах ДСН?

Доказанный ЭЭЗ говорит, что редукции нет, любая выборка уникальна, биосистемы не эргодичны. Отметим, что Гинзбург это предчувствовал, в своей работе он указывал: «Пока дело не сделано, нельзя исключать возможность того, что мы даже на фундаментальном уровне еще не знаем чего-то необходимого для редукции» [1].

Однако ни W. Weaver, ни В. Л. Гинзбург не пытались доказать потерю эргодичности любых выборок любых параметров биосистем. Отметим, что у W. Weaver была и третья гипотеза, точнее, прогноз [2]. Он спрогнозировал, что через 50 лет человечество должно подойти к изучению реальных биосистем, и это произошло 20 лет назад [3–11].

Научная школа профессора В. М. Еськова начала изучать СТТ в режиме многих повторений и доказала: как нельзя одной точкой в ФПС описать СВТ (стохастические системы), так нельзя и одной выборкой описывать любую СТТ [15–20].

Уникальность выборок СТТ доказывает ЭЭЗ и потерю эргодичности любой выборки любой биосистемы [19–20]. Мы приходим к неопределенности 20-го типа [15–20]. Это завершает дальнейшее использование методов ДСН для СТТ и доказывает реальность 1-й и 3-й великих проблем Гинзбурга [15–20].

Вторая великая проблема для СТТ

Напомним, что второй великой проблемой Гинзбурга является проблема квантовой запутанности и роли сознания в квантовом эксперименте. Очевидно, что эта проблема повторяется в виде ЭЭЗ для нейросетей мозга (НСМ). Она доказана нами на примере электроэнцефалограмм (ЭЭГ) [3–9, 20].

Любая выборка ЭЭГ уникальна, и ЭЭЗ для НСМ имеет место. Однако в рамках ЭЭЗ мы приходим ко 2-й великой проблеме. Она вытекает из потери однородности группы любых испытуемых. Это означает, что если мы возьмем 15 разных испытуемых и зарегистрируем у них 15 (разных) выборок КИ, то эти выборки статистически не совпадают.

Очевидно, что если каждая выборка (одного человека из группы) не совпадает с другой выборкой другого человека, то эти двое испытуемых не могут входить в одну общую группу испытуемых. Если построить матрицы парных сравнений выборок ЭМГ для 15 разных людей (при слабом напряжении мышцы), то мы получим также ЭЭЗ.

Таблица 3

Матрица парного сравнения ЭМГ группы девушек (число повторов $n = 15$) при слабом напряжении мышцы ($F_1 = 5 \text{ даН}$), использовался критерий Вилкоксона (значимость $p < 0,05$, число совпадений $k = 5$) [5]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.04	0.00
9	0.00	0.01	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Критерий Манна – Уитни (и все другие критерии p_{ij} для несвязанных выборок) показывает очень малое число k пар, для которых $p \geq 0,05$. Очевидно, что малое число k доказывает потерю однородности этой группы (на примере ЭМГ).

Группа исследуемых не может быть однородной, если выборки не будут принадлежать одной (общей) генеральной совокупности. Потеря однородности любой группы усиливает наше утверждение о завершении дальнейшего применения статистики в изучении живых систем. Сводная матрица для группы представлена в табл. 4 для КИ (группа неоднородна).

Таблица 4

Матрица парного сравнения 15 выборок КИ группы женщин, использовался критерий Манна – Уитни (критерий различий $U < 0,05$, число совпадений $k_1 = 15$) [3]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00		0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
6	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00		0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00		0,19	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,19		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		1,00	0,00
14	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Мы доказали, что группы неоднородны по параметрам НМС (ТМГ, ТПГ, ЭМГ), ССС (КИ и

еще 16 параметров ССС), НСМ (на примере ЭЭГ). Любая выборка имеет свою (особую) генеральную совокупность.

Обсуждение

На рубеже XX и XXI веков нам удалось доказать гипотезу W. Weaver (СТТ — не объект ДСН, и нужна новая, третья после ДСН, наука) и гипотезу Н. А. Бернштейна (о повторении без повторений). В итоге был доказан ЭЭЗ в виде уникальности любой выборки x_i . Повторить статистически любую выборку чрезвычайно трудно [20].

Если любая выборка любого параметра x_i уникальна (ее нельзя произвольно статистически повторить), то с такими выборками невозможно работать. Нет прогноза будущего в статистике и во всей ДСН. Уникальные выборки завершают дальнейшее применение ДСН, т. к. невозможно дать прогноз будущего, и выборка описывает прошлое [3–19].

В итоге ЭЭЗ завершает проблему редукции биосистем (СТТ), их невозможно описывать в режимах ДСН, и нужна новая (третья) наука. Более того, применение ЭЭЗ для группы из разных испытуемых сразу приводит нас к потере однородности группы в биомедицине. С однородными группами можно работать, но иначе статистика уже неприменима.

Если каждый человек из группы имеет свою (особую) генеральную совокупность, то статистика с такими группами не может работать. Все науки о живых системах (биология, медицина, экология, психология и т. д.) работали с неоднородными группами. Это было большой ошибкой ДСН в изучении любых живых систем [15–20].

Очевидно, что уникальность любой выборки x_i (параметра биосистемы) и потеря однородности любой группы испытуемых полностью завершает дальнейшее использование ДСН в науках о жизни (СТТ). Мы приходим к необходимости создания новой науки, и это реальные (великие) проблемы биомедицины для всей ДСН. Они приводят к стреле времени I. R. Prigogine и потере редукции в описании живых систем — третьей «великой» проблеме В.Л. Гинзбурга [1].

Выводы

На рубеже XX и XXI веков была доказана гипотеза W. Weaver о том, что живые системы — не объекты современной ДСН. Доказательство основано на уникальности любой выборки любой СТТ. Это получило название ЭЭЗ, и это завершает использование ДСН в биомедицине.

Возникает первая «великая» проблема I. R. Prigogine (стрела времени) и В. Л. Гинзбурга (потеря редукции живых систем). Эта проблема усиливается второй «великой» проблемой СТТ — потеря однородности любой группы испытуемых. С неоднородными группами ДСН не может работать. Это завершает работу в рамках ДСН с биосистемами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург В. Л. Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными (тридцать лет спустя, причем уже на пороге XXI века)? *Успехи физических наук*. 1999;169:419–441. DOI:10.3367/UFNr.0169.199904d.0419.
2. Weaver W. Science and Complexity. *American Scientist*. 1948;36:536–544.
3. Еськов В. М., Пятин В. Ф., Чемпалова Л. С., Шаповалов К. А., Кухарева А. Существуют ли возможности для исследования стохастичности в кардиологии и во всей медицине? *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2022;1:28–47. DOI:10.12737/2306-174X-2022-1-28-49.
4. Еськов В. В., Галкин В. А., Газя Г. В., Гавриленко Т. В. Проблема редукции в физике и биологии. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2021;3:85–95. DOI:10.12737/2306-174X-2021-71-81.
5. Еськов В. В., Галкин В. А., Гавриленко Т. В., Филатов М. А., Самойленко И. С. Организация движений: хаос или стохастичность. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2022;1:5–16. DOI:10.12737/2306-174X-2022-5-16.
6. Коннов П. Е., Филатов М. А., Поросинин О. И., Юшкевич Д. П. Использование искусственных нейросетей в оценке актинического дерматита. *Вестник новых медицинских технологий*. 2022;29(2):109–112. DOI:10.24412/1609-2163-2022-2-109-112.
7. Газя Г. В., Еськов В. В., Бодин О. Н., Веденеев В. В. Системный анализ параметров сердечно-сосудистой системы мужчин и женщин Югры. *Вестник новых медицинских технологий*. 2021;4:26–29. DOI:10.24412/1609-2163-2021-4-26-29.

8. Еськов В. М., Гавриленко Т. В., Музиева М. И., Самойленко И. А. Теория динамического хаоса не может описывать биосистемы. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2022;3:87–95. DOI:10.12737/2306-174X-2022-60-71.
9. Башкатова Ю. В., Шакирова Л. С., Филатова О. Е., Чемпалова Л. С. Реакция сердечно-сосудистой системы женщин на гипертермические воздействия. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2022;3:27–39. DOI:10.12737/2306-174X-2022-26-32.
10. Менский М. Б. Концепция сознания в контексте квантовой механики. *Успехи физических наук*. 2005;175(4):413–435. DOI:10.3367/UFN.0175.200504c.0413.
11. Галкин В. А., Прохоров С. А., Гавриленко Т. В., Ефремов И. В., Чиркова Р. В. Системный синтез параметров в медицине. *Вестник новых медицинских технологий*. Электронное издание. 2021;6:1–8. Режим доступа: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-6/1-8.pdf>. DOI:10.24412/2075-4094-2021-6-1-8*.
12. Еськов В. М., Галкин В. А., Филатова О. Е. *Конец определенности: хаос гомеостатических систем* / под ред. А. А. Хадарцева, Г. С. Розенберга. Тула: Изд-во Тульское производственное полиграфическое объединение; 2017. 596 с.
13. Еськов В. М., Галкин В. А., Пятин В. Ф., Филатов М. А. *Организация движений: стохастика или хаос?* / под ред. Г. С. Розенберга. Самара: Издательство ООО «Порто-принт»; 2020. 144 с.
14. Пятин В. Ф., Еськов В. В. Может ли быть статичным гомеостаз? *Успехи кибернетики*. 2021;2(1):41–49. DOI:10.51790/2712-9942-2021-2-1-3.
15. Горбунова М. Н., Мордвинцева А. Ю., Веденева Т. С., Воробей О. А., Мандрыка И. А. Проблема однородности выборок произвольных и непроизвольных движений человека. *Вестник новых медицинских технологий*. 2021;28(1):60–63. DOI:10.24412/1609-2163-2021-1-60-63.
16. Khadartsev A. A., Eskov V. V., Pyatin V. F., Filatov M. A. The Use of Tremorography for the Assessment of Motor Functions. *Biomedical engineering*. 2021;54(6):388–392. DOI:10.1007/s10527-021-10046-6.
17. Eskov V. V. Modeling of Biosystems from the Stand Point of «Complexity» by W. Weaver and «Fuzziness» by L. A. Zadeh. *Journal of Physics Conference Series*. 2021;1889(5):052020. DOI:10.1088/1742-6596/1889/5/052020.
18. Filatova O. E., Bashkatova Yu. V., Shakirova L. S., Filatov M. A. Neural Network Technologies in System Synthesis. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1047:012099. DOI:10.1088/1757-899X/1047/1/012099.
19. Grigorenko V. V., Nazina N. B., Filatov M. A., Chempalova L. S., Tretyakov S. A. New Information Technologies in the Estimation of the Third Type Systems. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1889:032003. DOI:10.1088/1742-6596/1889/3/032003.
20. Заславский Б. Г., Филатов М. А., Еськов В. В., Манина Е. А. Проблема нестационарности в физике и биофизике. *Успехи кибернетики*. 2020;1(2):61–67. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-2-7.

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-12

ФРАКТАЛЬНО-ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ПРИРОДА СУБЪЕКТНО-ОБЪЕКТНЫХ СООТНОШЕНИЙ

Б. А. Богатых

г. Обнинск, Калужская область, Российская Федерация

✉ bogboris@yandex.ru

Аннотация: рассмотрены ключевые вопросы природы субъектно-объектных соотношений человека и окружающей его действительности, окружающей среды, в том числе и социальной, в рамках гомеостатического фрактально-голографического конструкта. Рассмотрена экологическая психология Гибсона при ее развитии Л. Малафурисом в идее энактивизма с привлечением таких базовых понятий, как энактивный, или материальный, знак, метапластичность и агентность вещей. Выдвинуто предположение, что природа психического и интуиция человека, применяя функционально как природу сознания, так и бессознательного, взаимодействуют с вещью, используя фрактально-голографические конструкты человека и вещи, квантовоподобными эффектами, за счет присутствия фрактальных и голографических нелокальных корреляций фрактально-голографических составляющих человека и вещи.

Ключевые слова: субъектно-объектные соотношения, фрактально-голографический конструкт, энактивизм, энактивный или материальный знак, метапластичность, агентность вещей, нелокальные корреляции фрактально-голографических составляющих человека и вещи.

Для цитирования: Богатых Б. А. Фрактально-голографическая природа субъектно-объектных соотношений. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):85–89. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-12.

Поступила в редакцию: 11.05.2023.

В окончательном варианте: 23.05.2023.

FRACTAL-HOLOGRAPHIC NATURE OF SUBJECT-OBJECT RELATIONS

B. A. Bogatykh

Obninsk, Kaluga Region, Russian Federation

✉ bogboris@yandex.ru

Abstract: this study covers the key issues of the subject-object relations between a person and the environment, including society, as a homeostatic fractal-holographic construct. Gibson's ecological psychology is considered, further developed by L. Malafouris into enactivism through such basic concepts as enactive or material sign, metaplasticity and agency of things. It is suggested that the nature of the psychic and the intuition of a person, using both the nature of consciousness and the unconscious, interact with the using fractal-holographic constructs of a person and a thing, quantum-like effects, due to the presence of fractal and holographic nonlocal correlations between the fractal-holographic components, person, and thing.

Keywords: subject-object relations, fractal-holographic construct, enactivism, enactive or material sign, metaplasticity, agency of things, nonlocal correlations of fractal-holographic components, people and things.

Cite this article: Bogatykh B. A. Fractal-Holographic Nature of Subject-Object Relations. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):85–89. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-12.

Original article submitted: 11.05.2023.

Revision submitted: 23.05.2023.

*Наука — это не что иное,
как попытка конструировать ...
инварианты там, где они неочевидны
М. Борн*

Введение

Рассматривая субъектно-объектные соотношения человека и окружающей его действительности, окружающей среды, следует отметить следующее. Понятия, идеи, мысли, обусловленные как рефлексивными процессами, так и формируемые на основе зрительных и слуховых образов, тактильных

ощущений (как и других сенсорных репрезентаций, хранящихся в нервной системе), не связанные неразрывно с тем или иным языком, могут быть, однако, выражены различными лингвистическими средствами (поверхностные структуры языка). Ими являются слова, символы и знаки, используемые человеком для описания или представления первичного сенсорного опыта. Всю сложность данных представлений ясно, на наш взгляд, изложил А. Р. Лурия: «Для того, чтобы объяснить сложнейшие формы сознательной жизни человека, необходимо выйти за пределы организма, искать источники этой сознательной деятельности и “категориального” поведения не в глубинах мозга и не в глубинах духа, а во внешних условиях жизни, в социально-исторических формах существования человека» [1, с. 23].

Все это обусловлено тем, что созданные с помощью мозга когнитивные модели мира (мысленные формы) истинной реальности являются не самой этой реальностью (окружающий мир), а его репрезентациями. Причем из среды субъектом (индивидом) активно «отбирается» то количество объектов, которое будет достаточным для достижения цели [2]. В свою очередь, количество объектов, которые может реализовать субъект, равно числу функций, которые он может реализовать [3]. Следовательно, субъект при взаимодействии со средой, и особенно с социальной, отражает историю своих соотношений с миром, а не внешний мир как таковой. Причем всякая психическая функция, формируясь как социальное взаимодействие, в последующем переходит во внутреннюю способность, которую Л. С. Выготский сформулировал в следующем виде: «Всякая высшая психическая функция необходимо проходит через внешнюю стадию развития, потому что функция является первоначально социальной. Это центр всей проблемы внутреннего и внешнего поведения <...> Всякая высшая психическая функция была внешней потому, что она была социальной раньше, чем стала внутренней, собственно психической, функцией, она была прежде социальным отношением двух людей. Средство воздействия на себя первоначально есть средство воздействия на других или средство воздействия других на личность» [4, с. 144–145].

Теория эффорданса и экологического мира

Данное взаимодействие, а точнее, взаимосодействие индивида со средой, в части обеспечения окружающим миром индивида разнообразными составляющими для совершения того или иного его активного поведения, Дж. Дж. Гибсон [5] сформулировал в теории эффорданса. Неологизм существительного *эффорданс* («*affordance*») образован от глагола *afford* — «представлять», «разрешать». При этом эффордансы не являются стимулами, то есть их нельзя предъявить индивиду, но можно обеспечить их наличие.

Гибсон считает, что индивид соотносится с совокупностью экологических ниш (экологическим миром), а не с миром, описываемым физическими терминами, причем конкретная экологическая ниша представляет собой набор эффордансов — возможность окружающей среды и возможность субъекта.

Однако, как справедливо отмечает Ю. И. Александров [6], эффорданс не включает субъективный компонент, ибо в своей теории эффордансов Гибсон постулирует независимость эффордансов от потребностей и опыта наблюдателя.

То есть необходимо дополнить экологический мир субъективным компонентом, подчеркивая этим аспект использования эффордансов индивидом (исследователем). Только при включении субъективного компонента индивида в понятие «эффорданс» будет заключена взаимодополняемость индивида и мира, которая, на наш взгляд, может быть отражена в рамках фрактальности, а точнее фрактально-голографического конструкта (ФГК). Именно логика фрактала, а также голографии, фрактальная геометрия указывают на комплементарность тех или иных взаимодействующих составляющих, например, организма и среды с реализацией меры, отражаемой в рамках золотой пропорции, фрактальной размерности и т. д. [7].

В конечном итоге мы можем заключить, что само человеческое действие в познании реальности не является чем-то внешним, отстраненным, а своеобразно включается в систему субъектно-объектных отношений, т. е. становится новой активной функцией — соотношения с собой, со своим континуумом, и, внося свой конкретный инкремент, видоизменяет каждый раз поле ее возможных состояний.

Данная потенциальная способность к рефлексии делает каждого человека (индивида) неповторимым, уникальным явлением. Причем вся совокупность субъектно-объектных отношений индивида при его активной позиции направлена в область формирования будущего, т. е. опережающего будущего. Данные особенности выявляются уже на нейронном уровне, где их активация на ранних этапах в поведенческом акте формирует сличение с субъективными моделями индивида предыдущих актов

континуума [8, 9].

Здесь отражение среды осуществляется в зависимости от мотивов и целей конкретного индивида, при отборе наиболее удачных актов в процессе фильтрации ошибок, накопившегося у него и хранящегося в его памяти опыта [10]. Л. В. Крушинский, со своей стороны, отстаивал точку зрения, что реализация во внешнем поведении процесса отфильтровывания проб и ошибок на ментальном уровне выступает показателем развития поведения в филогенезе [11].

Теория энактивизма

Экологическая психология Гибсона получила дальнейшее развитие в идее энактивизма — термин, отражающий те или иные подходы прокрустова ложа концепции воплощенного познания, т. е. познания, укорененного в телесном опыте [12]. Я. Фон Иксюль, со своей стороны, ввел ряд понятий, где наиболее важным стало *Umwelt* — отражающий жизненный мир субъекта, при взаимодействии данного субъекта, как действия, так и восприятия, с конкретным миром [13]. Иксюль при взаимодействии животного или человека с окружающим их миром обосновывает обоюдную их активность. Именно *Umwelt* на основе потребности организма осуществляет единство познания и жизни, предвосхищая саму идею экологической психологии Гибсона.

Как идея включения тела в процесс восприятия, так и сама зависимость воспринимаемого мира от субъекта обеспечивают выход познавательных процессов за пределы головного мозга. Все это обеспечило в области знания формирование междисциплинарного подхода — нейроархеологии — в рамках теории материального вовлечения, что, в конечном итоге, предопределило осмысленную возможность окружающей среды и возможность субъекта.

Л. Малафурис, со своей стороны, в рамках развитой им теории материального вовлечения, опираясь на позиции энактивизма, предложил ряд таких базовых понятий, как энактивный, или материальный, знак, метапластичность и агентность вещей [14]. Данными понятиями Малафурис в той или иной мере пытался объяснить динамику изменения разума человека, его психики, а также его мозга при их активном вовлечении в постоянно меняющуюся культуру, при наличии значимости и динамики агентности вещей. Здесь также анализ энактивной сигнификации, при которой происходит «закрепление» тех или иных когнитивных проекций на конкретных объектах материальной культуры [14, 15, 16, 17].

Иными словами, любой человек рефлексивно отражает историю своих соотношений с миром, а не внешний мир сам по себе. Более того, само описание им среды основано на оценках результатов, т. е. на оценках его соотношения с объектами-целями (*агентность вещей*), поведенческих актов — объектах материальной культуры. Развертываясь как целостность, создавая свой индивидуальный рисунок жизни, он (исследователь), в конечном итоге, формирует свою индивидуальную фрактально-голографическую композицию.

Фрактально-голографический конструкт

Вся палитра рассматриваемых и анализируемых понятий (энактивный, или материальный, знак, метапластичность и агентность вещей), на наш взгляд, поддается анализу в рамках гомеостатического ФГК, конструкта весьма динамичного и диалектичного. В одной из наших работ [18] данная конструкция — гомеостатический ФГК — осмыслен как источник самоподобия фрактальных и голографических структур, при этом динамически взаимоувязанных, самоорганизующихся, на основе широкого спектра перекрывания элементов, входящих в данную систему — ФГК [19]. При этом ФГК имеет широкий математический аппарат фрактальной геометрии — золотой пропорции (ЗП), рядов Фибоначчи (РФ), немарковских процессов (НП), а также и разного вида математические прогрессии (алгебраические, геометрические), обеспечивающие логический инструментарий поисковых процедур, и математический аппарат голографии в рамках символической информации [7, 18].

Все это, при максимально возможных отношениях элементов ФГК, обуславливает их взаимодействие, взаимопроникновение и постоянный переход (перекодировку) идеального (фрактальности при всем ее математическом аппарате) в материальное образование (физика голограммы). Причем данный переход осуществляется как в одну, так и в другую сторону, постоянно обогащая и обновляя элементы данных конструктов [18]. Таким образом, языком кодирования-перекодирования является и дух, и материя. Все это указывает на то, что противоположности здесь своеобразно уравниваются в неразличность, но они при этом по-прежнему потенциально существуют.

Данные противоположности наличествуют как у живого (животных и человека), так и у вещей, проявляясь в агентности вещей. При этом агентность вещей понимается не как специфическое человеческое свойство, а как эмерджентный продукт взаимодействия человека и вещи [14]. Современные информационные технологии все более и более обуславливают использование термина «агентность» как важный фактор влияния материальной культуры на мозг и психику человека. Иными словами, осуществляется взаимное, двустороннее влияние человека на вещь и вещи на человека [14].

Метапластичность, со своей стороны, отражает возможную эволюцию способности мозга адаптироваться в процессе освоения пластичной культуры тех или иных при постоянно меняющихся культурных практиках. Иными словами, человек представляет собой постоянно изменяющийся и трансформирующийся под воздействиями культурных практик продукт [14].

Использование математической и информационной составляющих ФГК будет в определенной мере отвечать на проблему семантики и грамматики, так как семантический анализ, т. е. анализ системы значений (понятий, конструктов, категориальных структур) может выступать в качестве основного способа описания содержания сознания и механизмов его изменения. Так, Л. С. Выготский, осмысливая понятийное мышление, предложил закон эквивалентности понятий, распределяя их при этом по классам (между которыми существуют определенные связи) в виде своеобразной пирамиды, указывая, что «всякое понятие может быть обозначено бесчисленным количеством способов с помощью других понятий» [20, с. 273]. Все это отчасти соответствует своеобразному подобию: «как любое число может быть получено бесконечным количеством арифметических комбинаций других чисел» [20, с. 275].

В рамках же природы ФГК, функционирующего как у человека, так и у вещи, данный процесс осуществляется, на наш взгляд, в следующей этапности. Человек, взаимодействуя с вещью, фиксирует ее агентность, составляющие фрактальность и голографичность, в пределах определенного осмысления его культурной подготовки в конкретном случае. Со временем культурное наслоение человека имеет развитие, и, соответственно, агентность вещи будет осмысливаться человеком, его фрактальностью и голографичностью, в рамках уже других ее (вещи) фрактальности и голографичности. Следовательно, человек, учитывая его постоянно изменяющийся контекст материальной культуры, осуществляет восприятие вещи на основе изменения природы своего ФГК, при этом агентность вещи также будет положительно реагировать в рамках изменения фрактально-голографического реагирования уже самой вещи.

Иными словами, с учетом постоянного активного вовлечения изменения материальной культуры осуществляется взаимное, двустороннее влияние человека на вещь и вещи на человека за счет сочетанной адаптации фрактально-голографических конструктов и вещи, и человека. Более того, взаимодействуя с вещью, человек, активно включая свою природу психического и интуицию, используя при этом как природу сознания индивидуального, так и коллективного бессознательного, взаимодействует с вещью через ФГК квантовоподобными эффектами [21]. При этом данный процесс осуществляется за счет присутствия и активного включения фрактальных и голографических нелокальных корреляций ФГК человека, учитывая его постоянно изменяющийся контекст материальной культуры, и вещи, т. е. проявление когерентности, отражая этим своеобразную синхронизацию фаз волновых функций человека и вещи.

Наряду с этим здесь также, на наш взгляд, будет активно функционировать, использоваться рассмотренный математический аппарат фрактальной геометрии, присутствующий и в природе живого, и в мире неживого — РФ, ЗП, НП, так и разного вида математические прогрессии, при соответствующих изменениях корреляций математических составляющих фрактальных и голографических нелокальных корреляций фрактально-голографических конструктов и человека, и вещи. Данную природу фрактальных и голографических нелокальных (квантовоподобных) корреляций фрактально-голографических конструктов человека и вещи, по-видимому, можно отразить с помощью странного аттрактора Плыкина, который ранее (использован) представлен нами в предыдущей работе [19].

Заключение

Таким образом, подытоживая, можно отметить, что человек смотрит на мир через свои модели мира, свои собственные качества, чувствуя, что мир таков, каким он предстает в диалоге этих отношений, и это становится, в конечном итоге, основой мировоззрения человека [22, с. 272].

При этом, на наш взгляд, что наиболее важно, природа психического и интуиция человека взаимодействуют с агентностью вещи через обоюдные (человека и вещи) гомеостатические ФГК кван-

товоподобными эффектами за счет функционирования фрактальных и голографических нелокальных корреляций ФГК человека и вещи. Следовательно, познание — это не представление независимо существующего мира, а его постоянное созидание, творение в процессе жизнедеятельности.

Таким образом, проблема семантики, как и грамматики, а также знаки, символы, синтаксис, по-видимому, должны рассматриваться как составляющие итерационных процессов ЗП, РФ, НП, обеспечивающих логический инструментарий поисковых процедур.

В заключении следует отметить, что познание природы фрактально-голографических феноменов субъектно-объектных соотношений, на наш взгляд, будет соответствовать дальнейшему своему развитию в рамках «парадигмы числового поля» [18], а также более фундаментальному изучению «Всеединой теории поля».

ЛИТЕРАТУРА

1. Лурия А. Р. *Язык и сознание*. М.: Из-во Моск. ун-та; 1979. 320 с.
2. Dewey J. *The Early Works, 1882–1898*. London: Southern Illinois Univ. Press; 1969. 496 p.
3. Uexkull J. von. A Stroll through the Worlds of Animals and Men. *Instinctive Behavior. The Development of a Modern Concept*. N.Y.: International Universities Press, Inc.; 1957. P. 5–80.
4. Выготский Л. С. *История развития высших психических функций*. Собр. соч.: в 6 т. Т. 3. М.: Педагогика; 1983. С. 5–328.
5. Гибсон Дж. Д. *Экологический подход к зрительному восприятию*. М.: Прогресс; 1988. 463 с.
6. Александров Ю. И. Теория функциональных систем и системная психофизиология. *Синергетика и психология: сб. науч. тр. Вып. 3: Когнитивные процессы* / под ред. В. И. Аршинова, И. Н. Трофимовой, В. М. Шендяпина. М.: «Когито-Центр»; 2004. С. 351–391.
7. Богатых Б. А. *Фрактальная природа живого. (Системное исследование биологической эволюции и природы сознания)*. М.: URSS. Книжный дом «ЛИБРИКОМ»; 2012. 258 с.
8. Швырков В. Б. *Нейрофизиологическое изучение системных механизмов поведения*. М.: Наука; 1978. 240 с.
9. Швырков В. Б., Александров Ю. И. Обработка информации, поведенческий акт и корковые нейроны. *Доклады Академии наук СССР*. 1973;212(4):1021–1024.
10. Швырков В. Б. *Введение в объективную психологию. Нейрональные основы психики*. М.: Инст-т психологии РАН; 1995. 162 с.
11. Крушинский Л. В. *Биологические основы рассудочной деятельности*. М.: Изд-во МГУ; 1979. 270 с.
12. Ward D., Silverman D., Villalobos M. Introduction: The varieties of enactivism. *Topoi*. 2017;36(3):365–375.
13. Uexkull J. von. *A Foray into the Worlds of Animals and Humans: With a Theory of Meaning*. Minneapolis: University of Minnesota Press; 2010. 273 p.
14. Malafouris L. *How Things Shape the Mind*. Cambridge, MA: MIT press; 2013. 320 p.
15. Malafouris L. At the Potter's Wheel: An Argument for Material Agency. Knappett C., Malafouris L. (eds) *Material Agency: Toward a Non-Anthropocentric Approach*. New York: Springer; 2008. P. 19–36.
16. Malafouris L. Metaplasticity and the Human Becoming: Principles of Neuroarchaeology. *J. Anthropol. Sci.* 2010;88(4):49–72.
17. Malafouris L. Mind and Material Engagement. *Phenomenology and the Cognitive Science*. 2019;18:1–17.
18. Богатых Б. А. Фрактально-голографический конструкт и теория поля К. Левина. *Национальный психологический журнал*. 2018;2:123–134.
19. Богатых Б. А. Базовые принципы фрактально-голографической природы осцилляций живого вещества как новый взгляд на суть феномена жизни. *Успехи кибернетики*. 2022;3(3):83–91.
20. Выготский Л. С. Мышление и речь. *Собр. соч.: в 6 т. Т. 2*. М.: Педагогика; 1982. С. 5–361.
21. Богатых Б. А. Синхронистичность в мире живого и неживого и парадигма числового поля. *Эволюционная и сравнительная психология в России: Современные исследования* / отв. ред. И. А. Хватов, А. Н. Харитонов, В. В. Гаврилов. М.: Московский институт психоанализа — Когито-Центр; 2021. С. 43–53.
22. Ярославцева Е. И. Человек в контексте синергетики. *Философия науки*. 2002;8(1):256–277.

Сетевое издание. Полные тексты статей размещаются на официальном сайте издания jcyb.ru.

Адрес учредителя и издателя:

Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр
Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»,
117218, г. Москва, Нахимовский просп., дом 36, корпус 1. Телефон: +7 (495) 718-21-10.

Дата выхода в свет 30.06.2023.

Формат 60 × 84/8.

Усл. печ. л. 6,7. Уч.-изд. л. 10,0.

Цена свободная.