

ISSN 2518-1092

# НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

RESEARCH RESULT. INFORMATION TECHNOLOGY

8(4) 2023

16+

Сайт журнала:  
[rinformation.ru](http://rinformation.ru)  
сетевой научный рецензируемый журнал  
online scholarly peer-reviewed journal



Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)  
Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл. № ФС77-69101 от 14 марта 2017 г.

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor)  
Mass media registration certificate El. № FS 77-69101 of March 14, 2017



Том 8, № 4. 2023

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 8, № 4. 2023

ONLINESCHOLARLYPEER-REVIEWED JOURNAL

First published online: 2016

ISSN 2518-1092

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:** **Черноморец А.А.**, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

**ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:** **Жухарев А.Г.**, доктор технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем Белгородского государственного национального исследовательского университета.

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

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

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:**

**Басов О.О.**, доктор технических наук (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), г. Санкт-Петербург)

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

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

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

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

**Калмыков И.А.**, доктор технических наук, профессор (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь)

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

**Косыкин А.В.**, доктор технических наук, профессор (Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел)

**Ломазов В.А.**, доктор физико-математических наук, профессор (Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, г. Белгород)

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

**Таранчук В.Б.**, доктор физико-математических наук, профессор, (Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь)

**EDITORIAL TEAM:**

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

**DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:** **Alexander G. Zhikharev**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

**EXECUTIVE SECRETARY:** **Evgeniya V. Bolgova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

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

**EDITORIAL BOARD:**

**Oleg O. Basov**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

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

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

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

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

**Igor A. Kalmykov**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

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

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

**Vadim A. Lomazov**, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor (Russia)

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

**Valery B. Taranchuk**, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor (Belarus)

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

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

Журнал выходит 4 раза в год

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

Publisher: Belgorod State National Research University

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

Publication frequency: 4/year

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENTS

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

### INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

<b>Кальченко Д.М., Заливин А.Н., Федоров А.В.</b> Анализ программных и программно-аппаратных средств для защиты информации в информационных системах органов государственной власти	<b>3</b>	<b>Kalchenko D.M., Zalivin A.N., Fedorov A.V.</b> Analysis of software and hardware-software tools for information protection in information systems of public authorities	<b>3</b>
<b>Бондарев В.Г., Мигаль Л.В.</b> Компьютерное моделирование структуры материальных объектов. Часть III. Кластеризация нуклонных систем	<b>12</b>	<b>Bondarev V.G., Migal L.V.</b> Computer modelling of material objects' structure. Part III. Clustering of nucleon systems	<b>12</b>
<b>Орищенко Т.С., Игумнов А.Ю.</b> Исследование и анализ проблем обучения дискретной математике в учебном заведении и через Интернет	<b>34</b>	<b>Orischenko T.S., Igumnov A.Y.</b> Research and analysis of problems of teaching discrete mathematics in an educational institution and via the Internet	<b>34</b>

### АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

### AUTOMATION AND CONTROL

<b>Яценко В.М., Ломакин В.В.</b> Распределенный алгоритм управления установкой микродугового оксидирования	<b>40</b>	<b>Yatsenko V.M., Lomakin V.V.</b> Distributed algorithm for control of microarc oxidation installation	<b>40</b>
---	-----------	--	-----------

### ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

### ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION MAKING

<b>Малых С.Б., Асадуллаев Р.Г., Ситникова М.А.</b> Проектирование рекуррентных нейронных сетей для классификации возрастных различий в функционировании системы символической оценки количества	<b>50</b>	<b>Malykh S.B., Asadullaev R.G., Sitnikova M.A.</b> Design of recurrent neural networks for classification of age differences in the functioning of the symbolic system of quantity assessment	<b>50</b>
<b>Смирнов И.З., Медведев А.А., Самигулин Т.Р., Комарова А.А., Тимощук-Бондарь А.И., Синько М.В., Лаушкина А.А., Гофман О.О., Басов О.О.</b> Разработка методов машинного обучения и библиотеки интерпретируемого предсказательного моделирования поведения человека в процессе его онлайн-профайлинга	<b>59</b>	<b>Smirnov I.Z., Medvedev A.A., Samigulin T.R., Komarova A.A., Timoshchuk-Bondar A.I., Sinko M.V., Laushkina A.A., Goffman O.O., Basov O.O.</b> Development of machine learning methods and a library of interpretable predictive modeling of human behavior in the process of online profiling	<b>59</b>
<b>Жихарев А.Г., Гармашев М.А., Резников Н.Г., Фуников А.Д.</b> Информационно-аналитическая технология будущего – Интернет вещей (IOT)	<b>70</b>	<b>Zhikharev A.G., Garmashev M.A., Reznikov N.G., Funikov A.D.</b> Information and analytical technology of the future – Internet of things (IOT)	<b>70</b>
<b>Маторин С.И., Гуль С.В.</b> Системно-объектный классификационный анализ предметной области	<b>78</b>	<b>Matorin S.I., Gul S.V.</b> System-object classification analysis of the subject domain	<b>78</b>

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ  
INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES**

УДК 004:056

DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-1

Кальченко Д.М.  
Заливин А.Н.  
Федоров А.В.

**АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ И ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ  
СРЕДСТВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ  
В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ОРГАНОВ  
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ**

Белгородский университет кооперации, экономики и права,  
ул. Садовая, д. 116а, г. Белгород, 308023, Россия

*e-mail: zalivin@bsu.edu.ru*

**Аннотация**

В статье рассмотрены различные средства защиты, которые способны обеспечить безопасность информационных систем (ИС) государственных органов. При рассмотрении средств защиты для обеспечения безопасности информационных систем, важно учитывать возможность успешного внедрения искаженной информации. Это позволяет определить наиболее значимые угрозы и риски для органов власти, чтобы разработать наиболее эффективные меры защиты. Среди рассматриваемых средств защиты будут системы управления доступом, межсетевые экраны, антивирусы, системы обнаружения вторжений и шифрование данных. Каждый из этих инструментов имеет свои особенности и функциональные возможности, которые необходимо изучить и проанализировать. Путем анализа этих средств защиты мы сможем определить, какие из них могут быть наиболее эффективными для обеспечения безопасности информационных систем в различных сценариях. Такой подход позволит государственным органам разрабатывать и внедрять комплексные и адаптированные к своим нуждам стратегии безопасности, минимизируя уязвимости и риски. Так же рассмотрены основные принципы выбора и внедрения средств защиты и предложены основные отечественные системы управления информационной безопасностью, а также необходимые организационные меры после внедрения этих средств. Таким образом, анализ средств защиты для обеспечения безопасности ИС, рассмотренный в статье, предлагает исследование различных инструментов и помогает государственным органам принять обоснованные решения в области безопасности.

**Ключевые слова:** проблемы информационной безопасности; анализ и выбор программных и аппаратных средств; аппаратные средства защиты; программные средства защиты; замещение импортного программного обеспечения

**Для цитирования:** Кальченко Д.М., Заливин А.Н., Федоров А.В. Анализ программных и программно-аппаратных средств для защиты информации в информационных системах органов государственной власти // Научный результат. Информационные технологии. – Т.8, №4, 2023. – С. 3-11. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-1

**Kalchenko D.M.  
Zalivin A.N.  
Fedorov A.V.**

**ANALYSIS OF SOFTWARE AND HARDWARE-SOFTWARE  
TOOLS FOR INFORMATION PROTECTION IN INFORMATION  
SYSTEMS OF PUBLIC AUTHORITIES**

Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya str., Belgorod, 308023, Russia

*e-mail: zalivin@bsu.edu.ru*

**Abstract**

The article discusses various means of protection that can ensure the security of information systems (IS) of government agencies. When considering security measures to ensure the security of information systems, it is important to consider the possibility of successful implementation of distorted information. This makes it possible to identify the most significant threats and risks for the authorities in order to develop the most effective protection measures. Among the security tools under consideration will be access control systems, firewalls, antiviruses, intrusion detection systems and data encryption. Each of these tools has its own features and functionality that need to be studied and analyzed. By analyzing these security measures, we will be able to determine which of them may be most effective for ensuring the security of information systems in various scenarios. This approach will allow government agencies to develop and implement comprehensive and tailored security strategies, minimizing vulnerabilities and risks. The basic principles of the choice and implementation of security tools are also considered and the main domestic information security management systems are proposed, as well as the necessary organizational measures after the introduction of these tools. Thus, our analysis of IP security protections offers a study of various tools and helps government agencies make informed security decisions.

**Keywords:** information security problems; analysis and selection of software and hardware; hardware protection; software protection tools; replacement of imported software

**For citation:** Kalchenko D.M., Zalivin A.N., Fedorov A.V. Analysis of software and hardware-software tools for information protection in information systems of public authorities // Research result. Information technologies. – Т.8, №4, 2023. – P. 3-11. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-1

**ВВЕДЕНИЕ**

Для информационных систем (ИС) органов государственной власти проблема информационной безопасности должна стоять на первом плане. Это обусловлено тем фактом, что такие системы обрабатывают конфиденциальную информацию, такую как персональные данные, государственную тайну и другие виды информации. Поэтому защита информации в данных системах становится приоритетной задачей для государства.

Анализ и выбор программных и аппаратных средств являются важным этапом в процессе обеспечения информационной безопасности в ИС органов государственной власти. Главная цель этого этапа - определить эффективность выбранных инструментов для защиты информации от различных угроз и найти оптимальные решения, соответствующие требованиям законодательства Российской Федерации.

К аппаратным средствам относятся различные электронные, электронно-механические и электронно-оптические устройства. Сегодня на рынке представлено огромное их количество, и они имеют разное предназначение. К примеру, существуют специальные реестры, предназначенные для хранения паролей и идентифицирующих кодов, устройства для измерения биометрических показателей человека, таких как голос или отпечатки пальцев, также существуют устройства для шифрования информации, которые основаны на криптографических методах.

Использование аппаратных средств защиты информации в ИС государственных органов позволит провести специальные исследования, которые выявят потенциальные каналы утечки информации и помогут устранить их, а также обеспечат защиту от незаконного доступа к конфиденциальным данным.

## **СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

Аппаратные средства защиты информации подразделяются на несколько категорий: средства обнаружения, средства поиска, средства детальных измерений и средства активного и пассивного противодействия. Среди средств поиска можно выделить аппаратуру для исследования каналов, в которых может произойти утечка информации и аппаратуру поиска средств съема информации.

Одним из аппаратных средств защиты информации является «eToken». Это устройство обеспечивает двухфакторную аутентификацию и безопасное хранение ключей шифрования. Он может использоваться для доступа к защищенным ресурсам, таким как веб-сайты, приложения и электронные документы, а также для хранения сертификатов и ключей электронной подписи.

Существуют различные модели «eToken». Одни имеют генератор одноразовых паролей, в других сочетается функционал смарт-карты и хранят существенные объемы данных во встроенной флэш-памяти или содержат только генератор одноразовых паролей. Есть модели, которые дают возможность генерировать ключи электронной подписи или могут использоваться для доступа в помещения.

«eToken» используется для аутентификации сотрудников и хранения ключевой информации их можно применять в ИС государственных органов, в которых хранится конфиденциальная информация, так как они рекомендуются к использованию для сертифицированных средств криптографической защиты информации.

Помимо аппаратных устройств защиты, существуют программные средства. Они работают в составе программного обеспечения.

Рассмотрим разновидности программных средств защиты, которые применимы в ИС государственных органов для защиты информации.

Антивирусное программное обеспечение применяется для выявления и уничтожения вирусов и других вредоносных программ. Оно предотвращает распространение вирусов на разные устройства и обеспечивает безопасность операционных систем и данных.

Компьютерные вирусы — это программы, главной целью которых является нарушение работы вычислительной системы, получение доступа к данным или их уничтожение. Некоторые из них остаются постоянно в оперативной памяти. Однако особенность некоторых компьютерных вирусов в том, что они кажутся вполне безобидными, но на самом деле нарушают работу системы. Такие вирусы называются "тройными конями". Вирусы обладают способностью распространяться внутри компьютера и по сети. Одной из важнейших областей в сфере безопасности является борьба с вирусами и для этой задачи разработано множество инструментов. Некоторые из них работают в режиме сканирования, проверяя содержимое жестких дисков и оперативной памяти компьютера на наличие вредоносных объектов. Другие, должны быть все время активны и находиться в оперативной памяти, где они следят за текущими задачами.

Существует множество разновидностей антивирусного программного обеспечения, таких как «Acronis AntiVirus», «Avast», «Avira AntiVir», «A-square anti-malware», «Dr.Web», «Антивирус Касперского», «eScan Antivirus», «F-Secure», «G-DATA Antivirus», «Graugon Antivirus», «McAfee», «Microsoft Security Essentials», «NOD 32», «Norman Virus Control», «Norton AntiVirus и другие.

В качестве рекомендаций можно привести несколько методов, которые помогают противодействовать компьютерным вирусам и уменьшать возможный ущерб от их заражения. Первый, это профилактика и уменьшение ущерба, который включает в себя регулярное обновление операционной системы и программного обеспечения, установку надежного антивирусного программного обеспечения с возможностью обнаружения и удаления известных вирусов, а также ограничение доступа к ненадежным веб-сайтам и подозрительным файлам. А второй, это метод обнаружения и удаления неизвестных вирусов, который включает анализ поведения программ и процессов на компьютере для обнаружения подозрительной активности, использование антивирусных программ, способных обнаруживать и удалять новые, еще неизвестные вирусы, а также осуществление резервного копирования данных, чтобы обеспечить возможность восстановления объектов, которые могут быть поражены вирусами.

Таким образом, предпринимаются меры профилактики заражения компьютера, а также разрабатываются и применяются антивирусные программы для определения и удаления как известных, так и неизвестных вирусов. В случае инфицирования важно помнить о восстановлении пораженных объектов с помощью резервных копий.

Виртуальное пространство Интернета является главным источником заражения вирусами, особенно при обмене электронными письмами.

Иногда пользователь зараженный вирусом файл неосознанно направляет адресатам, которые перенаправляют новые зараженные электронные письма и это вызывает массовое заражение компьютерной техники. Из этого следует, что необходимо исключать контакты с неизвестными источниками информации и использовать только лицензионное программное обеспечение.

Для обеспечения информационной безопасности в ИС государственных органов можно применять механизмы шифрования данных. Криптографические методы защиты информации используются для обработки, хранения и передачи информации по сетям связи. Криптография представляет собой науку о методах преобразования информации для ее защиты и включает в себя алгоритмы шифрования, ключи шифрования и методы аутентификации. Она используется для обеспечения конфиденциальности, целостности и аутентификации данных.

Шифрование – это процесс преобразования данных в непонятную форму для человека и программных комплексов, которая недоступна для чтения без ключа шифрования-расшифровки. Криптографические методы защиты информации являются важной составляющей концепции информационной безопасности, обеспечивая конфиденциальность данных и защищая их в процессе передачи по сети.

Ключ – это последовательность символов, которая определяет алгоритмы шифрования и дешифрования для обеспечения информационной безопасности. Локальные сети должны обеспечивать не только конфиденциальность, но и целостность данных, то есть предотвращать изменение и повреждение данных во время их передачи и хранения. Для обеспечения целостности данных необходимы инструменты, способные обнаруживать любые изменения в исходных данных.

При проведении аудита ИС государственных органов, большое внимание необходимо уделять возможности успешного внедрения искаженной информации. Однако криптография способна сократить эту вероятность до незначительного уровня.

Вот некоторые средства криптозащиты: «Signal-COM Cloud DSS Client», «Secret Disk», «ЛИРССЛ-CSP», криптопровайдер «КриптоПро CSP», «КриптоПро JCP», «ViPNet Client», «ViPNet CSP», «ViPNet CryptoFile», «ViPNet SafeDisk», «КриптоАРМ», «Континент».

Идентификация и аутентификация являются незаменимыми составляющими информационной безопасности для ИС государственных учреждений. Перед предоставлением доступа к ИС пользователи должны пройти ряд процедур, обеспечивающих защиту и контроль доступа:

- идентификацию – это процесс определения личности человека, который пытается получить доступ к ИС. Обычно для этого необходимо ввести имя пользователя или другой идентификатор;
- аутентификацию – это процедура подтверждения того, что пользователь или система являются действительно теми, за кого себя выдают. Этот процесс может осуществляться различными способами, такими как пароли, безопасные токены, использование биометрических данных и другие.

Существуют две формы представления объектов, выполняющих аутентификацию пользователей, это внешняя и внутренняя.

Объект аутентификации, находящийся вне системы, может быть самостоятельным устройством (например, ключ-карты), или это может быть внешнее программное обеспечение, взаимодействующее с ИС по протоколу аутентификации (например, OAuth, SAML).

Внутренний объект аутентификации, являющийся частью ИС, представляет собой модуль или компонент системы, который принимает информацию от внешнего объекта и выполняет процедуру аутентификации пользователя. Этот внутренний объект может проверять данные пользователя, сверять их с информацией, которая хранится в ИС или с использованием других методов проверки.

В любом случае, смысл этих объектов состоит в подтверждении идентичности пользователя перед предоставлением доступа к ИС. Однако внешний объект не имеет доступа к ИС и требует внутреннего объекта для проверки и аутентификации пользователей.

Межсетевые экраны, также известные как брандмауэры, широко применяются для обеспечения безопасности компьютерных сетей от внешних угроз. Они работают на основе определенных правил и политик безопасности, которые определяют, какие типы трафика будут разрешены, а какие запрещены. Они также могут выполнять функции «NAT» (Network Address Translation) и «VPN» (Virtual Private Network), обеспечивая защиту и конфиденциальность данных.

Основные преимущества при использовании межсетевых экранов:

- защита от внешних угроз: помогают обеспечить безопасность сети, блокируя несанкционированный доступ и атаки извне. Они просматривают весь трафик, проходящий через сеть, и блокируют вредоносные пакеты данных;
- фильтрация трафика: могут фильтровать трафик на основе различных параметров, например IP-адрес, порт, протокол. Это позволяет ограничить доступ к определенным приложениям или сервисам, а также блокировать небезопасные или нежелательные запросы;
- управление политиками безопасности: позволяют создавать и управлять политиками безопасности, определяющими, какие действия и подключения разрешены в сети. Это обеспечивает гибкость и контроль над сетевым трафиком;
- отслеживание и регистрация событий: могут вести журнал событий, записывая информацию о входящем и исходящем трафике. Это помогает в анализе и отслеживании возможных угроз.

Вот некоторые виды межсетевых экранов: «Solar Next Generation Firewall», «InfoWatch ARMA Industrial Firewall», «Positive Technologies Application Firewall» (PT AF), коммуникационный центр «ИБК КОЛЬЧУГА-К», «Ashampoo FireWall Pro», «AVG Internet Security», «Kaspersky», «Microsoft ISA Server», «Norton, Outpost», «Windows Firewall», «Sunbelt»), аппаратные («Fortinet, Cisco», «Check Point»), «Linux» («Netfilter», «Firestarter», «NuFW», «Uncomplicated Firewall»).

Управление трафиком между локальными и глобальными сетями может осуществляться при помощи Proxy-серверов, которые выполняют роль посредника. При этом, все данные, передаваемые между этими сетями на сетевом и транспортном уровнях, полностью запрещены и не направляются по маршруту. Вместо этого, обращения из локальной сети в глобальную выполняются с применением специальных серверов-посредников. Однако этот метод не является достаточно безопасным на более высоких уровнях, таких как уровень приложений.

Важно учитывать, что к ИС может быть получен несанкционированный доступ к информации. Чтобы предотвратить это, применяются средства защиты информации от несанкционированного доступа.

Это программные комплексы, которые позволяют подключать аппаратные идентификаторы и гарантировать защиту от попыток несанкционированного доступа как для отдельных устройств, так и в составе локальной сети.

Использование средств защиты информации от несанкционированного доступа для ИС государственных органов позволит придерживаться требований законодательства, а также соответствовать стандартам и руководящим документам.

Рассмотрим примеры различных средств, которые можно применить в ИС государственных органов для обеспечения безопасности и предотвращения несанкционированного доступа: «Dallas Lock», «Secret Net Studio», «АПКШ Континент», Аппаратно-программный модуль «Соболь», «Страж NT».

Также для предотвращения несанкционированного доступа в ИС можно использовать системы обнаружения вторжений. Это программные продукты, которые анализируют сетевой трафик и системные журналы с целью обнаружения любой аномальной активности и предупреждают о несанкционированном доступе или взломе системы. Они информируют администраторов о возможных подозрительных действиях и помогают устранять угрозы.

Проведенный анализ разновидностей программного и аппаратного обеспечения для защиты информации в ИС государственных органов показал, что на сегодняшний день существует

множество различных средств, предназначенных для обеспечения безопасности данных. При выборе оптимального метода защиты информации необходимо учитывать несколько факторов, таких как тип данных, которые необходимо защитить, существующие угрозы безопасности в организации и требования законодательства. Кроме того, необходимо оценить эффективность, затраты и совместимость различных средств защиты с уже существующими системами.

Однако только лишь комплексная защита информации способна эффективно предотвратить хищение данных, так как управление ею требует больше, чем простое удаленное управление антивирусами или другими средствами защиты.

В связи с обновлением Доктрины информационной безопасности Российской Федерации, государство рассматривает новые перспективы в развитии инновационных информационных технологий с использованием отечественного программного обеспечения, а также нацелено на усовершенствование системы защиты от угроз информационной безопасности с помощью новых подходов и решений.

С 1 января 2016 г. действует Постановление Правительства Российской Федерации, которое направлено на замещение импортного программного обеспечения на отечественное до конца 2024 года. Это касается всех органов власти, а также бюджетных организаций, осуществляющих государственные закупки.

Для этой цели был создан «Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных». Он позволяет расширять использование отечественных программ, подтверждать их происхождение из Российской Федерации и предоставлять правообладателям электронно-вычислительных программ меры государственной поддержки.

Учитывая, что законодательство Российской Федерации ограничивает приобретение иностранных средств защиты информации с целью перехода на отечественные, необходимо понимать, что начальный этап внедрения потребует значительных финансовых и трудовых затрат.

Как примером комплексной системы защиты информации для ИС государственных органов можно предложить следующие решения, которые в совокупности совместимы с отечественной операционной системой «Astra Linux Special Edition» с базовым уровнем защищенности:

- для обнаружения и удаления вирусов применять антивирусное программное обеспечение «DrWeb» или «Антивирус Касперского»;
- при передаче информации по каналам связи и обеспечения ее защиты, возможно использовать программно-аппаратный комплекс VipNet координатор и программное обеспечение «VipNet» клиент. Для развертывания и администрирования сети «VipNet» использовать «VipNet» администратор;
- для обеспечения защиты информации от несанкционированного доступа, использовать программное обеспечение «SecretNet Studio»;
- для проведения оценки состояния защищенности IT-инфраструктуры применять программное обеспечение «XSpider».

В случае необходимости взаимодействия и передачи данных по открытым каналам связи с учреждениями, у которых отсутствует возможность использовать программные или программно-аппаратные комплексы «VipNet», как альтернативу, можно использовать программное обеспечение «КриптоАРМ».

Предлагаемая комплексная система защиты информации имеет несколько ключевых особенностей, которые позволяют ей соответствовать требованиям законодательства Российской Федерации:

- защита персональных данных: система обеспечивает надежную защиту персональных данных, соблюдая все требования Федерального закона от 27 июля 2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных». Она предоставляет необходимые механизмы для обработки и хранения персональных данных согласно законодательству;
- защита конфиденциальности: система обеспечивает конфиденциальность информации путем шифрования данных и контроля доступа. Она предоставляет механизмы и инструменты для

управления правами доступа к информации и принятия мер по предотвращению несанкционированного доступа.

- защита от внешних атак: система включает в себя мощные механизмы фильтрации и обнаружения вторжений, вирусов и вредоносного ПО. Она способна обнаружить и предотвратить атаки, поддерживать целостность данных и предупреждать о возможных угрозах.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, предлагаемая комплексная система защиты информации обеспечивает соответствие требованиям законодательства Российской Федерации и может быть внедрена с минимальными финансовыми затратами.

На завершающем этапе необходимо помнить, что проведение регулярных обучений и тренингов по информационной безопасности поможет сотрудникам органов власти осознать важность соблюдения правил и процедур, связанных с защитой данных. Их необходимо ознакомить с основными принципами безопасности, такими как использование сложных паролей, установка обновлений на компьютерах и программном обеспечении, правилам обращения с электронной почтой и веб-сайтами.

Кроме того, создание культуры безопасности на рабочих местах является ключевым фактором успеха. Коллективное сознание о важности безопасности должно быть в каждом сотруднике, чтобы они сами были заинтересованы в соблюдении правил и процедур безопасности.

### **Список литературы**

1. ГОСТ Р 50922-96 Защита информации. Основные термины и определения.
2. Об информации, информационных технологиях и защите информации [Электронный ресурс]: федер. закон от 27.07.2007 № 149-ФЗ (ред. от 02.12.2019) // Консультант: сайт информ. – правовой компании – Москва, 2019. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_61798/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/) (дата обращения: 30.10.2023).
3. О персональных данных [Электронный ресурс] федер. закон от от 27.07.2006 N 152-ФЗ (ред. от 31.12.2017) // Консультант: сайт информ. – правовой компании – Москва, 2019. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_61801/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/) (дата обращения: 30.10.2023).
4. Стрельцов, А.А. Содержание понятия «обеспечение информационной безопасности». – Текст: непосредственный // Информационное общество, 2015. – №4. – С.12.
5. Бабаш, А.В. Криптографические методы защиты информации: учебное пособие / А.В. Бабаш, Е.К. Баранова. — Москва: Кнорус, 2018. — 190 с. – Текст: непосредственный.
6. Козлов, С.Н. Защита информации: устройства несанкционированного съема и борьба с ними: учебное пособие / С.Н. Козлов. – М.: Академический проект, 2018. – 286 с. – Текст: непосредственный.
7. Краковский, Ю.М. Защита информации: учебное пособие / Ю.М. Краковский. – Москва: Феникс, 2017. – 348 с. – Текст: непосредственный.
8. Никифоров, С.Н. Методы защиты информации: защищенные сети: учебное пособие / С.Н. Никифоров. – Москва: Лань, 2018. – 96 с. – Текст: непосредственный.
9. Никифоров, С.Н. Методы защиты информации: пароли, скрытые, шифрование: учеб. для вузов / С.Н. Никифоров. – Москва: Лань, 2018. – 124 с. – Текст: непосредственный.
10. Петраков, А.В. Основы практической защиты информации: учебное пособие / А.В. Петраков. – Москва: Солон-пресс, 2005. – 384 с. – Текст: непосредственный.
11. Северин, В.А. Комплексная защита информации на предприятии: учебник для вузов / В.А. Северин. – Москва: Городец, 2008. – 368 с. – Текст: непосредственный.
12. Хорев, П.Б. Программно-аппаратная защита информации: учеб. пособие / П.Б. Хорев. – Москва: Форум, 2019. – 352 с. – Текст: непосредственный.

13. Царегородцев, А.В. Методы и средства защиты информации в государственном управлении: учебное пособие / А.В. Царегородцев, М.М. Тараскин. – Москва: Проспект, 2017. – 208 с. – Текст: непосредственный.
14. Чефранова, А.О. Система защиты информации: курс лекций / А.О. Чефранова. – Москва: ДМК-пресс, 2015. – 392 с. – Текст: непосредственный.
15. Шаньгин, В.Ф. Информационная безопасность и защита информации: учебник для вузов / В.Ф. Шаньгин. – Москва: ДМК-пресс, 2017. – 702 с. – Текст: непосредственный.
16. Шаньгин, В.Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях: учебник для вузов / В.Ф. Шаньгин. – Москва: ДМК-пресс, 2012. – 592 с. – Текст: непосредственный.
17. Модель безопасности AstraLinux — основа для апробации новых ГОСТов – 14.05.2021 г.: статья – URL: <https://astralinux.ru/about/press-center/news/model-bezopasnosti-astra-linux-osnova-dlya-aprobatsii-novykh-gostov/> – Текст: электронный.
18. С. Шиляев. Проблемы информационной безопасности: алгоритм построения системы ИБ с нуля – 24.02.2015 г.: статья – URL: <https://kontur.ru/articles/1622> – Текст: электронный.
19. Реестр российского программного обеспечения. Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – URL: <https://reestr.digital.gov.ru/>
20. Указ Президента Российской Федерации от 01.05.2022 г. № 250 О дополнительных мерах по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47796> – Текст: электронный.

### References

- GOST R 50922-96 Information protection. Basic terms and definitions.
- About information, information technologies and information protection [Electronic resource]: feder. Law No. 149-FZ of 27.07.2007 (as amended on 02.12.2019) // Consultant: inform. – legal company website – Moscow, 2019. – Access mode: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_61798/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/) (accessed: 10/30/2023)
- About personal data [Electronic resource] feder. law of 27.07.2006 N 152-FZ (as amended on 31.12.2017) // Consultant: inform. – legal company website – Moscow, 2019. – Access mode: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_61801/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/) (accessed: 10/30/2023).
- Streltsov, A.A. The content of the concept of "ensuring information security". – Text: direct // Information Society, 2015. – No.4. – p.12.
- Babash, A.V. Cryptographic methods of information protection: a textbook / A.V. Babash, E.K. Baranova. — Moscow: Knorus, 2018. — 190 p. – Text: direct.
- Kozlov, S.N. Information protection: unauthorized removal devices and the fight against them: a textbook / S.N. Kozlov. – M.: Academic project, 2018. – 286 p. – Text: direct.
- Krakovsky, Yu.M. Information protection: a textbook / Yu.M. Krakovsky. – Moscow: Phoenix, 2017. – 348 p. – Text: direct.
- Nikiforov, S.N. Methods of information protection: secure networks: a textbook / S.N. Nikiforov. – Moscow: Lan, 2018. – 96 p. – Text: direct.
- Nikiforov, S.N. Methods of information protection: passwords, hidden, encryption: textbook. for universities / S.N. Nikiforov. – Moscow: Lan, 2018. – 124 p. – Text: direct.
- Petrakov, A.V. Fundamentals of practical information protection: a textbook / A.V. Petrakov. – Moscow: Solon Press, 2005. – 384 p. – Text: direct.
- Severin, V. A. Complex information protection at the enterprise: textbook for universities / V.A. Severin. – Moscow: Gorodets, 2008. – 368 p. – Text: direct.
- Khorev, P.B. Hardware and software protection of information: textbook. the manual / P.B. Khorev. – Moscow: Forum, 2019. – 352 p. – Text: direct.
- Tsaregorodtsev, A.V. Methods and means of information protection in public administration: a textbook / A.V. Tsaregorodtsev, M.M. Taraskin. – Moscow: Prospekt, 2017. – 208 p. – Text: direct.

14. Chefranova, A.O. Information security system: a course of lectures / A.O. Chefranova. – Moscow: DMK-press, 2015. – 392 p. – Text: direct.

15. Shangin, V.F. Information security and information protection: textbook for universities / V.F. Shangin. – Moscow: DMK-press, 2017. – 702 p. – Text: direct.

16. Shangin, V.F. Information protection in computer systems and networks: textbook for universities / V.F. Shangin. – Moscow: DMK-press, 2012. – 592 p. – Text: direct.

17. The AstraLinux security model is the basis for testing new GOST standards – 05/14/2021: article – URL: <https://astralinux.ru/about/press-center/news/model-bezopasnosti-astra-linux-osnova-dlya-aprobatsii-novykh-gostov/> – Text: electronic.

18. S. Shilyaev. Information security problems: an algorithm for building an information security system from scratch – 02/24/2015: article – URL: <https://kontur.ru/articles/1622> – Text: electronic.

19. The registry of Russian software. The Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation. – URL: <https://reestr.digital.gov.ru/>

20. Decree of the President of the Russian Federation No. 250 dated 05/01/2022 On Additional Measures to Ensure Information Security of the Russian Federation. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47796> – Text: electronic.

**Кальченко Даниил Михайлович**, магистрант 2 курса кафедры информационной безопасности

**Заливин Александр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности

**Федоров Алексей Васильевич**, магистрант 2 курса кафедры информационной безопасности

**Kalchenko Daniil Mikhailovich**, 2nd year Master's student of the Department of Information Security

**Zalivin Aleksandr Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences, associate Professor of the Department of Information Security

**Fedorov Alexey Vasilyevich**, 2nd year Master's student of the Department of Information Security

UDC 539.142

DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-2

Bondarev V.G.  
Migal L.V.

**COMPUTER MODELLING OF MATERIAL OBJECTS'  
STRUCTURE. PART III. CLUSTERING OF NUCLEON SYSTEMS**

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

*e-mail: Bondarev@bsu.edu.ru*

**Abstract**

The structure of light atomic nuclei, such as hydrogen, helium and lithium nuclides, was studied based on the cluster approach. Atomic nuclei are formed as systems consisting of free and bound lovetons, as well as neutron electrons and electron-positron pairs. The work focuses on the mass of the atomic nucleus and its binding energy as the main basic characteristics. There were determined the mechanisms considered binding nucleons into clusters, as well as the main patterns of changes in binding energy depending on the structure of the nucleus.

As part of this study, atomic nuclei were visualized and the dependence of the nuclear binding energy on the number of lovetons, electron-positron pairs and neutron electrons was revealed. The possibility of forming a shell structure of an atomic nucleus consisting of cluster associations of  $\alpha$ -particles has been shown. An algorithm for constructing the structure of the atomic nucleus is presented. The conditions for choosing the number of nuclear elements included in the atomic nucleus are determined. As additional results, an estimate of the binding energies of hypothetical hydrogen nuclides  $8H$  and  $9H$  was obtained, and their mass formulas were constructed. The charge radii of a number of hydrogen, helium and lithium nuclides have been calculated. The possibility of using the spiral structure of nuclei instead of the shell representation has been revealed. The nature of the occurrence of the binding energy of the atomic nucleus is explained. Comparison of the obtained values of binding energies and charge radii with experimental data allows us to assert an adequate approach to the formation of the structure of the atomic nucleus.

**Keywords:** atomic nucleus; cluster model; binding energy; visualization; structure; loveton; nucleon; nuclide; neutron electron; electron-positron pair; nucleon pairing; charge radius

**For citation:** Bondarev V.G., Migal L.V. Computer modelling of material objects' structure. Part III. Clustering of nucleon systems // Research result. Information technologies. – Т. 8, №4, 2023. – P. 12-33. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-2

Бондарев В.Г.  
Мигаль Л.В.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ  
МАТЕРИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ.  
ЧАСТЬ III. КЛАСТЕРИЗАЦИЯ НУКЛЕОННЫХ СИСТЕМ**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия

*e-mail: Bondarev@bsu.edu.ru*

**Аннотация**

На основе кластерного подхода проведено исследование структуры легких атомных ядер, таких как нуклиды водорода, гелия и лития. Атомные ядра формируются как системы, состоящие из свободных и связанных лавтонов, а также нейтронных электронов и электрон-позитронных пар. В работе основное внимание уделено массе атомного ядра и его энергии связи как основным базовым характеристикам. Рассмотрены механизмы связывания нуклонов в кластеры, определены основные закономерности изменения энергии связи в зависимости от структуры ядра.

В рамках данного исследования проведена визуализация атомных ядер, выявлена зависимость энергии связи ядра от числа лавтонов, электрон-позитронных пар и нейтронных электронов. Показана возможность формирования оболочечной структуры атомного ядра,

состоящих из кластерных объединений  $\alpha$ -частиц. Приведен алгоритм построения структуры атомного ядра. Определены условия выбора числа ядерных элементов, включенных в состав атомного ядра. В качестве дополнительных результатов получена оценка энергий связи гипотетических нуклидов водорода  $8\text{H}$  и  $9\text{H}$ , а также проведено построение их массовых формул. Выполнен расчет зарядовых радиусов ряда нуклидов водорода, гелия и лития. Выявлена возможность применения вместо оболочечного представления спиралевидной структуры ядер. Объяснена природа возникновения энергии связи атомного ядра. Сравнение полученных значений энергий связи и зарядовых радиусов с экспериментальными данными позволяет утверждать о адекватном подходе к формированию структуры атомного ядра.

**Ключевые слова:** атомное ядро; кластерная модель; энергия связи; визуализация; структура; лавтон; нуклон; нуклид; нейтронный электрон; электрон-позитронная пара; спаривание нуклонов; зарядовый радиус

**Для цитирования:** Бондарев В.Г., Мигаль Л.В. Компьютерное моделирование структуры материальных объектов. Часть III. Кластеризация нуклонных систем // Научный результат. Информационные технологии. – Т.8, №4, 2023. – С. 12-33. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-2

### INTRODUCTION

The atomic nucleus is a multiparticle self-consistent system consisting of nucleons interconnected by nuclear interaction forces. Description of the properties of the nucleus based on the laws of interaction between nucleons is one of the most important problems of nuclear physics [1-3]. There are various models of atomic nuclei [4, 5] that describe the parameters of nuclei, including the interaction energies of nucleons. The development of nuclear models was carried out in two different directions. The first direction is characterized by the creation of “independent particle models”, in which it is assumed that each nucleon moves in the average field of all other nucleons in the nucleus almost independently of each other. This group includes: the Fermi gas model, the potential well model, the nuclear shell model, and the generalized and optical models. The second direction is characterized by the creation of “models with strong interaction” [6]. In these models, the nucleus is considered as an ensemble of strongly interacting particles. This group of models includes: the liquid drop model, the cluster model, and the compound nucleus model.

The nuclear shell model [7] is widely used, in order to study the processes occurring in atomic nuclei. The theory of nuclear shells was developed by M. Goeppert-Mayer and I. Jensen for a single-particle model with a potential of three terms, including the spin-orbit interaction.

Most of the proposed nuclear models are based on a fundamental approach, which serves as the main guideline for constructing phenomenological models. However, its application is severely limited, and therefore approximate methods have become widespread. The main approximate microscopic method is the mean field method [8]. The mean field method, or Hartree-Fock method, makes it possible to describe the self-consistent nuclear field through studies of 2-particle interactions. Based on this concept, it was possible to explain why the properties of nuclei with similar numbers of protons and neutrons are very different from each other. Calculations in mean-field models make it possible to estimate binding energies for individual nuclei, and the accuracy of predictions ranges from 0.3 to 1 MeV for the total binding energy [9, 10].

Using the Hartree-Fock method, it is possible to calculate the masses, radii and distributions of nucleons, as well as other nuclear properties. So, at work [11] the calculation of the masses of nuclei between the proton and neutron boundaries of existence is given; when updating the array of empirical data on masses, refined calculations are made using the Skyrme potential [12]. In this case, the standard deviation in calculations for binding energies does not exceed 0.55 MeV. However, we note that the disadvantages of most of these models are their phenomenology, the lack of structural representations, and the nature of intranuclear interactions is not considered.

In a number of models, the atomic nucleus is considered as a system consisting of individual nucleons that form compact structures of two or more particles inside the nucleus [13]. Depending on the ratio of the number of protons and electrons, various constructions are possible, called clusters. To date, many theoretical techniques have been developed to study the phenomenon of nuclear clustering [14]. In a simple

cluster model, it is believed that the atomic nucleus consists of two structureless fragments, the properties of which coincide or are close to the properties of the corresponding nuclei in a free state [15]. The cluster structure is especially clearly manifested in light nuclei.

The stability of an atomic nucleus is characterised by its binding energy. Here, the binding energy is understood as the minimum amount of energy that must be expended to completely separate the atomic nucleus into individual nucleons. Another interpretation of the binding energy is possible, based on the reverse process, i.e., it represents the energy released during the fusion of free nucleons into the atomic nucleus [16].

The experimentally established distribution of binding energies over mass numbers in the nucleus has the following characteristic features [17, 18]:

1. For kernels with small values mass number the specific binding energy tends to increase.
2. For heavy nuclei, the specific binding energy is lower than for medium nuclei, and with increasing mass number there is a decrease in its value.
3. For nuclei with the same numbers of protons  $Z$  and neutrons  $N$ , the specific energy is higher than for atomic nuclei with the same value mass number  $A$ , but with numbers of nucleons different from equality.
4. Even-even nuclei have, on average, higher specific binding energies than odd-even or even-odd ones, and odd-odd ones have even lower specific binding energies.

Theoretical explanation for this behavior specific binding energy gives the liquid drop model [19]. Taking into account all the listed properties leads to the semi-empirical Weizsäcker formula

$$E_b = a_1 A - a_2 A^{2/3} - a_3 Z^2 A^{1/3} - a_4 (A/2 - Z)^2 / A + a_5 A^{-3/4}. \quad (1)$$

where  $a_1$ - $a_5$  are empirical coefficients;  $E_b$  is the binding energy;  $A$  is the mass number;  $Z$  is the charge number.

The coefficients in formula (1) are selected from the conditions of the best agreement between the model distribution curve and the experimental data on binding energies. Equation (1) can approximately describe the binding energy of nucleons as a function of mass number  $A$  for all nuclides except the lightest nuclei, with  $A < 20$  [20]. The greatest discrepancy between the experimentally measured values of nuclear binding energy and calculations using the Weizsäcker formula is observed in the region of magic numbers [22]. This is explained by the fact that the droplet model does not take into account the inhomogeneities in the distribution of nuclear matter caused by the shell structure of atomic nuclei [21].

The first attempt to correct the Weizsäcker mass formula by taking into account microscopic effects was made back by Myers and Świątecki [23]. The effects of the shell structure were manifested in the fact that the position of the levels of the single-particle spectrum deviated from the levels in the uniform spectrum. The shell correction was calculated as the difference between the energy levels of the shell model and the liquid-droplet (statistical) Fermi gas model. To improve the quality of predictions, in addition to the shell correction, the Wigner term was additionally introduced, which is associated with the special stability of nuclei with the same numbers of protons and neutrons [24].

Weizsäcker's formula was the first step towards a complete description of nuclear matter. Currently, a large number of model calculations of binding energy have been proposed. Models for analytical calculation of binding energies can be divided into microscopic, macro-microscopic, and phenomenological estimates based on local mass ratios [25]. Local mass ratios are arithmetic expressions that combine the binding energies of several nuclei close to each other on the nuclide map [26]. Based on the above considerations, the FRDM (Finite Range Droplet Model) model was created [27]. The total nuclear energy in this model depends not only on the charge of the nucleus and the number of neutrons, but also on the shape of the nuclear system. In total, the FRDM model has 10 independent parameters, which must be determined using an array of experimental data on nuclide masses. In the modern FRDM model [28] the error is 0.56 MeV for 2194 nuclei from 16O to 264Hs, and for the region  $N > 64 - 0.35$  MeV, which makes the model comparable in accuracy to microscopic methods.

The structural approach is also important, which, on the one hand, uses visual visualization, and on the other, is based on values determined by experimental methods [29]. Usually, the nucleus of an atom is

usually depicted as an ellipsoidal dense packing of nucleons [30]. However, recently studies have appeared in which the core structure is a fragment of some lattice [31, 32].

In the process of studying the atomic nucleus, it became clear that the structure of a neutron or proton can change when the particle is bound in the atomic nucleus. Thus, it was discovered that the internal structure of nucleons depends on their environment [33]. That is, the structure of a nucleon in empty space is different from its structure when it is located in an atomic nucleus. However, despite theoretical and experimental work, the reason for this modification remains unclear.

Starting with the works of J. Wheeler, K. Wildermuth and Y. Tang [34], which laid the foundations for studying the cluster properties of nuclear systems, it turned out that using the microscopic method it is possible to describe a wide range of physical phenomena, for example, static clustering and cluster decays, from a unified point of view, and also make significant progress in the study of processes in which such systems are involved.

Consideration of the structure of the atomic nucleus shows that independent groups of clusters with characteristics close to the properties of individual free nuclei can be realized in the nucleus. Previously existing ideas about clusters stably existing in the nucleus were replaced by the understanding that in the process of almost independent movement of nucleons in the nucleus, virtual subsystems in the form of clusters are formed and destroyed [35]. Therefore, we can only talk about the probability of the existence of one or another cluster channel. However, if this probability is relatively high, you can use a single-channel cluster model, which in many cases turns out to be a good approximation to the situation actually existing in the kernel. Such a model makes it relatively easy to perform any calculations of nuclear characteristics, even in those systems where methods for solving the many-body problem are either very cumbersome in numerical execution or do not lead to specific quantitative results at all.

Problems associated with the study of the cluster properties of the atomic nucleus have recently attracted special attention. The properties of clusters and the specifics of their interaction are reflected in the observable characteristics of the system as a whole and its reactions to various external influences. The experimental results for determining the binding energy of the nucleus also contain “pulsations” at a level of 1-2 MeV. Thus, the neutron separation energy for some nuclides periodically increases when the number of neutrons becomes even, and decreases when their values are odd. The difference in binding energies between even and odd nuclei indicates the presence of pairing forces in atomic nuclei [36]. Based on this consideration, as the goal of the presented work, one can choose to construct the nucleon structure of the nucleus based on the cluster approach and estimate the binding energies based on the available experimental data. At the same time, the problems of analyzing the structure of a number of nuclides are solved, with the possibility of subsequent formation of the spatial structure of the atomic nucleus.

### 1 RESEARCH OBJECTIVE

Let us consider the problem of constructing the structure of the atomic nucleus by studying the relative arrangement of nuclear elements: lovetons, electron-positron pairs and neutron electrons for light nuclei, and also show the possibility of layer-by-layer placement of  $\alpha$ -particles in accordance with the shell model of the nucleus. All calculated values of the parameters of nuclear elements are presented in Table 1 [37].

Calculated data on nuclear elements and their binding energies

Table 1

Расчетные данные по ядерным элементам и их энергиям связи

Таблица 1

Particle	Mass (meV)	Type connect	Energy connect (meV)
Loveton, $L$	882.158477726	$LL$	6.18094291005
<u>Electron, <math>e</math></u>	0.51099895	$Le$	0.78127053419
<u>Neutrino, <math>\nu</math></u>	0.00106285981	$ee$	0.95644605733

**Note.** For neutrino, the value of the reduced mass is given. Designations:  $LL$  – loveton-loveton;  $Le$  – loveton electron;  $ee$  – electron-electron (positron).

To carry out the calculations, we use the original array of experimental data, which represents the binding energies of the Atomic Mass Evaluation AME 2022 nucleus [38], as well as data on charge radii [39], necessary for the targeted formation of structure and visualization of atomic nuclei.

When constructing structures of atomic nuclei, it is necessary to adhere to a number of conditions and restrictions:

1. In the vast majority of cases, modeling will not consider the Coulomb repulsion forces acting between protons in the nucleus.

2. The structure of the nucleus will be modeled by a system of nucleons consisting of combinations of lovetons, neutron electrons and electron-positron pairs.

3. Due to the closeness of the binding energies of neutron electrons and electron-positron pairs, an exchange of bonds between these nuclear elements is possible.

4. The proposed method for forming the structure of a nucleus will be based on clustering analysis, that is, on the representation of a nucleus consisting of a collection of light nuclei and individual nucleons, considered as clusters forming a compound nucleus.

5. The main geometric objects of the model of atomic nuclei will be free lovetons, which, together with bound lovetons, electrons and electron-positron pairs, model individual light nuclei. In this case, bound lovetons perform the function of creating cells of the nuclear framework into which free lovetons are embedded.

6. To visualize the structure of the nucleus, you should build its diagram by filling the nuclear frame with the appropriate number of nuclear elements, choosing the number of frame cells and correctly placing each free loveton in its cell. Next, you should write down a mass formula that determines the type of nucleus in all areas of the nuclear diagram.

7. The effect of nucleon pairing can only occur in combined nuclei.

8. The combination of nucleons to form an atomic nucleus can be caused by dipole attraction induced by electron-positron pairs that make up the nucleons [37].

9. The proposed model of the atomic nucleus does not require the introduction of a hypothesis about the presence of quark objects. The mass of a neutrino is a fairly small value, so we will also exclude this particle from consideration when carrying out the process of formation of an atomic nucleus.

According to the rules defined above, using computer modeling, spatial models can be built for all atomic nuclei. When conducting research taking into account this approach, formulas for determining the mass of the  $i$ -th atomic nucleus  $M_i$ , as well as binding energy  $E_b$  can be represented in the following form

$$M_i = N_L m_L + N_e m_e + N_{LL} E_{LL} + N_{Le} E_{Le} + N_{ee} E_{ee} \quad (2)$$

where  $E_{LL}$ ,  $E_{Le}$ ,  $E_{ee}$  are the energies of  $LL$ -,  $ee$ - and  $Le$ -bonds in the nucleus;  $N_L$ ,  $N_{LL}$ ,  $N_{Le}$ ,  $N_{ee}$  are respectively, the number of lovetons,  $LL$ -,  $ee$ - and  $Le$ -bonds in the nucleus;  $m_L$ ,  $m_e$  are loveton and electron masses.

$$E_b = N_p m_p + N_n m_n - M_i \quad (3)$$

where  $N_p$ ,  $N_n$  is number of protons and neutrons in the nucleus;  $m_p$ ,  $m_n$  are experimental values of proton and neutron mass.

As a basis for constructing composite atomic nuclei, we will take the structural schemes of the proton and neutron (Fig. 1), as well as their mass formulas

$$M_p = m_L + 2m_e + 8E_{LL} + E_{ee} + 6E_{Le} . \quad (4)$$

$$M_n = m_L + 3m_e + 8E_{LL} + E_{ee} + 7E_{Le} . \quad (5)$$

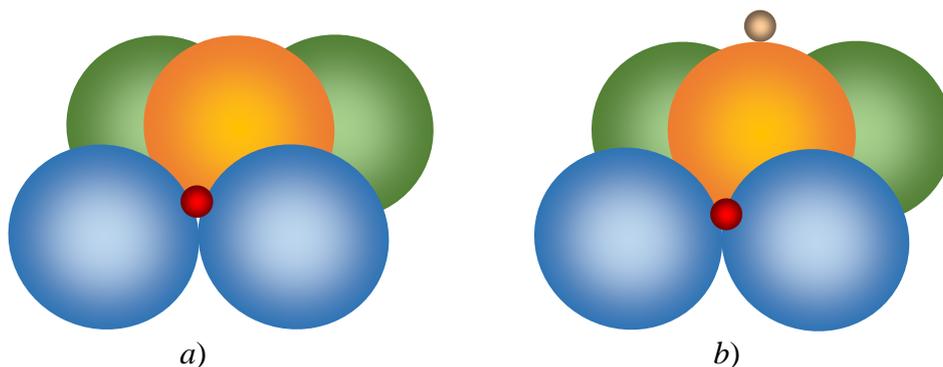


Fig. 1. Schemes of the structure of the nucleons: a) proton; b) neutron

● – bound lovton; ● – bound antiloveton; ● – free lovton; ● – electron; ● – electron-positron pair

Рис. 1. Схемы структуры нуклонов: а) протон; б) нейтрон

● – связанный лавтон; ● – связанный антилавтон; ● – свободный лавтон; ● – электрон; ● – электрон-позитронная пара

When determining the structural composition of atomic nuclei, we will consider the binding energy of the nucleus as the main criterion. Analysis of the change in binding energy when adding nuclear elements will allow us to estimate the magnitude of the change in the number of *LL* bonds, and an approximate assessment of the data on the number of *ee*- and *Le*-bonds can be carried out by calculating possible combinations of elements in the nucleus. Auxiliary analysis based on these relationships of linear dependences on the mass number will confirm the correctness of determining the structural composition of the selected nucleus.

The mass estimates in the proposed method can be obtained using a step-by-step algorithm. We select an array of experimental data on the binding energies of nuclei, and use formula (2) to calculate the binding energy at the first step. If the calculation is performed by variations of the parameters in formula (2), the obtained estimates are averaged. Thus, for each new nuclide it is possible at one step to obtain from 1 to 4 estimates of the possible number of nuclear elements. The procedure is repeated until one set of nuclear elements is selected. Thus, more accurate results can be achieved if one takes into account possible changes in the binding energies of electron-positron pairs and neutron electrons with lovtons.

## 2 MODEL FORMATION

### 2.1 HYDROGEN NUCLIDES

**Hydrogen-2 ( $^2\text{H}$ ).** For a deeper understanding of the structure of the nucleus, we will first understand the structure of the simplest compound nucleus of hydrogen –  $^2\text{H}$  (deuteron), which is a deuterium nucleus. The results obtained, in terms of explaining the composition and structure of the deuteron, will in the future allow us to determine the general principles for constructing the structure of atomic nuclei.

According to modern concepts, a deuteron is formed by the union of two nucleons: a proton and a neutron. In the deuteron, the proton and neutron can be united through the removal of two bound lovtons from their common composition. The loss of the two lovtons results in a reduction in the number of *LL*-bonds by three bonds. However, combining a proton with a neutron adds two new bonds to the structure of the resulting deuteron, which reduces the total number of *LL*-bonds by only one unit. In this case, two different structural states are formed (Fig. 2).

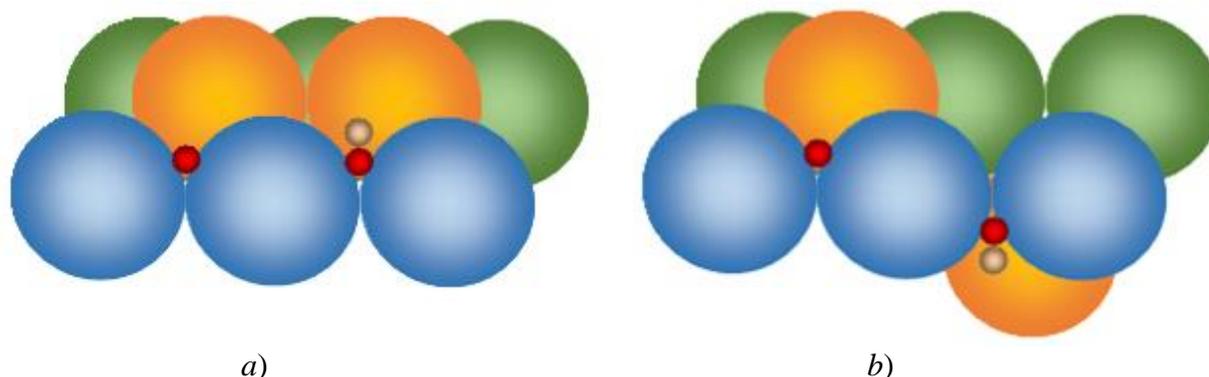


Fig. 2. Schemes of the structure of the deuterium (deuteron) nucleus:  
a) linear placement of lovetons; b) diagonal placement of lovetons

Рис. 2. Схемы структуры ядра дейтерия (дейтрона):  
a) линейное размещение лавтонов; b) диагональное размещение лавтонов

The structural patterns that can be formed from a neutron and a proton are obtained when the free lovetons of the proton and neutron are combined linearly (Fig. 2a), and also when they are placed diagonally relative to the position of the bound lovetons (Fig. 2b),

Regardless of the type of structural diagram chosen, this representation of the deuteron allows us to write the only mass formula for the deuteron

$$M(^2H) = 2m_L + 5m_e + 15E_{LL} + 7E_{ee} + 12E_{Le}. \quad (6)$$

In formula (6), the number of  $LL$ -bonds is the sum of the number of bonds between bound lovetons, determined by the value:  $N_{LL} = 7$ , as well as the value of these bonds between free and bound lovetons:  $N_{LL} = 8$ .

The total number of electrons and positrons included in the deuteron is numerically equal to:  $N_e = 5$ . The number of  $ee$ -bonds in this case is calculated through the total number of possible bonds between particles in electron-positron pairs, determined through the number of combinations, with the addition of one neutron electron bond:  $N_{ee} = 7$ .

The number of  $Le$ -bonds in a deuteron is determined by the number of these bonds between particles in electron-positron pairs and the lovetons in contact with them. For each such particle there are three bonds, therefore, the total number of  $Le$ -bonds will be equal to:  $N_{Le} = 12$ .

The presence of a bond between a neutron electron and an electron-positron pair does not allow the occurrence of  $\beta$ -decay, and the loss of an  $LL$  bond does not allow for nucleon decay. For these reasons, the deuteron can be classified as a stable nucleus.

**Hydrogen-3 ( $^3H$ ).** When a second neutron is added to the deuteron, the nuclide  $^3H$  (triton) is formed – a tritium nucleus (Fig. 3).

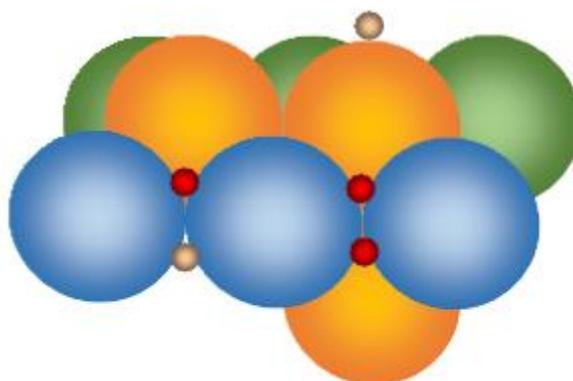


Fig. 3. Scheme of the structure of the tritium (triton) nucleus  
Рис. 3. Схема структуры ядра трития (тритона)

This diagram represents a structure consisting of a deuterium nucleus, which is combined with a neutron added to it. In this case, the added neutron completely loses the bound lovetons included in its composition. In this case, the number of  $LL$ -bonds increases to the following value:  $N_{LL} = 20$ , including seven  $LL$ -bonds between bound lovetons, 12 bonds between free and bound lovetons, as well as the appearance of one additional  $LL$ -bond due to the effect of neutron pairing. The number of  $ee$ -bonds, taking into account the number of combinations between particles of electron-positron pairs, as well as the possible inclusion of one of the neutron electrons in their composition, gives us 21  $ee$ -bonds. Note that the number of  $Le$ -bonds is equal to 19. However, if we assume that one of the  $ee$ -bonds of a neutron electron is also converted into  $Le$ -bond, then their number is equal to:  $N_{Le} = 20$ . The same value will be represented by counting  $ee$ -bonds:  $N_{ee} = 20$ . This scheme is energetically more favorable than the simple addition of a neutron to a deuteron; therefore it is the one that most closely matches the triton binding energy. Accordingly, the mass formula will have the form

$$M(^3H) = 3m_L + 8m_e + 20E_{LL} + 20E_{ee} + 20E_{Le}. \quad (7)$$

Thus, the triton is unstable because one of the neutron electrons has only one  $Le$ -bond, which can lead to  $\beta$  decay.

**Hydrogen-4,5,6,7 ( $^{4,5,6,7}H$ ).** All subsequent hydrogen nuclides decay directly into  $^3H$  (triton) and a series of neutrons. The instability of these nuclides indicates the absence of common  $LL$  bonds between triton and neutrons. Consequently, these particles form hydrogen nuclides only due to the presence of nuclear forces, as well as some change in the number of  $ee$ - and  $Le$ -bonds. Based on the above assumptions for  $^4H$ , the number of all bonds can be estimated by simply summing the bond data for the triton and the neutron attached to it. As a result, we will get the following values:  $N_{LL} = 28$ ;  $N_{ee} = 21$ ;  $N_{Le} = 26$ , with the total number of electrons and positrons equal to  $N_e = 11$ .

To clarify the summed values for  $^4H$ , we will use the known value of the binding energy obtained experimentally [37]. Correcting this formula taking into account the binding energy shows only an increase in  $Le$ -bonds to the value:  $N_{Le} = 29$ . Consequently, neutron electrons, in the process of attaching a neutron to a triton, began to interact not only with their own free lovetons, but also with neighboring free lovetons, which leads to the appearance of three additional  $Le$ -bonds. This fact allows us to write the following final formula for  $^4H$

$$M(^4H) = 4m_L + 11m_e + 28E_{LL} + 21E_{ee} + 29E_{Le}. \quad (8)$$

The corresponding values for all subsequent hydrogen nuclides are calculated in a similar way. We only note the appearance of possible transitions in the number of  $ee$ - and  $Le$ -bonds, as well as the absence of pairing of hydrogen nucleons during the addition of neutrons. So, for hydrogen-5 this is an additional increase in the number of  $ee$ -bonds by one to the value  $N_{ee} = 23$ . For hydrogen-6 there is an increase in not only  $ee$ -, but also  $Le$ -bonds by one as well. Hydrogen-7 has no additional bonds. The analysis carried out allows us to write mass formulas for all hydrogen nuclides considered above

$$M(^5H) = 5m_L + 14m_e + 36E_{LL} + 23E_{ee} + 35E_{Le}. \quad (9)$$

$$M(^6H) = 6m_L + 17m_e + 44E_{LL} + 25E_{ee} + 42E_{Le}. \quad (10)$$

$$M(^7H) = 7m_L + 20m_e + 52E_{LL} + 26E_{ee} + 48E_{Le}. \quad (11)$$

Table 2 shows the obtained parameters of the listed hydrogen nuclides.

Table 2

Composition of hydrogen nuclides

Таблица 2

Состав нуклидов водорода

Nuclide	Experiment		Decay mode	Daughter nuclide	LL	ee	e	Le	Calculation	
	Mass, $m_{exp}$ (meV)	Binding energy, $E_{exp}$ (meV)							Binding energy, $E_{calc}$ (meV)	$ E_{calc} - E_{exp} $
<b><math>^1\text{H}</math></b>	938.272	0	Stable		8	1	2	6	0	0
<b><math>^2\text{H}</math></b>	1877.838	2.225	n	p	15	7	5	12	2.181	0.044
$^3\text{H}$	2817.403	8.482	n	$^2\text{H}$	20	20	8	20	8.466	0.016
$^4\text{H}$	3756.968	6.880	n	$^3\text{H}$	28	21	11	29	6.905	0.025
$^5\text{H}$	4696.534	6.680	2n	$^3\text{H}$	36	23	14	35	6.731	0.051
$^6\text{H}$	5636.099	5.760	3n	$^3\text{H}$	44	25	17	42	5.775	0.015
$^7\text{H}$	6575.665	5.580	4n	$^3\text{H}$	52	26	20	48	6.558	0.022

Note: Stable nuclides are shown in bold. Source of data on masses and binding energies [38]

2.2 HELIUM NUCLIDES

**Helium-3 ( $^3\text{He}$ ).** The helium nucleus  $^3\text{He}$  (helion) arises from the  $\beta$ -decay of the heavy hydrogen nuclide, triton. In this case, one of the neutron electrons is emitted. This process leads to a change only in the number of electrons, leaving the number of bonds unchanged, due to the transition of one  $Le$ -bond to a second neutron electron. Helion, unlike triton, is stable and consists of two paired protons and one neutron (Fig. 4).

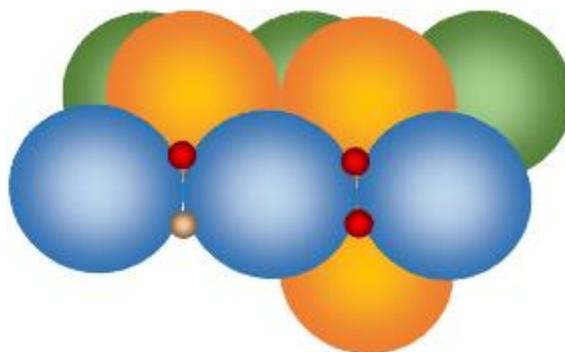


Fig. 4. Scheme of the structure of the helion  
Рис. 4. Схема структуры  $^3\text{He}$  (гелион)

If we assume that one of  $ee$ -bonds of a neutron electron are also converted into a  $Le$ -bond, then their number is equal to:  $N_{Le} = 20$ . Accordingly, the mass formula practically coincides with the formula for triton, with the exception of the number of electrons in the nucleus

$$M(^3\text{He}) = 3m_L + 7m_e + 20E_{LL} + 20E_{ee} + 20E_{Le}. \quad (12)$$

**Helium-4 ( $^4\text{He}$ ).** The  $^4\text{He}$  structure ( $\alpha$ -particle) is formed on the basis of the  $^3\text{He}$  nuclide by adding another neutron to it (Fig. 5). When performing this operation, a number of structural changes occur. Firstly, the added neutron enters into the composition of  $^3\text{He}$  without bound lovetons, including only a free loveton and an electron-positron pair, which leads to an increase in the number of  $LL$ -bonds to the value:  $N_{LL} = 23$ . In addition, we take into account the presence of pairing of protons and neutrons between themselves. This gives us 2 additional  $LL$ -bonds. Therefore, the total number of  $LL$ -bonds will be:  $N_{LL} = 25$ .

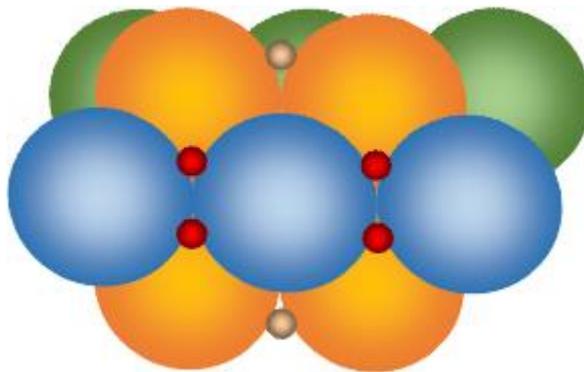


Fig. 5. Scheme of the structure of  ${}^4\text{He}$  ( $\alpha$ -particle)

Рис. 5. Схема структуры  ${}^4\text{He}$  ( $\alpha$ -частица)

Secondly, the first neutron electron is displaced by the electron-positron pair of the added neutron, which contacts only one of the helium-3 electron-positron pairs, adding only three  $ee$ -bonds to the total number of combinations for electrons, resulting in the value:  $N_{ee} = 18$ . The total number of  $Le$ -bonds is determined by the number of 24 given bonds between all electron-positron pairs and free lovetons, as well as bonds of neutron electrons with free lovetons, the number of which can be estimated equal to four  $Le$ -bonds. In this case, the total number of  $Le$ -bonds is:  $N_{Le} = 28$ . Based on the above, we can obtain a diagram of the  ${}^4\text{He}$  nucleus, described by the mass formula

$$M({}^4\text{He}) = 4m_L + 10m_e + 25E_{LL} + 18E_{ee} + 28E_{Le}. \quad (13)$$

Thus, the increased stability of an even-even system, such as  $\alpha$  particle, can be explained both by the presence of double pairing of nucleons and by the loss of two bound lovetons.

**Helium-5 ( ${}^5\text{He}$ ).** The  ${}^5\text{He}$  nuclide can be obtained by adding an additional neutron to the  ${}^4\text{He}$  nucleus.  ${}^5\text{He}$ , being an unstable nucleus by its nature, has an additive number of  $LL$ -bonds equal to:  $N_{LL} = 33$ . The number of  $ee$ -bonds is obtained by summing the existing bonds in  ${}^4\text{He}$  with one bond of the neutron itself and two bonds that arise during the interaction of a neutron electron with one of the electron-positron pairs of the  ${}^4\text{He}$  nuclide:  $N_{ee} = 21$ . The number of  $Le$ -bonds can also be obtained by summing up the bond data between the  ${}^5\text{He}$  nuclide and the neutron:  $N_{Le} = 34$ .

**Helium-6 ( ${}^6\text{He}$ ).** In the case of the unstable nuclide  ${}^6\text{He}$ ,  $\alpha$  particle combines with two neutrons. In this case, the core can be considered as a combined core with the loss of two  $LL$  connections. Summing up the number of  $LL$ -bonds of  $\alpha$ -particle and neutrons, excluding two bonds, and adding one bond that arises during neutron pairing, we finally obtain:  $N_{LL} = 40$ . Electron-positron pairs of neutrons and neutron electrons receive three  $ee$ -bonds, in the presence of the already existing 18 bonds of the  $\alpha$ -particle, which gives us the value:  $N_{ee} = 27$ . The number of  $Le$ -bonds is determined by summing the bonds of the  $\alpha$ -particle and neutrons:  $N_{Le} = 40$ .

**Helium-8 ( ${}^8\text{He}$ ).** The  ${}^8\text{He}$  nuclide is also an unstable nuclide, as is the case with  ${}^6\text{He}$ , due to its participation in  $\beta$ -decay processes. At the same time, this nuclide is stable with respect to  $LL$  bonds, which indicates its association with added neutrons. By combining  ${}^6\text{He}$  with two neutrons we also lose two  $LL$  bonds, but with the addition of one  $LL$ -bond due to neutron pairing. The calculation of the number of  $ee$ - and  $Le$ -bonds is carried out similarly to what we performed for the  ${}^6\text{He}$  nuclide.

**Helium-7,9,10 ( ${}^{7,9,10}\text{He}$ ).** All helium nuclides presented here can be subject to neutron decay and, therefore, instead of combining, neutrons are added under the influence of nuclear forces. This fact allows, as in previous cases for hydrogen nuclides, to calculate the masses of nuclei by simply summing the binding energies of lovetons, electron-positron pairs, and neutron electrons. The results of all calculations performed for helium nuclides are summarized in Table 3. For all helium nuclides with a mass number of more than four, the recording of mass formulas is carried out similarly to those performed earlier. In this work, we will not present mass formulas for unstable atomic nuclei separately due to their similarity.

Table 3

Composition of helium nuclides

Таблица 3

Состав нуклидов гелия

Nuclide	Experiment		Decay mode	Daughter nuclide	LL	ee	e	Le	Calculation	
	Mass, $m_{exp}$ (meV)	Binding energy, $E_{exp}$ (meV)							Binding energy, $E_{calc}$ (meV)	$ E_{calc} - E_{exp} $
<b><sup>3</sup>He</b>	2816.110	7.718	$\beta^-$	<sup>3</sup> H	20	20	7	20	7.684	0.034
<b><sup>4</sup>He</b>	3755.675	28.296	n	<sup>3</sup> He	25	18	10	28	28.316	0.020
<b><sup>5</sup>He</b>	4695.240	27.560	n	<sup>4</sup> He	33	19	13	36	27.536	0.024
<b><sup>6</sup>He</b>	5634.806	29.271	$\beta^-$	<sup>6</sup> Li	40	27	16	40	29.366	0.095
<b><sup>7</sup>He</b>	6574.371	28.862	n	<sup>6</sup> He	48	31	19	44	28.842	0.020
<b><sup>8</sup>He</b>	7513.937	31.396	$\beta^-$	<sup>8</sup> Li	55	35	22	52	31.373	0.023
<b><sup>9</sup>He</b>	8453.502	30.141	n	<sup>8</sup> He	63	39	25	57	30.243	0.073
<b><sup>10</sup>He</b>	9393.068	29.950	2n	<sup>8</sup> He	71	41	28	63	29.894	0.056

Note: Stable nuclides are shown in bold. Source of data on masses and binding energies [38].

### 2.3 LITHIUM NUCLIDES

**Lithium-4 (<sup>4</sup>Li).** The nucleus of the <sup>4</sup>Li nuclide is formed by the addition of a proton to the helion. In this case, both data nuclides remain practically independent. The total number of LL links is simply summed up to give the value:  $N_{LL} = 28$ . Accordingly, the number of ee-bonds also increases by one. However, here the number of Le-bonds changes structurally. Six bonds from the proton structure are added to the existing 20 Le-bonds of the helion, and additional three ee-bonds of the electron-positron pair of the proton with one of the electron-positron pairs of the helion appear. A neutron electron included in the composition of a helion can also receive Le-bond with the proton loveton. In this case, the total number of Le-bonds will be:  $N_{Le} = 30$ .

**Lithium-5 (<sup>5</sup>Li).** The next nuclide <sup>5</sup>Li additionally includes a second neutron. This makes it possible to form inside the nucleus, as one of the elements,  $\alpha$ -particle with a proton attached to it by nuclear forces. Being, like <sup>4</sup>Li, an unstable nucleus, this nuclide has an additive number of LL-bonds equal to:  $N_{LL} = 33$ . In the same way as in <sup>4</sup>Li, let's sum up the number of their constituent ee-bonds. To the 19 existing ee-bonds, 2 more bonds of the electron-positron pair of the proton with a similar pair from the <sup>4</sup>He composition will be added, which will change their number to the value:  $N_{ee} = 21$ . The number of Le-bonds can also be obtained by summing up the data of the <sup>4</sup>He and proton bond:  $N_{Le} = 34$ .

**Lithium-6 (<sup>6</sup>Li).** In the case of a stable nuclide <sup>6</sup>Li, a deuteron is added to  $\alpha$  particle (Fig. 6). In this case, the core can be considered as a combined core with the loss of one LL connection, which gives us:  $N_{LL} = 39$ . The number of ee-bonds of <sup>6</sup>Li is determined by the number of added combinations with electron-positron pairs of the  $\alpha$ -particle on the deuteron side, which gives 5 additional ee-bonds. In addition, the neutron electron retains one more bond with the electron-positron pair of the neutron, which in total leads to the value:  $N_{ee} = 29$ . The number of Le-bonds is determined by the sum of such bonds of all elements included in the <sup>6</sup>Li composition, with an additional bond of the neutron electron with one of lovetons. Consequently, the number of possible Le-bonds will be:  $N_{Le} = 41$ .

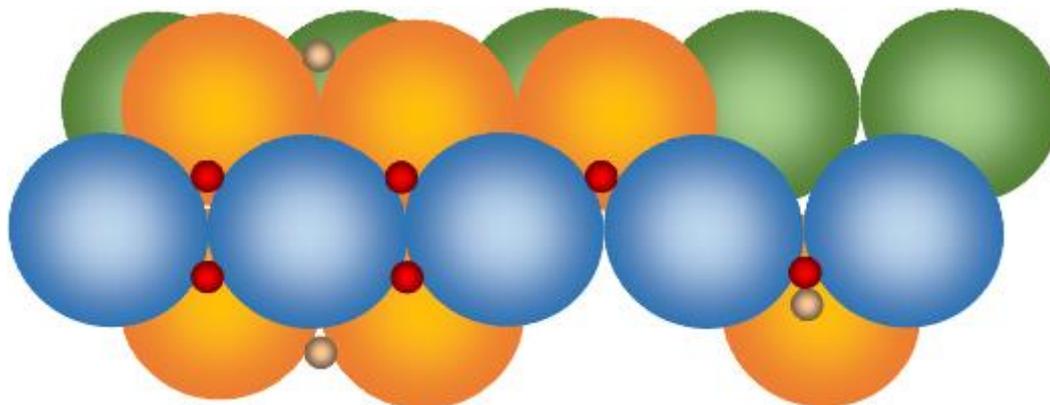


Fig. 6. Scheme of the structure of  ${}^6\text{Li}$  nuclide  
Рис. 6. Схема структуры нуклида  ${}^6\text{Li}$

To calculate the mass of a stable nuclide  ${}^6\text{Li}$  based on the proposed structure diagram, the following mass formula can be represented

$$M({}^6\text{Li}) = 6m_L + 15m_e + 39E_{LL} + 29E_{ee} + 41E_{Le}. \quad (14)$$

**Lithium-7 ( ${}^7\text{Li}$ ).** The addition of the seventh nucleon in the  ${}^7\text{Li}$  nuclide does not change the stability of the nucleus, but at the same time leads to some change in its composition. The  ${}^7\text{Li}$  nuclide is  $\alpha$ -particle combined with both a deuteron and a separate neutron (Fig. 7). In total, the number of  $LL$ -bonds for the  ${}^7\text{Li}$  nuclide increases by seven bonds and amounts to:  $N_{LL} = 46$ . The number of  $ee$ -bonds remains the same, since taking into account the bond in the electron-positron pair is compensated by the transition of the neutron electron to bonding with the loveton. Accordingly, we get:  $N_{ee} = 29$ ; The number of  $Le$ -bonds is determined by the sum of such bonds of all nuclear elements, calculated similarly to the calculation for the previous nuclide:  $N_{Le} = 48$ .

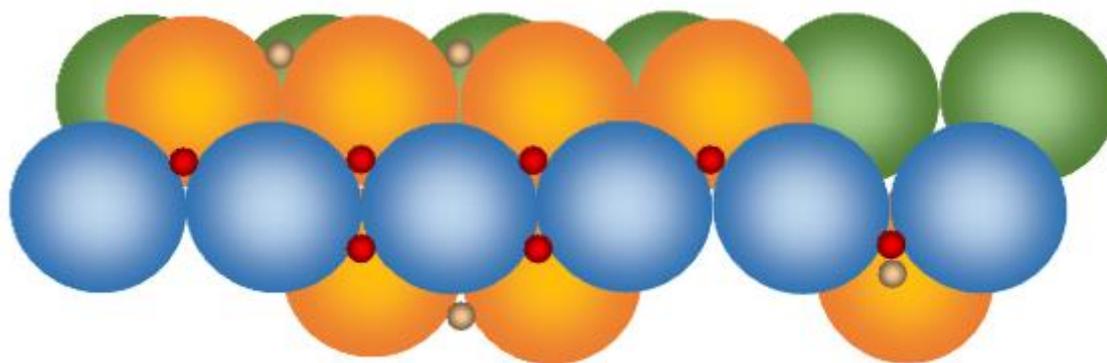


Fig. 7. Scheme of the structure of  ${}^7\text{Li}$  nuclide  
Рис. 7. Схема структуры нуклида  ${}^7\text{Li}$

Here, to calculate the mass of a stable nuclide  ${}^7\text{Li}$ , we can write the following mass formula

$$M({}^7\text{Li}) = 7m_L + 18m_e + 46E_{LL} + 29E_{ee} + 48E_{Le}. \quad (15)$$

**Lithium-8,9,11 ( ${}^{8,9,11}\text{Li}$ ).** Nuclides  ${}^{8,9,11}\text{Li}$  are considered to be unstable due to their participation in  $\beta$ -decay processes. At the same time, these nuclides are stable with respect to  $LL$ -bonds, which indicate their association with added neutrons. Carrying out a similar examination of the structure of these nuclei makes it possible to determine the quantitative composition of these nuclides with a sufficient degree of accuracy.

**Lithium-10,12,13 ( $^{10,12,13}\text{Li}$ ).** Regarding the nuclides  $^{10,12,13}\text{Li}$ , it can be argued that instead of combining, neutrons are added under the influence of nuclear forces, which allows, as in previous cases for hydrogen and helium nuclides, to calculate the masses of nuclei by simply summing the binding energies of lovetons and electron-positron pairs, as well as neutron electrons. The results of all calculations performed are summarized in Table 4.

Table 4

Composition of lithium nuclides

Таблица 4

Состав нуклидов лития

Nuclide	Experiment		Decay mode	Daughter nuclide	LL	ee	e	Le	Calculation	
	Mass, $m_{\text{exp}}$ (meV)	Binding energy, $E_{\text{exp}}$ (meV)							Binding energy, $E_{\text{calc}}$ (meV)	$ E_{\text{calc}} - E_{\text{exp}} $
$^4\text{Li}$	2816.110	4.600	p	$^3\text{He}$	28	21	9	30	4.559	0.041
$^5\text{Li}$	3755.675	26.330	p	$^4\text{He}$	33	21	12	34	26.403	0.073
$^6\text{Li}$	4695.240	31.994	d	$^4\text{He}$	39	29	15	41	32.071	0.077
$^7\text{Li}$	5634.806	39.245	n	$^6\text{Li}$	46	29	18	48	39.209	0.036
$^8\text{Li}$	6574.371	41.278	$\beta^-$	$^8\text{Be}$	53	36	21	53	41.215	0.062
$^9\text{Li}$	7513.937	45.340	$\beta^-$	$^9\text{Be}$	60	40	24	59	45.309	0.031
$^{10}\text{Li}$	9391.774	45.314	n	$^9\text{Li}$	68	41	27	66	45.310	0.004
$^{11}\text{Li}$	8453.502	45.709	$\beta^-, n$	$^{10}\text{Be}$	75	48	30	73	45.754	0.044
$^{12}\text{Li}$	9393.068	45.499	n	$^{11}\text{Li}$	83	50	33	79	45.579	0.080
$^{13}\text{Li}$	9393.068	45.604	2n	$^{11}\text{Li}$	91	51	36	86	45.580	0.017

**Note:** Stable nuclides are shown in bold. Bold italic denotes  $\beta$ -decay nuclides. Source of data on masses and binding energies [38].

#### 2.4 CLUSTER FORMATION OF $\alpha$ -PARTICLES

The study of the static properties of compound atomic nuclei allows us to study the structural features of nuclei and the processes of their formation [39]. In carrying out this study, we will consider the problem of the formation of shells in an atomic nucleus using the example of even-even atomic nuclei. Let's take as basis even-even nuclei with the same number of protons and neutrons in the nuclei. Let us assume that collections of helium nuclei will be considered as such composite nuclei.

Before moving on to a detailed consideration of the shell model of even-even atomic nuclei, we will try to obtain quantitative estimates of the elements that make up the atomic nucleus. We will determine the number of bonds between lovetons, electron-positron pairs, as well as between electrons and lovetons by sequentially increasing them by values known for the  $\alpha$ -particle:  $N_{LL} = 25$ ,  $N_{ee} = 18$ ,  $N_{Le} = 28$ . Comparison of the obtained calculated values with known energy values connections, in order to estimate the real number of these connections, we will carry out by varying the number of connections between the individual elements that make up the core. Since the binding energy of the compound nucleus is known, changes in the composition of added  $\alpha$  particle can be found by the number of LL-bonds of  $\alpha$  particle, as well as ee-and Le-bonds. Consistent execution of this procedure, with the addition of new  $\alpha$ -particles, allows one to perform calculations to determine the compositions of even-even nuclei from  $^4\text{He}$  to  $^{100}\text{Sn}$ . The results of calculations of the binding energies of such atomic nuclei are presented in Table 5.

Table 5

Cluster formation of  $\alpha$ -particles

Таблица 5

Кластеризация  $\alpha$ -частиц

Index	Nuclide	Experiment		LL	$\Delta_{LL}$	ee	$\Delta_{ee}$	Le	$\Delta_{Le}$	Calculation	
		Mass, $m_{exp}$ (meV)	Binding energy, $E_{exp}$ (meV)							Binding energy, $E_{calc}$ (meV)	$ E_{calc} - E_{exp} $
$1s^2$	<b><i><sup>4</sup>He</i></b>	3755.675	28.296	25	–	18	–	28	–	28.316	0.020
$1p^2$	<b><i><sup>8</sup>Be</i></b>	7511.350	56.499	50	0	37	1	55	-1	56.457	0.043
$1p^4$	<b><i><sup>12</sup>C</i></b>	11267.025	92.163	74	-1	53	-2	84	1	92.085	0.078
$1p^6$	<b><i><sup>16</sup>O</i></b>	15022.700	127.621	98	-1	70	-1	112	0	127.539	0.082
$1d^2$	<b><i><sup>20</sup>Ne</i></b>	18778.375	160.647	122	-1	87	-1	143	3	160.648	0.001
$1d^4$	<b><i><sup>24</sup>Mg</i></b>	22534.050	198.257	146	-1	105	0	167	-4	198.270	0.013
$1d^6$	<b><i><sup>28</sup>Si</i></b>	26289.725	236.541	170	-1	119	-4	195	0	236.593	0.052
$2s^2$	<b><i><sup>32</sup>S</i></b>	30045.400	271.784	194	-1	137	0	222	-1	271.871	0.087
$1d^8$	<b><i><sup>36</sup>Ar</i></b>	33801.075	306.717	218	-1	158	3	246	-4	306.623	0.093
$1d^{10}$	<b><i><sup>40</sup>Ca</i></b>	37556.750	342.052	242	-1	175	-1	274	0	342.077	0.025
$1f^2$	<b><i><sup>44</sup>Ti</i></b>	41312.425	375.475	266	-1	195	2	301	-1	375.442	0.033
$1f^4$	<b><i><sup>48</sup>Cr</i></b>	45068.100	411.472	290	-1	213	0	327	-2	411.501	0.029
$1f^6$	<b><i><sup>52</sup>Fe</i></b>	48823.775	447.700	314	-1	230	-1	354	-1	447.736	0.036
$1f^8$	<b><i><sup>56</sup>Ni</i></b>	52579.450	483.998	338	-1	247	-1	381	-1	483.971	0.027
$2p^2$	<b><i><sup>60</sup>Zn</i></b>	56335.125	515.004	362	-1	267	2	411	2	514.992	0.012
$2p^4$	<b><i><sup>64</sup>Ge</i></b>	60090.800	545.887	386	-1	288	3	440	1	545.838	0.049
$1f^{10}$	<b><i><sup>68</sup>Se</i></b>	63846.475	576.468	411	0	306	0	465	-3	576.498	0.030
$1f^{12}$	<b><i><sup>72</sup>Kr</i></b>	67602.150	606.921	436	0	321	-3	494	1	606.902	0.019
$1f^{14}$	<b><i><sup>76</sup>Sr</i></b>	71357.825	637.941	461	0	337	-2	521	-1	637.912	0.029
$2p^6$	<b><i><sup>80</sup>Zr</i></b>	75113.500	669.922	486	0	352	-3	548	-1	669.879	0.043
$1g^2$	<b><i><sup>84</sup>Mo</i></b>	78869.175	700.943	511	0	368	-2	575	-1	700.889	0.054
$1g^4$	<b><i><sup>88</sup>Ru</i></b>	82624.850	731.464	536	0	386	0	600	-3	731.549	0.085
$1g^6$	<b><i><sup>92</sup>Pd</i></b>	86380.525	762.085	561	0	405	1	624	-4	762.033	0.052
$1g^8$	<b><i><sup>96</sup>Cd</i></b>	90136.200	793.406	586	0	423	0	648	-4	793.474	0.068
$1g^{10}$	<b><i><sup>100</sup>Sn</i></b>	93891.875	825.160	611	0	440	-1	673	-3	825.090	0.070

**Note:** Stable nuclides are shown in bold. Bold italic denotes not subject to nucleon decay nuclides. Changes in the number of bonds relative to the addition of an  $\alpha$ -particle are reflected in the graphs  $\Delta_{LL}$ ,  $\Delta_{ee}$  и  $\Delta_{Le}$ . Source of data on masses and binding energies [38].

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 HYDROGEN NUCLIDES 8,9H

In a previously presented article [29], it was suggested that there is a probability of population of the last two cells belonging to the  $1p$  subshell. In this case, it is theoretically possible to indicate the presence of hydrogen nuclides with mass numbers  $A$  equal to 8 and 9. When considering such hypothetical nuclides as  $^8\text{H}$  and  $^9\text{H}$ , drawing analogies with the previously considered hydrogen nuclides, it is possible to estimate not only the number of bonds formed, but also determine values of their binding energies. Here we apply two approaches simultaneously. First, let's compare the composition of the odd-even nuclides  $^4\text{H}$  and  $^6\text{H}$  with the possible hydrogen nuclide  $^8\text{H}$ , as well as the odd-even nuclides  $^5\text{H}$  and  $^7\text{H}$  with  $^9\text{H}$ . Also, to control

the correctness of the assessment of data on the composition of the corresponding hypothetical nuclides, you can use linear regression equations between the quantities of *LL*-, *ee*- and *Le*-bonds and the mass number *A* of the hydrogen nuclides being determined.

***LL-bond.*** When going from nuclide  ${}^4\text{H}$  to  ${}^6\text{H}$ , which have numbers of *LL*-bonds with values equal to 28 and 44, it is possible to estimate the range of data difference for the transition from nuclide  ${}^6\text{H}$  to  ${}^8\text{H}$ , which will be equal to:  $\Delta N_{LL} = 16$ . In this case, the number of *LL* bonds for nuclide  ${}^8\text{H}$  will take the value equal to:  $N_{LL}({}^8\text{H}) = 60$ . In the same way, we determine the number of *LL*-bonds during the transition from nuclide  ${}^7\text{H}$  to  ${}^9\text{H}$ :  $N_{LL}({}^9\text{H}) = 68$ .

To check the correctness of the above estimates, we will construct a regression equation for the dependence of the number of *LL* bonds on the mass number *A*, which can vary in the range from 4 to 7. This equation will have the form:  $N_{LL} = 8A - 4$ . Based on this equation, we can obtain integer values of the number *LL* -bonds are equal:  $N_{LL}({}^8\text{H}) = 60$  and  $N_{LL}({}^9\text{H}) = 68$ , which completely coincides with the previous calculation of the considered parameters. In this case, both proposed methods are adequate, which is confirmed by the results obtained.

***ee-bond.*** We will carry out calculations to calculate the number of *ee*-connections using the same algorithm as for *LL*-bonds. First, having estimated the data difference ranges for transitions between  ${}^6\text{H}$  and  ${}^8\text{H}$ , as well as between  ${}^7\text{H}$  and  ${}^9\text{H}$  nuclides, we calculate the numbers of *ee*-bonds for selected hypothetical nuclides:  $N_{ee}({}^8\text{H}) = 28$ ;  $N_{ee}({}^9\text{H}) = 29$ . Using the linear regression equation for the dependence of the number of *ee*-bonds on the mass number, which has the form:  $N_{ee} = 1.6A + 15$ , we obtain the values of the number of *ee*-bonds:  $N_{ee}({}^8\text{H}) = 27.8$ ;  $N_{ee}({}^9\text{H}) = 29.4$ . Rounding these values to whole numbers allows you to confirm earlier calculations.

***Le-bond.*** Repeating the previous arguments for *Le*-bonds, we obtain the following values:  $N_{Le}({}^8\text{H}) = 56$ ;  $N_{Le}({}^9\text{H}) = 62$ . When checking, taking into account the linear regression equation:  $N_{Le} = 6.9A + 0.3$ , we obtain the values of the number of *Le*-bonds:  $N_{Le}({}^8\text{H}) = 55.5$ ;  $N_{Le}({}^9\text{H}) = 62.4$ . Rounding these values to integer values confirms the correctness of the calculations.

Knowing all the numerical values of the quantity *LL*-, *ee*- and *Le*-bonds, we can write mass formulas for the nuclides we considered

$$M({}^8\text{H}) = 8m_L + 23m_e + 60E_{LL} + 28E_{ee} + 56E_{Le}. \quad (16)$$

$$M({}^9\text{H}) = 9m_L + 26m_e + 68E_{LL} + 29E_{ee} + 62E_{Le}. \quad (17)$$

At the end of our consideration of the parameters of hypothetical hydrogen nuclides, we will evaluate their binding energies. To do this, taking the error in calculating these binding energies close to zero, for the nuclides under consideration we obtain the following values:  $E_b({}^8\text{H}) = 4.82 \text{ Mev}$ ;  $E_b({}^9\text{H}) = 5.60 \text{ Mev}$ .

### 3.2 CHARGE RADIUS OF LIGHT NUCLIDES

The charge radius of an atomic nucleus is one of the main parameters that determine its size and provide information about its internal structure. Let us estimate the charge radii for light nuclei of hydrogen, helium and lithium.

**Proton.** The numerical value of the proton charge radius is:  $r_p = 0.8414 \text{ fm}$  [40]. However, with previously used standard measurement methods, this indicator had a slightly different value, equal to  $0.8783 \text{ fm}$  [41]. Currently, it is customary to consider both of these values as acceptable when conducting research. Here, we will assume that the loveton included in the proton, in a free state or close to it, has a larger charge radius. In a state of strong connection with other nucleons, a slight decrease in the charge radius occurs. For this reason, in a number of calculations of nuclide radii, an increased value of the proton charge radius (deuteron, triton and helion) will be used; in other cases, a refined value of this parameter will be used.

**Deuteron.** The known value of the deuteron charge radius is equal to  $2.1424 \text{ fm}$  [42]. The charge radius of the deuteron can be calculated using a scheme with diagonal placement of lovetons (Fig. 2b). In this case, we will assume that the axis of charge symmetry  $OO'$  is located strictly between these particles, perpendicular to the line connecting the centers of free lovetons (Fig. 8).

In this case, the charge radius of the deuteron can be calculated using the formula:  $r_d = r_p(\sqrt{2} + 1)$ . Calculation using this formula gives the deuteron radius a value of 2.1185 fm.

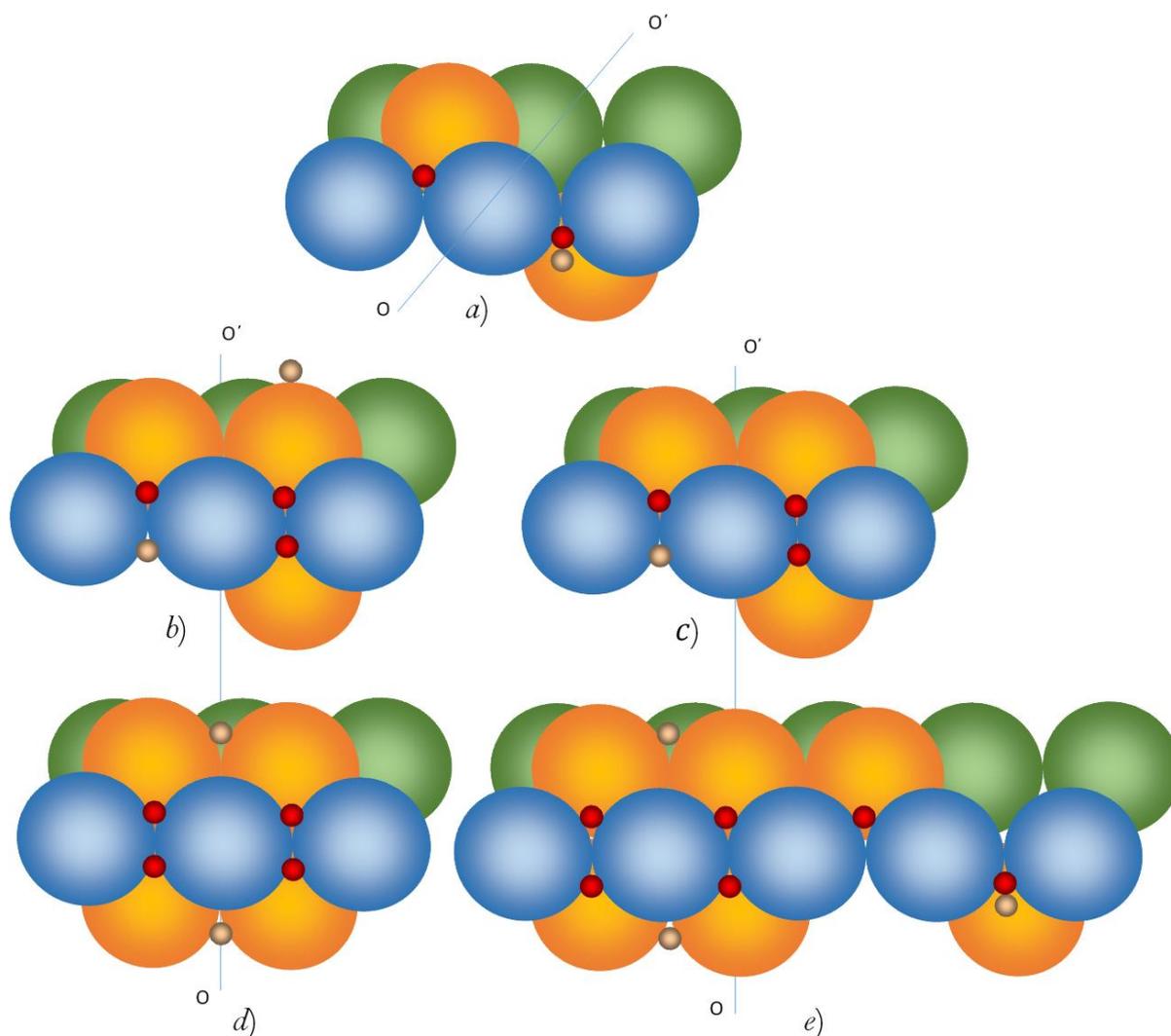


Fig. 8. Charge radii of light nuclides:

a) deuteron; b) triton; c) helion; d) helium-4; e) lithium-6.  $OO'$  – axis of charge symmetry

Рис. 8. Зарядовые радиусы легких нуклидов:

a) дейтрон; b) тритон; c) гелион; d) гелий-4; e) литий-6.  $OO'$  – ось зарядовой симметрии

**Triton.** Now let's move on to the triton. Here we will place the axis of charge symmetry in the vertical direction (Fig. 8). The experimental value of the triton radius is:  $r_t = 1.7591 \text{ fm}$  [42]. The absence of electrostatic interaction allows, as in the case of the deuteron, to calculate the charge radius of the triton, taking into account the occurrence of nuclear rotation along the axis of charge symmetry passing along the  $OO'$  line. In this case, the triton radius can be taken equal to double the proton radius:  $r_t = 2r_p = 1.7550 \text{ fm}$ , which practically coincides with the value obtained experimentally.

**Helion.** Let us determine the charge radius of the helion (Fig. 8). To determine the charge radius, we first estimate the distance between the proton centers. Considering that the equality of nuclear and Coulomb forces will occur at  $\Delta r = l\sqrt{6}$  ( $\Delta r$  – is the distance between the centers of protons;  $l$  is the arm of the dipole represented by the electron-positron pair) [37]. If we consider the dipole arm to be numerically equal to the proton radius:  $l = r_p$ , then the value of  $\Delta r$  will be a distance of the order of 2.1494 fm. In this case, the helion's charge radius will take a value equal to 1.9522 fm, which is quite close to the experimental value of 1.9661 fm [42].

**Helium-4.** During the transition from helion to helium-4, the charge symmetry axis retains its position (Fig. 8). Here it should be assumed that the charge radius of this nucleus should be equal to twice the radius of the proton. At the same time, the protons themselves included in the nucleus must be considered significantly more strongly bound, which leads to the absence of changes in their positions and the need to take into account the current value of their charge radius, equal to  $0.84184 \text{ fm}$ . In this case, the charge radius of helium-4 has a value of  $1.67824 \text{ fm}$ . This value practically coincides with the double charge radius of the proton.

**Lithium-6.** The root mean square charge radius of  ${}^6\text{Li}$  is usually estimated as follows:  $r_{\text{Li}} = 2.589 \text{ fm}$  [33]. Just as for helium-4, we take the charge radius of the proton to be equal to:  $r_p = 0.84184 \text{ fm}$  [32].

We will calculate the charge radius of lithium-6 taking into account the displacement of the charge symmetry axis by the value of the proton radius (Fig. 8). In Figure 8 the axis of charge symmetry already passes through the lovetons centers. The right-handed loveton included in the neutron does not affect the value of the charge radius. In this case, the charge radius of this nucleus must be equal to triple the radius of the proton. Calculation of the charge radius of lithium-6 shows a value equal to:  $r({}^6\text{Li}) = 2.5525 \text{ fm}$ . The absolute error, when comparing the calculated value of the charge radius with the experimental one, does not exceed a value equal to  $0.07 \text{ fm}$ .

The charge radius of lithium-7 can be estimated similarly. However, due to the influence of strong interaction, the radius may have a slightly smaller value. At this stage of the study, this calculation was not carried out. All data on the charge radii of light nuclides are presented in Table 6.

Table 6

Charge radii of light nuclides

Таблица 6

Зарядовые радиусы легких нуклидов

Nuclide	Experimental value,	Calculated value,	$ r_{\text{exp}} - r_{\text{calc}} $
Deuteron, ${}^2\text{H}$	2.1280	2.1185	0.0095
Triton, ${}^3\text{H}$	1.7591	1.7550	0.0041
Helion, ${}^3\text{He}$	1.9661	1.9522	0.0139
Helium-4, ${}^4\text{He}$	1.6755	1.6837	0.0082
Lithium-6, ${}^6\text{Li}$	2.5890	2.5255	0.0635

As can be seen from Table 6, the calculated values the charge radii of the nuclides practically coincide with the experimental values of the considered light nuclei, which indicate the validity of the proposed visual model of the atomic nucleus.

### 3.3 CLUSTER AND SHELL MODELS FOR $\alpha$ -PARTICLES

From the data shown in Table 5, it is clear that the  ${}^8\text{Be}$  nucleus, in which the forces of electrostatic interaction prevail over nuclear forces, can be stated to be independent of each other, the two alpha particles included in its composition. Here one  $\alpha$  particle occupies the  $1s$  level, while the next one occupies the higher  $1p$  state. Subsequently, in accordance with the selected layers of the core shell, at each step of the proposed procedure, all nuclei from  ${}^{12}\text{C}$  to  ${}^{64}\text{Ge}$  sequentially lose one  $LL$  connection. It can also be noted that the spatial distributions of  $\alpha$  particles in nuclei do not have an  $LL$  relationship between individual orbitals.



Fig. 9. Spiral form of representation of the shell structure of the core  
Рис. 9. Спиралевидная форма представления оболочечной структуры ядра

In this case, neighboring clusters, in the form of  $\alpha$ -particles, can have a number of  $ee$ - and  $Le$ -bonds with each other. This fact indicates the possibility of considering the visual arrangement of  $\alpha$ -particles not as a set of shells, but as a set of spirals when considering each of the orbitals of the nucleus (Fig. 9). Subsequent nuclei, starting with the  $^{68}\text{Se}$  nuclide, are already attached without changing the number of  $LL$ -bonds and, therefore, with a predominance of nuclear forces, during their formation, over the bonds between nuclear elements.

To summarize, we note that from the point of view of the proposed approach, even-even atomic nuclei can be considered as a system of helium nuclei strongly bound to each other within individual orbitals of a compound nucleus. Thus, in space, the configuration of  $\alpha$ -particles should not look like a set of shells, but can be considered as a group of spirals.

#### 4 CONCLUSION

In contrast to previously proposed approaches to calculating the binding energy of a nucleus, the representation of clusters in the form of a collection of light nuclei and individual nucleons made it possible to construct visual structural objects that explain not only the reason for the occurrence of binding energy, but also the patterns of hydrogen, helium and lithium nuclides. In the proposed cluster model, it is possible to well reproduce such static characteristics of nuclei as nuclear masses, their binding energies, as well as quantitative values of such quantities as the number of nuclear elements that make up the selected nuclide. Thus, we have shown that the previously expressed assumption about the existence of nuclear elements allows you to simulate the dependence of binding energy on the number of nucleons. The disadvantage of the developed model compared to the semi-empirical droplet model is that the model parameters are determined not for the entire set of nuclides at once, but for the nuclides of each element separately. The advantage here is a clearer physical meaning of the parameters included in the mass equations. The main result of this work is that a model has been obtained that describes the relative arrangement of lovetons, neutron electrons and electron-positron pairs in the nucleus. In accordance with the proposed model, the structure of atomic nuclei is mainly formed due to  $LL$ -bonds formed as a result of the interaction of both bound and free lovetons.

Using the presented approach, the following results were obtained:

1. All nuclei are constructed by taking into account the interaction of both free and bound lovetons, forming a quasicrystalline spatial structure.
2. The nature of the appearance of nuclear binding energy, which arises due to the breaking of some of the bonds between nuclear elements, has been revealed.
3. The reason for the change in the properties of nuclei during transitions from even to odd nuclei has been clarified.
4. The main contribution to the mass comes from the binding energy of Lovetons. An additional contribution to the mass of the nucleus is the binding energy between electron-positron pairs, neutron electrons and their interaction with lovetons.
5. Nuclear diagrams were constructed and the masses and binding energies of light nuclei were calculated.

6. The binding energies for hypothetical nuclides  ${}^8\text{H}$  and  ${}^9\text{H}$  were determined.
7. The charge radii of a number of light nuclides were calculated.
8. Clustering of nucleon systems for light and medium nuclei, represented by collections of  $\alpha$ -particles, has been carried out. Obtained estimates of binding energies for even-even nuclides with  $Z=N$  for mass numbers in the range  $4 \geq A \leq 100$  using an analysis of the behavior of the relationships between the number of nuclear elements and mass numbers.
9. The possibility of a spiral form of representation of the shell structure of the nucleus is shown, i.e. in the form of a set of spirals.

The application of the proposed method for describing the masses of atomic nuclei has shown that estimates of the parameters under study obtained with its help are sufficiently accurate, and the method itself is simple both in calculations and in the clarity of the results obtained. The presented model of the atomic nucleus can also be useful in calculating the binding energies of nuclides when also considering heavy nuclei.

### References

1. Littlefield T. A. Atomic and nuclear physics. – New York: Springer US, 2014. – 487 p.
2. Kragh, H. Nuclear physics in the twentieth century: Historical and philosophical reflections. – Princeton: Princeton University Press, 2002. – 494 p.
3. Ishkhanov B.S., Kapitonov I.M., Yudin N.P. Particles and atomic nuclei. – M.: LKI Publishing House, 2019. – 672 p. (in Russian).
4. Neuchudin V.G., Smirnov Yu.F. Nucleon associations in light nuclei. – M.: Nauka, 1969. – 413 p. (in Russian).
5. Wildermuth K., Tang Y.C. A unified theory of the nucleus. – Vieweg. Braunschweig, 1977. – 389 p.
6. Hofstadter R., The structure of nuclei and nucleons // Science, 1962, – Vol. 136. – PP. 1013-1022.
7. Goeppert-Mayer M., Jensen J.H.D. Elementary theory of nuclear shell structure. – New York: Wiley, 1955. – 296 c.
8. Goriely S., Tondeur F., Pearson J. M. A Hartree-Fock nuclear mass table // At. Data Nucl. Data Tables. – 2001. – Vol. 77, No 2. – PP. 311–381.
9. Sobiczewski A., Litvinov Yu.A., Palczewski M. Detailed illustration of accuracy of presently used nuclear-mass models // Atom. Nucl. Data Tables. – 2018. – V. 119. – P. 1-32.
10. Lunney D., Pearson J.M., Thibault C. Recent trends in the determination of nuclear masses // Rev. Mod. Phys. – 2003. – V. 75. – No. 3. – P. 1021-1082
11. Samyn M., Goriely S., Pearson J. Further explorations of Skyrme–Hartree–Fock–Bogoliubov mass formulas // Nucl. Phys. A., 2003, – Vol. 725. – PP. 69–81.
12. Goriely S., Chamel N., Pearson J.M. Further explorations of Skyrme-Hartree-Fock-Bogoliubov mass formulas // Phys. Rev. C., 2013, – Vol. 88, – No 2. – PP. 1–14.
13. Kurgalin S.D. Neutron clusters in nuclei / S.D.Kurgalin, Yu.M.Chuvilsky // Izv. AN. Ser. phys., 2003, – Vol. 64, – No. 5. – PP. 700-703 (in Russian).
14. Rodkin D.M., Chuvilsky Yu.M. Description of cluster phenomena in the spectra of light nuclei within the framework of the ab initio approach // Letters in the JETF, 2018, – Vol. 108(7). – PP. 459-465 (in Russian).
15. Kadmsky S.G., Kadmsky V.G. Cluster Degrees of Freedom and Nuclear Reactions and Decays // Cluster Phenomena in Atoms and Nuclei. B. – Springer, 1992. – PP. 525-539.
16. Bettini A. Introduction to Elementary Particle Physics. – Cambridge: University Press, 2008. – 447 p.
17. Jolos, R.V. Models of atomic nuclei. – Dubna, OIYAI, 2012. – 107 p. (in Russian).
18. Ishkhanov B.S. Atomic nuclei // Physical Bulletin of the Moscow University. – 2012, – Volume 67. – pp. 1-24.
19. Rowe D.J., Wood J.L. Fundamentals of nuclear models: foundational models. World Scientific, Singapore, 2010. – 676 p.
20. Kislov A.N. Atomic and nuclear physics. Yekaterinburg: Ural Publishing House. unita, 2017. – 271 p. (in Russian).
21. Nemirovskii P.E. Contemporary models of the atomic nucleus. – New York: Elsevier, 2013. – 344 p.
22. Calculator and Graph Engine for Atomic Nuclei Parameters / The Centre for Photonuclear Experiments Data of the Moscow State University. Access mode: URL: [http://cdfe.sinp.msu.ru/services/calc\\_thr/calc\\_thr.html](http://cdfe.sinp.msu.ru/services/calc_thr/calc_thr.html).

23. Myers W.D., Swiatecki W.J. Nuclear masses and deformations // Nucl. Phys., – 1966, – Vol. 81, – No. 1. – PP. 1-60.
24. Wigner E. On the Consequences of the Symmetry of the Nuclear Hamiltonian on the Spectroscopy of Nuclei // Phys. Rev., 1937, – Vol. 51, – No. 2. – PP. 106-119.
25. Wong S.S.M. Introductory Nuclear Physics. – WILEY-VCH Verlag Gmbl I & Co. KGaA, Weinheim, 2004. – 473 p.
26. Garvey G.T., Kelson I. New nuclidic mass relationship // Phys. Rev. Lett. 1966. – Vol. 16. – PP. 197-200.
27. Möller P., Nix J.R. Nuclear mass formula with a finite-range droplet model and a folded-Yukawa single-particle potential // At. Data Nucl. Data Tables, 1988, – Vol. 39, – No. 2. – PP. 225-233.
28. Möller P., Sierka A.J., Ichikawab T., Sagawac H. Nuclear ground-state masses and deformations: FRDM (2012) // At. Data Nucl. Data Tables, 2016, – Vol. 109/110. – PP. 1-204.
29. Migal L.V., Bondarev V.G. Computer visualization of the spatial structure of the atomic nucleus // Research result. Information technologies. – Т.7, – №2, – 2022. – PP. 3-18 (in Russian).
30. Rainwater J. Background for the spheroidal nuclear model proposal. – Nobel Lecture, Stockholm, 1975. – PP. 1-13.
31. Cook N.D. Models of the atomic nucleus: unification through a lattice of nucleons. – Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 2006. – 291 p.
32. Nasser G.A. Body-centred-cubic (BCC) lattice model of nuclear structure. Access mode: URL: <https://vixra.org/pdf/1312.0184v1.pdf>
33. Feldman G. Why neutrons and protons are modified inside nuclei // Nature, 2019, Vol. 566, No. 7744. – P. 332-333.
34. Wildermuth K., Tang Y.C. A unified theory of the nucleus Braunschweig, 1977. – 389 p.
35. Solovyov V.G. Theory of the atomic nucleus: Nuclear models. – M.: Energoatomizdat, 1981. – 296 p. (in Russian).
36. Ishkhanov B.S., Stepanov M.E., Tretyakova T.Y. Pairing of nucleons in atomic nuclei // VMU. Series 3. Physics. Astronomy, 2014. No. 1. – pp. 3-19. (in Russian).
37. Bondarev V.G., Migal L.V. Computer modelling of material objects' structure. Part II. Elementary particles // Research result. Information technologies. – Т.8, – №1, 2023. – P. 3-22. (in Russian).
38. Wang M. The AME 2020 atomic mass evaluation (II). Tables, graphs and references // Chinese Phys. C, Vol. 45, – No. 3, – 2021. – 513 p.
39. Bohr A., Mottelson B.R. Nuclear structure. Vol. 1. Single-particle motion. – New York: W.A. Benjamin, Inc., 1969. – 471p.
40. NIST Handbook of Constants, Units of Measurement and Uncertainties. – Access mode: URL: [www.nist.gov](http://www.nist.gov).
41. Khabarova K.Yu., Kolachevsky N.N. The charge radius of a proton // UFN, 2021, – Vol. 191, – No. 10. – PP.1095-1106. (in Russian).
42. Agneli I., Marinova K. P. Table of experimental nuclear ground state charge radii: An update // At. Dat. Nucl. Dat. Tab. – 2013, – Vol. 99, – No. 1. – PP. 69-95.

### Список литературы

1. Littlefield T. A. Atomic and nuclear physics. – New York: Springer US, 2014. – 487 p.
2. Kragh, H. Nuclear physics in the twentieth century: Historical and philosophical reflections. – Princeton: Princeton University Press, 2002. – 494 p.
3. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. Частицы и атомные ядра. – М.: Изд-во ЛКИ, 2019. – 672 с.
4. Неудачин В.Г., Смирнов Ю.Ф. Нуклонные ассоциации в легких ядрах. – М.: Наука, 1969. – 413 с.
5. Wildermuth K., Tang Y.C. A unified theory of the nucleus. – Vieweg. Braunschweig, 1977. – 389 p.
6. Hofstadter R., The structure of nuclei and nucleons // Science, 1962, Vol. 136. – PP. 1013-1022.
7. Goepfert-Mayer M., Jensen J.H.D. Elementary theory of nuclear shell structure. –New York: Wiley, 1955. – 296 с.
8. Goriely S., Tondeur F., Pearson J. M. A Hartree-Fock nuclear mass table // At. Data Nucl. Data Tables. – 2001. – Vol. 77, – No 2. – PP. 311–381.
9. Sobiczewski A., Litvinov Yu.A., Palczewski M. Detailed illustration of accuracy of presently used nuclear-mass models // Atom. Nucl. Data Tables. 2018. – V. 119. – P. 1-32.

10. Lunney D., Pearson J.M., Thibault C. Recent trends in the determination of nuclear masses // *Rev. Mod. Phys.* – 2003. – V. 75. – No. 3. – P. 1021-1082
11. Samyn M., Goriely S., Pearson J. Further explorations of Skyrme–Hartree–Fock–Bogoliubov mass formulas // *Nucl. Phys. A.* – 2003. – Vol. 725. – PP. 69–81.
12. Goriely S., Chamel N., Pearson J.M. Further explorations of Skyrme–Hartree–Fock–Bogoliubov mass formulas // *Phys. Rev. C.* – 2013. – Vol. 88, – No 2. – PP. 1–14.
13. Кургалин С.Д., Чувильский Ю.М. Нейтронные кластеры в ядрах // *Изв. АН. Сер. физ.*, 2003, Т. 64, – № 5. – С. 700-703.
14. Родкин Д.М., Чувильский Ю.М. Описание кластерных явлений в спектрах легких ядер в рамках ab initio подхода // *Письма в ЖЭТФ*, 2018, – Том 108(7). – С.459-465.
15. Kadmsky S.G., Kadmsky V.G. Cluster Degrees of Freedom and Nuclear Reactions and Decays // *Cluster Phenomena in Atoms and Nuclei*. В.: – Springer, 1992. – PP. 525-539.
16. Bettini A. Introduction to Elementary Particle Physics. – Cambridge: University Press, 2008. – 447 p.
17. Джолос, Р.В. Модели атомного ядра. – Дубна, ОИЯИ, 2012. – 107 с. Jolos, R.V. Models of atomic nuclei. – Dubna, OIYAI, 2012. – 107 p.
18. Ишханов Б.С. Атомные ядра // *Физический вестник Московского университета.* – 2012, Том 67. – С. 1-24.
19. Rowe D.J., Wood J.L. Fundamentals of nuclear models: foundational models. World Scientific, Singapore, 2010. – 676 p.
20. Кислов А.Н. Атомная и ядерная физика. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 271 с.
21. Nemirovskii P.E. Contemporary models of the atomic nucleus. – New York: Elsevier, 2013. – 344 p.
22. Calculator and Graph Engine for Atomic Nuclei Parameters / The Centre for Photonuclear Experiments Data of the Moscow State University. Access mode: URL: [http://cdfc.sinp.msu.ru/services/calc\\_thr/calc\\_thr.html](http://cdfc.sinp.msu.ru/services/calc_thr/calc_thr.html).
23. Myers W.D., Swiatecki W.J. Nuclear masses and deformations // *Nucl. Phys.*, – 1966, – Vol. 81, – No. 1. – PP. 1-60.
24. Wigner E. On the Consequences of the Symmetry of the Nuclear Hamiltonian on the Spectroscopy of Nuclei // *Phys. Rev.*, 1937, – Vol. 51, – No. 2. – PP. 106-119.
25. Wong S.S.M. Introductory Nuclear Physics. – WILEY-VCH Verlag Gmbl I & Co. KGaA, Weinheim, 2004. – 473 p.
26. Garvey G.T., Kelson I. New nuclidic mass relationship // *Phys. Rev. Lett.* 1966. Vol. 16. – PP. 197-200.
27. Möller P., Nix J.R. Nuclear mass formula with a finite-range droplet model and a folded-Yukawa single-particle potential // *At. Data Nucl. Data Tables*, 1988, – Vol. 39, – No. 2. – PP. 225-233.
28. Möller P., Sierka A.J., Ichikawa T., Sagawa H. Nuclear ground-state masses and deformations: FRDM (2012) // *At. Data Nucl. Data Tables*, 2016, Vol. 109/110. – PP. 1-204.
29. Мигаль Л.В., Бондарев В.Г. Компьютерная визуализация пространственной структуры атомного ядра // *Научный результат. Информационные технологии.* – Т.7, – №2, – 2022. – С. 3-18.
30. Rainwater J. Background for the spheroidal nuclear model proposal. – Nobel Lecture, Stockholm, 1975. – PP. 1-13.
31. Cook N.D. Models of the atomic nucleus: unification through a lattice of nucleons. – Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 2006. – 291 p.
32. Nasser G.A. Body-centred-cubic (BCC) lattice model of nuclear structure [Electronic resource]. Access mode: URL: <https://vixra.org/pdf/1312.0184v1.pdf>
33. Feldman G. Why neutrons and protons are modified inside nuclei // *Nature*, 2019, – Vol. 566, – No. 7744. – P. 332-333.
34. Wildermuth K., Tang Y.C. A unified theory of the nucleus Braunschweig, 1977. – 389 p.
35. Соловьев В.Г. Теория атомного ядра: Ядерные модели. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 296 с.
36. Ишханов Б.С., Степанов М.Е., Третьякова Т.Ю. Спаривание нуклонов в атомных ядрах // *ВМУ. Серия 3. Физика. Астрономия*, 2014. – № 1. – С. 3-19.
37. Бондарев В.Г., Мигаль Л.В. Компьютерное моделирование структуры материальных объектов. Часть II. Элементарные частицы // *Научный результат. Информационные технологии.* – Т.8, – №1, – 2023. – С. 3-22.
38. Wang M. The AME 2020 atomic mass evaluation (II). Tables, graphs and references // *Chinese Phys. C.* – Vol. 45, – No. 3, – 2021. – 513 p.
39. Bohr A., Mottelson B.R. Nuclear structure. Vol. 1. Single-particle motion. – New York: W.A. Benjamin, Inc., 1969. – 471p.

40. Справочник NIST по константам, единицам измерения и неопределенностям. – Access mode: URL: [www.nist.gov](http://www.nist.gov).

41. Хабарова К.Ю., Колачевский Н.Н. Зарядовый радиус протона // УФН, 2021, Том 191, №10. – С. 1095-1106.

42. Agneli I., Marinova K. P. Table of experimental nuclear ground state charge radii: An update // At. Dat. Nucl. Dat. Tab. 2013, 99. – PP. 69-95.

**Bondarev Vladimir Georgiyevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Teacher of the CMC of General Education Disciplines

**Migal Larisa Vladimirovna**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Information and Robotic Systems

**Бондарев Владимир Георгиевич**, кандидат технических наук, доцент, преподаватель ЦМК общеобразовательных дисциплин

**Мигаль Лариса Владимировна**, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационных и робототехнических систем

УДК 004

DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-3

Орищенко Т.С.  
Игумнов А.Ю.**ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОБУЧЕНИЯ  
ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКЕ В УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ  
И ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ**

Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», ул. Энгельса, 42а, г. Волжский, Волгоградская область, 404121, Россия

*e-mail: ots28477@mail.ru, IAJu1965@mail.ru*

**Аннотация**

В данной статье поднимается проблема обучения дискретной математике в учебном заведении и в интернете, а также исследуются проблемы и решения в области дистанционного интерактивного образования. Далеко шагнувшие технологии установили высокую планку для нового поколения инженеров. Для технических специалистов огромную роль играет подготовка по разделам математике. Именно они закладывают те методы, которые в будущем потребуются молодым людям при работе по специальности. Вместе с тем ощущается нехватка учебной и методической литературы в данной области. Литература по дискретной математике, предлагаемые в различных пособиях, либо описана на недостаточно подробном уровне, либо слишком теоретизирована, что вызывает лишь большие затруднения у большинства студентов. В статье рассмотрены понятия интерактивности в интерактивности и ее важности в интернет-пространстве. Интерактивное обучение — новый, более творческий и интересный метод организации учебной деятельности в онлайн, читатель курса, вебинара, тренинга активно взаимодействует с элементами обучения и полностью вовлечен в процесс. Студент чувствует свою успешность, свою интеллектуальную состоятельность и причастность к формированию контента. В статье рассмотрены способы использования интерактивных элементов при обучении, определены проблемы онлайн-образования в целом и обучения дискретной математике в частности.

В заключительной части статьи приведены модели функциональных требований для реализации интерактивной веб-системы для обучения дискретной математике и результаты исследования потенциальных пользователей такой системы.

**Ключевые слова:** интерактивный сайт; дизайн веб-сайта; дискретная математика; интерактив; обучение

**Для цитирования:** Орищенко Т.С., Игумнов А.Ю. Исследование и анализ проблем обучения дискретной математике в учебном заведении и через Интернет // Научный результат. Информационные технологии. – Т.8, №4, 2023. С. 34-39. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-3

Orischenko T.S.  
Igumnov A.Y.**RESEARCH AND ANALYSIS OF PROBLEMS OF TEACHING  
DISCRETE MATHEMATICS IN AN EDUCATIONAL  
INSTITUTION AND VIA THE INTERNET**

Volzhsky Polytechnic Institute (branch) Volgograd State Technical University, 42a Engels str.,  
Volzhsky, Volgograd region, 404121, Russia

*e-mail: ots28477@mail.ru, IAJu1965@mail.ru*

**Abstract**

This article raises the problem of teaching discrete mathematics in an educational institution and on the Internet, and also explores problems and solutions in the field of distance interactive education. Advanced technology has set a high bar for a new generation of engineers. Mathematics training plays a huge role for technical professionals. It is they who lay down the methods that young people will need in the future when working in their specialty. At the same time, there is a shortage of educational and methodological literature in this area. The literature on discrete mathematics offered in various manuals is either described at an insufficiently detailed level or too theorized, which causes only great difficulties for most students. The article discusses the concepts

of interactivity in interactivity and its importance in the Internet space. Interactive learning is a new, more creative and interesting method of organizing learning activities online, the reader of a course, webinar, training actively interacts with learning elements and is fully involved in the process. The student feels his success, his intellectual viability and involvement in the formation of content. The article discusses the ways of using interactive elements in teaching, identifies the problems of online education in general and teaching discrete mathematics in particular.

The final part of the article presents models of functional requirements for the implementation of an interactive web-based system for teaching discrete mathematics and the results of a study of potential users of such a system.

**Keywords:** interactive site; website design; discrete mathematics; interactive; learning

**For citation:** Orischenko T.S., Igumnov A.Y. Research and analysis of problems of teaching discrete mathematics in an educational institution and via the Internet // Research result. Information technologies. – Т.8, №4, 2023. – P. 34-39. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-3

### **ВВЕДЕНИЕ**

В условиях современного мироустройства остро стоит вопрос нехватки наглядных и информативных пособий в области дискретной математики. Практически в каждом среднем и высшем учебном заведении страны студенты, обучающиеся на технических специальностях, изучают дискретную математику и испытывают ряд трудностей, в процессе изучения данного предмета, связанных с недостаточной визуализацией по данной теме. Большое количество цифр и правил неподдерживаемых простыми и наглядными визуальными примерами зачастую вводит неподготовленных людей в ступор, а невозможность большинства самим на простых примерах прикоснуться к решению задач - не позволяет сделать процесс обучения действительно продуктивным, что в купе сильно усложняет весь процесс понимания предмета.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Целью работы является снижение трудоемкости и повышение качества обучения дискретной математике за счет интерактивного режима изучения тем в курсе учебной дисциплины "Дискретная математика".

Материалы и методы исследования: анализ литературы по теме интерактивизации дискретной математике, исследование и анализ программных аналогов в области интерактивного обучения, функциональные методы исследования бизнес-процессов, объектно-ориентированные методы моделирования и проектирования программных систем.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Далеко шагнувшие в своем развитии технологи, во много диктуют тенденцию на высокие требования и к специалистам в различных сферах, за счет чего растет и их уровень подготовки. Фундаментальная подготовка инженеров в технических вузах и старших классах школы невольно начинает изменяться, поэтому важно, чтобы обучение было обеспечено высоким качеством фундаментальных знаний и в тоже время брало курс на подготовку к профессиональной деятельности.[3]

Для технических специалистов огромную роль играет подготовка по разделам математике. Именно они закладывают те методы, которые в будущем потребуются молодым людям при работе по специальности. Математическое образование следует воспринимать как важнейшую составляющую подготовки будущих инженеров.

Но при такой высокой значимости год за годом отчетливо читается снижение уровня математического образования. Крайне слабая математическая подготовка поступающих на технические специальности, не позволяет студентам овладевать курсом высшей математики в нужном объеме.[3]

Вместе с тем ощущается нехватка учебной и методической литературы в данной области. Литература по дискретной математике, предлагаемые в различных пособиях, либо описана на недостаточно подробном уровне, либо слишком теоретизирована, что вызывает лишь большие затруднения у большинства студентов.[4]

Современное интерактивное обучение в основном направлено на поколение «Зет». С рождения они окружены гаджетами, что развило у них тенденцию к определенной социальной изоляции, не выработанные на практике навыки командного взаимодействия и потребность в вознаграждении за выполненную работу, приобретенную ими в компьютерных играх. Следовательно, в методике интерактивного обучения необходимо учитывать данные специфики, опираясь на умения, которыми они владеют, и одновременно создавать условия для преодоления тенденции к социальной изолированности, сосредоточенности на личном пространстве и т.п. [2]

Интерактивные методы обучения позволяют интенсифицировать процесс понимания, усвоения и творческого применения знаний при решении практических задач, эффективность обеспечивается за счет более активного включения обучающихся в процесс не только получения, но и непосредственного (здесь и теперь) использования знаний. Если формы и методы интерактивного обучения используются регулярно, то у учащихся формируются продуктивные подходы к овладению информацией, исчезает страх ошибиться (поскольку ошибка не несет за собой негативной оценки)

Интерактивное обучение повышает мотивацию и вовлеченность учащихся в решение обсуждаемых проблем, что дает эмоциональный толчок к последующей поисковой активности, побуждает к конкретным действиям.

В интерактивном обучении каждый успешен – процесс обучения становится более осмысленным и увлекательным. [7]

Интернет-обучение, плотно вошедшее в современную социальную жизнь, также располагает большим количеством проблем в области обучения дискретной математике. Помимо основных минусов, таких как: отсутствие подходящего оборудования, отвлекающие факторы, разрозненность и противоречивость информации и низкий уровень усвоения материала. Можно выделить также: платный характер многих ресурсов, малый процент обратной связи, отсутствие достаточной материальной базы, множество сложных теоретических аспектов, не подкрепленных маломальскими примерами и практиками.

При всех недостатках обучение через интернет ресурсы все еще остается быстрым и эффективным средством повышения уровня подготовки и заполнения пробелов в знаниях. При своей способности быстро и гибко адаптироваться под запросы пользователей процесс обучения можно сделать более простым и «приятным». Реализовав грамотный процесс получения навыков и установив контроль за обучением, можно получить достойное и эффективных средство развития практических навыков у обучающихся в интернете [2].

Внедрение системы интерактивного обучения по «Дискретной математике» может решить несколько проблем в данной сфере:

1. Создать условия для мотивации к обучению. По средствам введения в процесс обучения системы поощрений учащиеся становятся более заинтересованы, видя конечную цель им легче ее достигнуть.[1]

2. Сделать процесс обучения более доступным. Поскольку онлайн обучение можно осуществлять практически из любой точки мира у студентов появляются более расширенные возможности в этом вопросе.

3. Увеличить уровень понимания материала. Интерактивы на сайте помогают человеку самому прийти до осознания изучаемой темы. А если выразится точнее, то они помогают не просто зазубрить материал, а познать его, полностью разложив по полочкам.

4. Увеличение доступности образования для людей с ограниченными возможностями. Онлайн-обучение может быть более доступным для людей с ограниченными возможностями, таких как люди с инвалидностью испытывают трудности с перемещением. [2]

В результате исследования инструментов и методов интерактивизации дискретной математике, а также существующих программных аналогов был определен перечень функциональных и нефункциональных требований к системе.

Разрабатываемая система будет иметь спрос, так как в ней предусмотрены интерактивные элементы, направленные на упрощение понимания предмета, чего нет в системах аналогах, представленных в данный момент на рынке. Были определены бизнес-требования к проекту:

- 1) в системе должна быть возможность постепенного и последовательного прохождения разделов дискретной математики;
  - 2) в системе должна быть возможность не только писать текст, но прикладывать картинки формата jpeg, png;
  - 3) система должна обладать системой поощрений в виде наград за прохождение темы;
- А также определены бизнес-цели разработки:
- 4) увеличить число заинтересованных лиц в изучении дискретной математики;
  - 5) улучшить процесс восприятия информации и вовлеченность в процесс обучения участников;
  - 6) обеспечить удержание пользователей до конца обучения;

Были выделены потенциальные пользователи системы: Преподаватель и Обучающийся.

На основании проведенного анализа были разработаны модели функциональных требований в нотации UML и выделены экторы, диаграмма вариантов использования системы (use case) для которого представлена на рисунке 1.

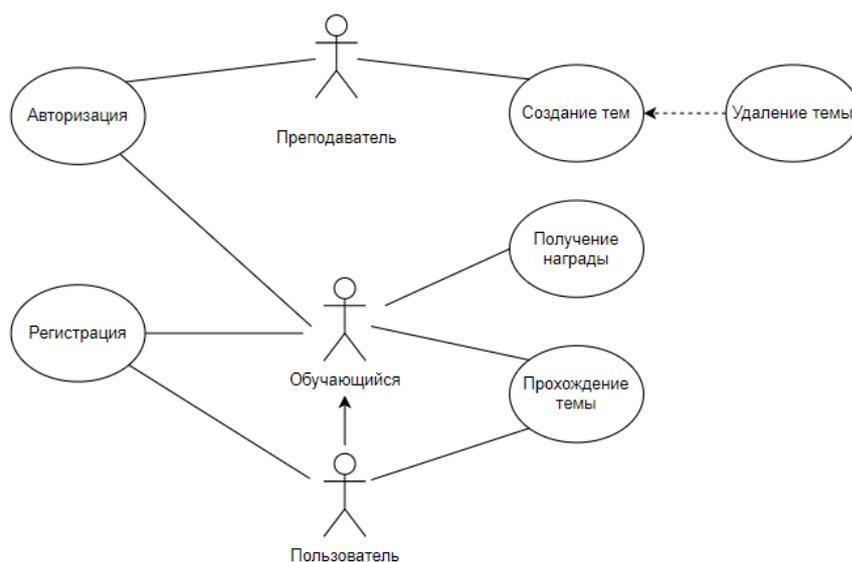


Рис. 1. Общая диаграмма основных вариантов использования системы

Fig. 1. General diagram of the main use cases of the system

Расширенная модель вариантов использования системы для эктора Преподаватель представлена на рисунке 2.

Как видно из модели, у Преподавателя есть возможности добавления и удаления новых разделов по курсу.

Расширенная модель вариантов использования для эктора Обучающийся представлена на рисунке 3.

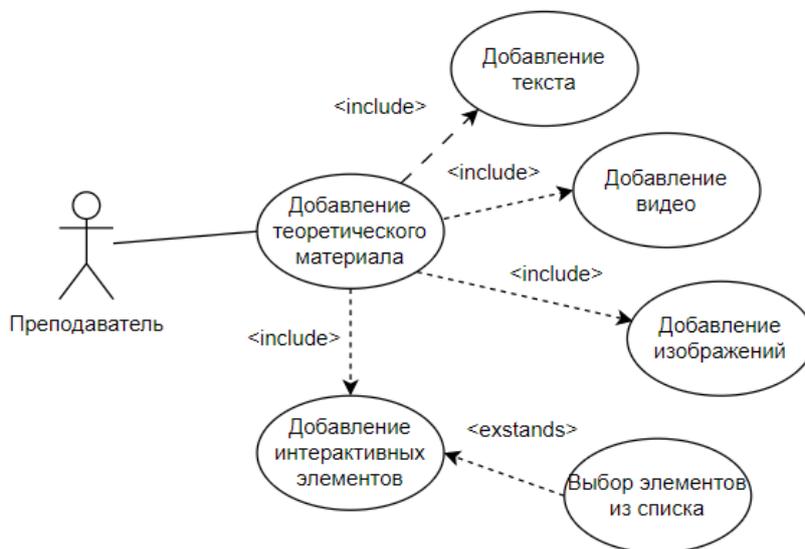


Рис. 2. Диаграмма функциональных требований к системе для актора Преподаватель  
Fig. 2. Extended diagram of functional system requirements for actor Teacher



Рис. 3. Диаграмма функциональных требований к системе для актора Обучающийся  
Fig. 3. Extended diagram of the functional requirements for the system for the Student actor

Входные данные должны вводиться в систему посредством разработанных оконных форм, в которых должны быть представлены поля для ввода данных с возможностью валидации. Также должна быть реализована возможность добавления в систему таких файлов как: видеофайл (ссылка на видео для экономии места в файловом хранилище сервера), текстовый файл формата txt, docx. Выходные данные представляют собой информацию о пользователях, информацию о темах. Система должна формировать выходные данные в виде информации о изученных темах в профиле пользователя, результаты прохождения тестирования, набранных баллах и достигнутых уровнях.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение интерактивной онлайн-системы по дискретной математике может решить несколько проблем в сфере образования:

1) система позволяет обучаться из любой точки мира, где есть доступ в Интернет. Это актуально для пользователей, живущих в отдаленных регионах, где нет возможности получить качественное образование;

- 2) увеличение доступности образования для людей с ограниченными возможностями, таких как люди с инвалидностью;
- 3) экономия времени и денег: онлайн-образование позволяет учиться в любое время и месте, что экономит время и деньги на поездки в школу или университет.
- 4) условия для мотивации к обучению. По средствам введения в процесс обучения системы поощрений учащиеся становятся более замотивированы, видя конечную цель им легче ее достигнуть
- 5) увеличение уровень понимания материала. Интерактивы на сайте помогают человеку самому дойти до осознания изучаемой темы. А если выразится точнее, то они помогают не просто зазубрить материал, а познать его, полностью разложив по полочкам.

### Список литературы

1. Битнер Г.Г. Деятельностный подход в формировании математической культуры будущих инженеров // Тезисы докладов Российской Школы-конференции с международным участием «Математика, информатика, их приложения и роль в образовании». Проблемы образования. М.: РУДН, 2009. – С.250-256.
2. Глазнева С.Е. Коняева Е.А. Положительные и отрицательные стороны дистанционного обучения // Актуальные проблемы образования: позиция молодых: материалы Всероссийск. студ. науч.-практ. конференции 2016 г: Изд-во «Золотой феникс», 2016. – С.57-59.
3. Горбатов В.А., Горбатов А.В., Горбатова А.В. Дискретная математика: учеб. для студентов ВТУЗов. М.: ООО «Изд-во АСТ»: ООО «Издательство Астрель», 2003. – 447 с.
4. Зепнова Н.Н. Преподавание курса дискретной математики во втузе с учетом специфики современных тенденций модернизации высшего образования. Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2013. – № 8 (79). – С. 265-271.
5. Коротаева, Е.В. Интерактивное обучение: аспекты теории, методики, практики / Е.В. Коротаева, А.С. Андрюнина. – Текст: непосредственный // Педагогическое образование в России. – 2021. – № 4. – С. 26-33. – DOI: 10.26170/2079-8717\_2021\_04\_03
6. Соловов, А.В. Введение в проблематику дистанционного обучения. – Самара: СГАУ, 2000. – 150 с.
7. Панина Т.С., Вавилова Л.Н. Интерактивное обучение // Образование и наука. – 2007. –№ 6 (48).

### References

1. Bitner G.G. Activity approach in the formation of the mathematical culture of future engineers // Abstracts of the Russian School-Conference with international participation "Mathematics, informatics, their applications and role in education." Problems of education. M.: RUDN, 2009. – P. 250–256.
2. Glazneva S.E. Konyaeva E.A. Positive and negative aspects of distance learning // Actual problems of education: the position of the young: materials of Vserossiysk. stud. scientific-practical. conference 2016: Publishing house "Golden Phoenix", 2016. – P.57-59.
3. Gorbатов V.A., Gorbатов A.V., Gorbatoва A.V. Discrete Mathematics: Proc. for university students. M.: AST Publishing House LLC: Astrel Publishing House LLC, 2003. – 447 p.
4. Zepnova N.N. Teaching a course of discrete mathematics in a higher education institution, taking into account the specifics of modern trends in the modernization of higher education. Bulletin of the Irkutsk State Technical University. – 2013. – No. 8 (79). – pp. 265-271.
5. Korotaeva, E.V. Interactive learning: aspects of theory, methodology, practice / E.V. Korotaeva, A.S. Andryunina. – Text: direct // Pedagogical education in Russia. – 2021. – No. 4. – P. 26-33. – DOI: 10.26170/2079-8717\_2021\_04\_03
6. Solovov, A.V. Introduction to the problems of distance learning. - Samara: SGAU, 2000. – 150 p.
7. Panina T. S., Vavilova L. N. Interactive learning. Obrazovanie i nauka. –2007. – No. 6 (48).

**Орищенко Татьяна Сергеевна**, студент кафедры «Информатика и технология программирования»  
**Игумнов Александр Юрьевич**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информатика и технология программирования»

**Orischenko Tatiana Sergeevna**, student of the Department of Informatics and Programming Technology  
**Igumnov Alexander Yurievich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics and Programming Technology

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
AUTOMATION AND CONTROL**

УДК 303.732.4

DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-4

**Яценко В.М.<sup>1</sup>  
Ломакин В.В.<sup>2</sup>****РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ  
УСТАНОВКОЙ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ**<sup>1</sup>) ООО "ЭЛСИС БелГУ", ул. Королева, 2а, корпус 1, оф. 103, г. Белгород, 308034, Россия<sup>2</sup>) Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия*e-mail: Yatsenko\_ym@bsu.edu.ru, Lomakin\_VV@bsu.edu.ru***Аннотация**

В статье описывается процесс формирования требований к системе управления и контроля установкой для микродугового оксидирования (МДО). Рассматривается необходимость обеспечения многоуровневой защиты оборудования и персонала, обусловленная особенностями процесса синтеза алгоритмов функционирования распределенной системы управления, обеспечивающих необходимые и безопасные режимы работы. Приводятся основные этапы формирования требований для обеспечения взаимодействия отдельных функциональных элементов системы управления. Приводится градация событий, возникающих в силовой части установки МДО и событий, обусловленных действиями персонала по реакции на них системы управления.

**Ключевые слова:** оборудование для МДО; контроль и управление; система управления; синтез алгоритмов управления

**Для цитирования:** Яценко В.М., Ломакин В.В. Распределенный алгоритм управления установкой микродугового оксидирования // Научный результат. Информационные технологии. – Т.8, №4, 2023. – С. 40-49. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-4

**Yatsenko V.M.  
Lomakin V.V.****DISTRIBUTED ALGORITHM FOR CONTROL  
OF MICROARC OXIDATION INSTALLATION**<sup>1</sup>) LLC "ELSYS BelSU", 2a Koroleva St., 1 building, 103 office, Belgorod, 308034, Russia<sup>2</sup>) Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia*e-mail: Yatsenko\_ym@bsu.edu.ru, Lomakin\_VV@bsu.edu.ru***Abstract**

The article describes the process of forming requirements for a control and monitoring system for a micro-arc oxidation (MAO) installation. The need to ensure multi-level protection of equipment and personnel is considered, due to the peculiarities of the process of synthesis of algorithms for the functioning of a distributed control system that provides the necessary and safe operating modes. The main stages of forming requirements to ensure the interaction of individual functional elements of the control system are presented. A gradation of events occurring in the power section of the MDO installation and events caused by the actions of personnel in response to the control system are given.

**Keywords:** equipment for MDO; control and management; control system; synthesis of control algorithms

**For citation:** Yatsenko V.M., Lomakin V.V. Distributed algorithm for control of microarc oxidation installation // Research result. Information technologies. – Т. 8, №4, 2023. – P. 40-49. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-4

## ВВЕДЕНИЕ

При построении систем управления сложными технологическими установками для МДО возникает необходимость рационального распределения решаемых задач между элементами системы. К решаемым в рамках проектирования оборудования задачам следует отнести задачи управления электрическими режимами технологического источника тока [2, 3, 5, 6, 9, 10], задачи обеспечения безопасности работы элементов оборудования и персонала, задачи измерения технологических параметров. Общими подходами к распределению задач по элементам системы являются принципы разделения по необходимой скорости реакции на возникающие события, дублирования критически важных функций, а также наличия обмена событиями между подсистемами.

## ПОДХОДЫ К РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ МДО

При классическом построении системы управления на базе промышленного контроллера управления, обеспечивающего гарантированную скорость реакции системы, сложным оказывается реализация добавления функционала и развития информационных подсистем [2, 3, 5-7, 10]. Применение персонального компьютера или сервера для управления технологическим оборудованием сопряжено с рисками в виду особенностей функционирования и обновления операционных систем, опасности сбоев и негарантированного времени реакции на события. Наличие опасного напряжения на электролитической ванне в процессе МДО требует дополнительного контура безопасности работа которого должна обеспечиваться даже при сбое системы управления. Таким образом построение распределенной системы управления [1, 4, 8, 9], снижающей риски возникновения и развития внештатных ситуаций, а также обладающей возможностями перспективного совершенствования информационного обеспечения может быть построена по трехуровневой схеме. Выделим основные функции контроля и управления, которые необходимо реализовать при проектировании оборудования МДО применительно к трехуровневой схеме построения системы (рис. 1):

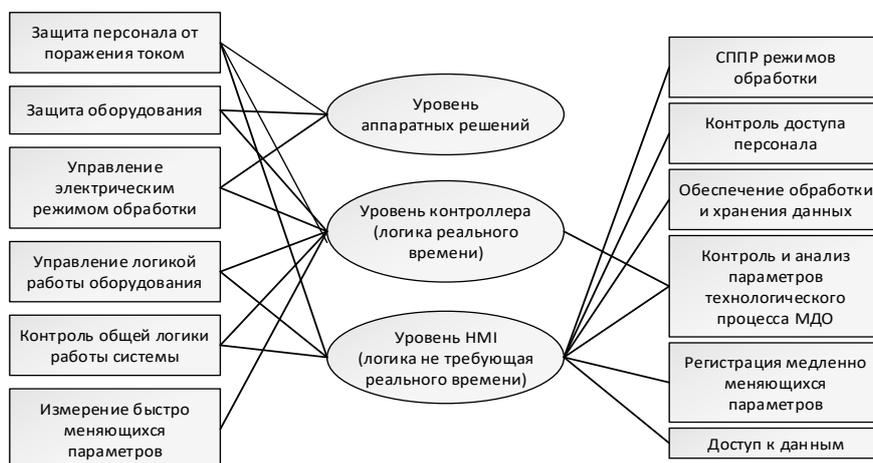


Рис. 1. Трехуровневая схема построения системы управления и контроля установкой МДО

Fig. 1. Three-level scheme for constructing a control and monitoring system for an MAO plant

- аппаратный уровень (У1), на котором скорость реакции максимальная, логика работы на данном уровне определяется только электрической схемой включения оборудования;
- уровень контроллера управления (У2), реализующего логику управления в масштабе реального времени, где скорость реакции на воздействия обеспечивается принципом работы системы на базе прерываний и прямым контролем исполнительных устройств;
- уровень общей логики управления системой и реализации сервисных функций (У3), где основным приоритетом является удобство работы оператора и наличие информационных систем, обеспечивающих работу СППР, обработку данных и обмен ими с окружением.



- доступа к силовой части источника тока (открытие дверей) и ограждению электромеханического узла (открытие дверей).

2. Аварийные защиты с отключением силовой части ТИТ при:

- отсутствии сигнала штатной работы уровня У2;
- появлении напряжения на электролитической ванне без сигнала разрешения с уровня управления У2;
- выходе за допустимые уровни токов в силовых цепях (автоматические выключатели с контролем состояния).

На уровне У2 доступны следующие логические блокировки: проверка последовательности включения силовых элементов с контролем их состояния, отслеживание появления напряжений на силовых элементах схемы без их коммутации, отсутствие необходимых напряжений в контрольных точках, превышение допустимых уровней напряжений и токов.

Верхним уровнем является уровень У3, реализуемый ПО АРМ установки МДО с решением следующих задач: защиту от включения установки без необходимых прав доступа оператора, защиту от изменения рецептов обработки, защиту при выходе параметров силовых цепей за допустимые границы, защиту при выходе за допустимый диапазон напряжения питания, защиту по выходу параметров процесса МДО обработки за установленные границы.

Логика работы каждого из уровней системы должна включать контроль со стороны смежных уровней таким образом, чтобы обработать возникшую ситуацию, перейти в новое состояние и сообщить остальным уровням о возникшей ситуации и своем новом состоянии. Для реализации такой логики работы между уровнями У2 и У3 была организована связь на базе Ethernet интерфейса в виде нескольких логических каналов: канала передачи служебной информации (MCU Mode/Status) от контроллера (master) к АРМ (slave), канала передачи служебной информации (PC Status/Event/Flag) и запросов на передачу измерений от АРМ (master) к контроллеру (slave), канала передачи измеренной информации от контроллера (master) к АРМ (slave). На схеме (рисунок 3) показано взаимодействие между подсистемами и направление информационных потоков.

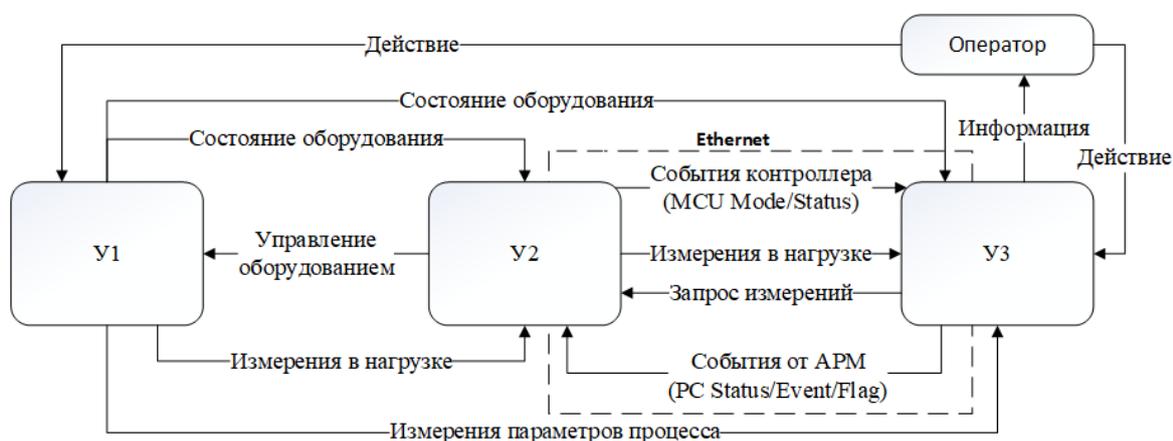


Рис. 3. Схема взаимодействия подсистем управления и оператора  
Fig. 3. Scheme of interaction between control subsystems and operator

### **РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕННОГО ПОДХОДА ДЛЯ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ КОНТРОЛЛЕРА ТИТ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПК**

Алгоритм работы контроллера и АРМ удобно реализовать в виде конечных автоматов со следующими состояниями: для контроллера – начало работы, ожидание запуска, подготовка режима, работа режима, пауза режима, авария; для АРМ – начало работы, работа с архивами, редактирование рецептов, настройки оборудования, рецепт запущен, режим прерван, пауза режима. На рисунках 4 и 5 приведены алгоритмы работы соответственно контроллера и ПО ПК, обеспечивающие совместное функционирование и перекрестный контроль состояния элементов распределенной системы управления.

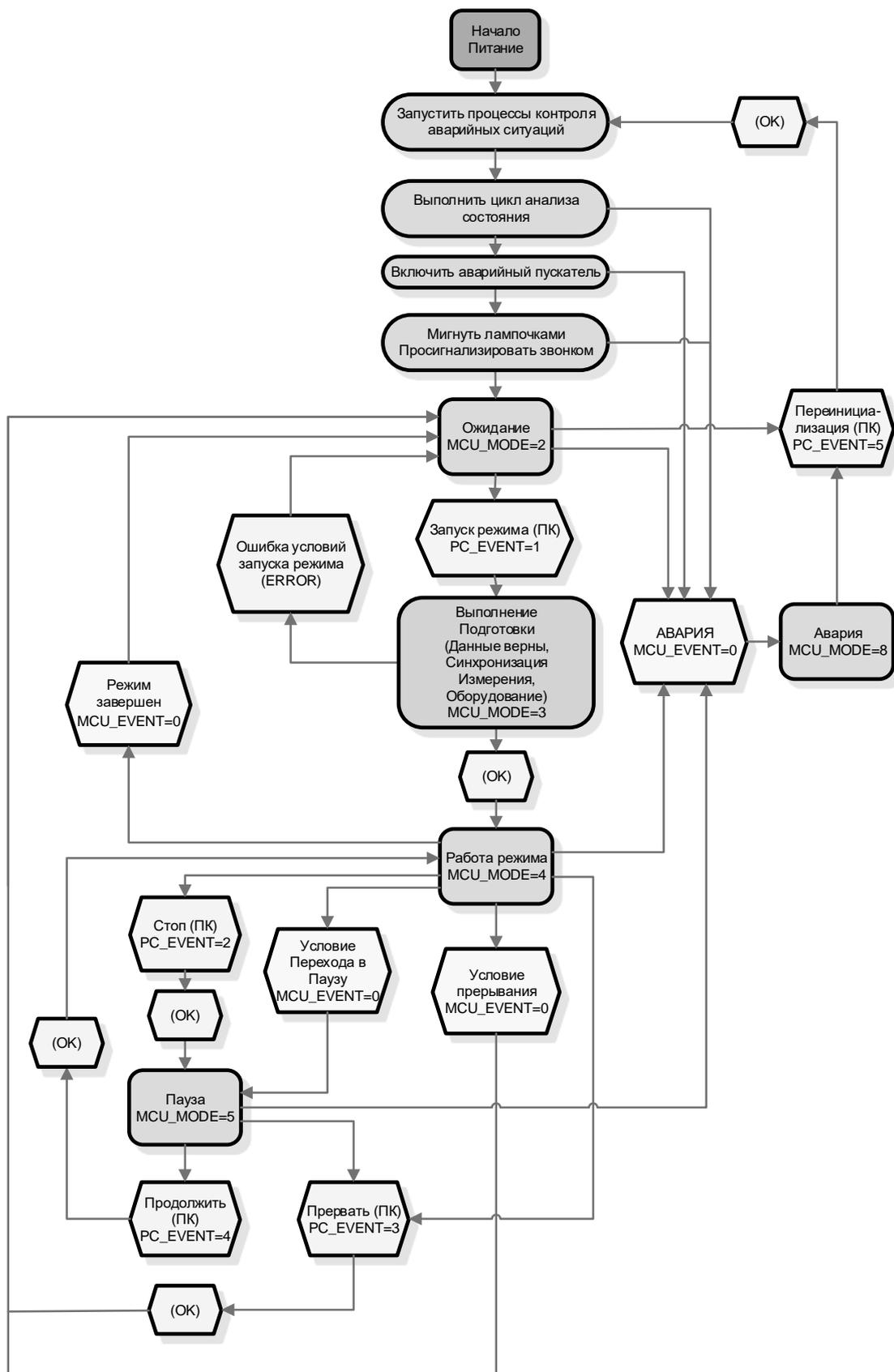


Рис. 4. Диаграмма режимов работы контроллера  
Fig. 4. Block diagram of TIT controller operation modes



Работа установки происходит следующим образом, контроллер непрерывно проводит анализ состояния оборудования и параметров процесса, обеспечивает автоматический переход из состояния «Работа» в режим «Пауза», «Авария» или «Ожидание» в зависимости от логики работы. Логика работы контроллера включает обнаружение аварийных (действие - отключение оборудования) и предупредительных (действие - переход оборудования в состояние ожидания) состояний, а также переход из состояния «Работа» в состояние «Ожидание» по истечению заданного времени режима обработки.

АРМ оператора обеспечивает следующие основные возможности:

- многоуровневый парольный доступ операторов установки с различными правами доступа: запуск режимов обработки, создание и редактирование режимов обработки, просмотр архивов, доступ к параметрам настройки установки;

- вывод удобной графической и необходимой текстовой информации о происходящих процессах: графиках напряжений, токов, температур, графиков в виде эпюр тока/напряжения на нагрузке, текущей схеме силового блока, параметрах режима обработки, состоянии оборудования ТИТ и электромеханического узла;

- создание, сохранение, редактирование, копирование, запуск на выполнение рецептов обработки. Обеспечивается возможность остановки процесса обработки с последующим продолжением (режим «Пауза») и возможность автоматического прерывания процесса при выходе параметров за контрольные параметры;

- сохранение информации о пользователях, рецептах обработки и параметрах проведенных обработок реляционной базе данных;

- сохранение и последующий просмотр информации в графическом и текстовом виде о выполненных обработках и применяемых рецептах с возможностями масштабирования, выбора необходимой информации для отображения и сохранения информации в формате MS Excel для последующего анализа и синтеза моделей, описывающих процесс.

Перечень регистрируемых аварийных состояний (по условию ИЛИ) (рис. 6):

- превышение напряжения на конденсаторах, тиристорах или цепи нагрузки,
- превышение токов в нагрузке, блоках конденсаторов, суммарного тока (нагрузка + конденсаторы);

- отсутствие сигнала от блока аппаратной защиты после включения ТИТ;

- наличие включенного состояния силового пускателя при включении установки;

- срабатывание 1-го или 2-го блока защит конденсаторов;

- наличие сигнала от блока аппаратной защиты в рабочем режиме («Работа», «Включение режима», «Окончание режима»);

- нештатное выключение аварийного пускателя (сработала аварийная защита);

- появление сигнала от блока аппаратной защиты при выключенном пускателе;

- несоответствие состояния аварийного пускателя;

- несоответствие сигнала состояния пускателя коммутации обмоток пускателей;

- несоответствие сигналов состояния пускателей конфигурации силового блока;

- отсутствие сигнала от блока защиты при включении пускателя нагрузки;

- открытие дверей ограждения в режимах «Работа», «Прерывание режима», «Окончание режима»;

- открытие передней или задней двери ТИТ при включенном аварийном пускателе.

В случае появления любого из аварийных событий происходит немедленное отключение питания всей силовой части установки и блокировка повторного включения.

Прерывание процесса с прекращением дальнейшей обработки и переходом в режим «Ожидание» происходит при возникновении любого из следующих событий:

- открытия дверей ТИТ;

- превышении аварийных пределов фазных или линейных напряжений питающей сети;

- при пропадании связи со счетчиком электроэнергии, блоком ввода неэлектрических параметров или панелью оператора.



Рис. 6. Условия формирования событий контроллера  
Fig. 6. Conditions for generating controller events

Предупреждение оператора, отключение силовых цепей и переход в режим «Пауза» происходит при возникновении любого из следующих событий:

- при открытии передней двери ограждения;
- при превышении предупредительных пределов фазных или линейных напряжений силовых фаз;
- при нажатии любой кнопки STOP (на столе АРМ ПК, ТИТ, ограждении);
- пропадании связи с ПК или контроллерами частотного привода.

В процессе обработки детали методом МДО необходимо отслеживать различные ситуации, при которых необходимо выполнить корректировку рецепта или прервать процесс обработки. Контроль возникновения таких ситуаций целесообразней возложить на уровень УЗ, где будут выполняться алгоритмы с регистрацией наступления следующих событий:

- превышение максимального значения анодного или катодного напряжения, или тока для обрабатываемого материала,
- превышение максимального значения температуры электролита;
- контроль превышения температуры контура охлаждения;
- контроль недостаточного давления контура охлаждения;

- контроль недостаточного давления в системе барботажа;
- контроль скорости потока воздуха в системе вентиляции;
- контроль количества электричества; прошедшего через электролит (выработка);
- детектирования угасания МДО-разряда;
- детектирования отсутствия зажигания МДО разряда;
- контроль наличия детали;
- детектирования процесса растравливания детали и др.

Возникновение одного или нескольких событий может быть использовано для автоматической приостановки процесса обработки при условии отсутствия маскирования такого события на уровне УЗ.

Программное обеспечение контроллера и АРМ также производят контроль информационного обмена, кроме того ПО АРМ контролирует получение и исполнение команд контроллером за счет анализа его внутреннего состояния. При разрыве соединения между установкой и контроллером происходит установка состояния «Пауза» в контроллере. При обработке и контроллер и ПО на ПК могут при наступлении условий для остановки «Пауза» или прекращении работы «Прерывание» остановить или прервать процесс обработки без участия оператора. При этом после перехода процесса в состояние «Пауза» - имеется возможность продолжить процесс после устранения причины остановки.

На уровне УЗ, в общей базе данных установки также хранятся и настройки (конфигурации) предупредительных и аварийных событий, реализованные в форме шаблонов, как общие для оборудования, так и связанные с тем или иным обрабатываемым материалом или технологическим режимом.

### **ВЫВОДЫ**

Предложенные подходы к проектированию системы управления установки для микродугового оксидирования и их реализация в виде алгоритмов основываются на принципах дублирования критических функций и взаимного контроля составных частей. Пример разработанных алгоритмов для конечных автоматов, реализованных на различных уровнях системы обеспечивает качественное управление оборудованием с развитой функциональностью на уровне АРМ оператора и дублирование критических функций блокировок и защит. Кроме того, рассмотренная реализация распределенной системы управления установкой отличается возможностью дальнейшего развития информационных подсистем, которые возможно реализовывать на уровне АРМ оператора выполненного на базе ПК.

### **Список литературы**

1. Бадаев Р.А. Автоматизированная установка микродугового оксидирования / Р.А. Бадаев, О.В. Карпанин, С.Р. Таишев // Материалы и технологии XXI века: сборник статей XIV Международной научно-технической конференции, Пенза, 28–29 марта 2016 года. – Пенза: Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний», 2016. – С. 136-140.
2. Большенко А.В. Импульсные регуляторы тока для микроплазменного оксидирования: Дис. ... к.т.н. Новочеркасск, 2013. – 202 с.
3. Большенко А.В. Разработка источника питания для установки микродугового оксидирования // Ползуновский альманах. – 2010. – Вып. 3.
4. Борилов В.Н., Баранов П.Ф. Концепция системы контроля и управления технологическим процессом формирования микроплазменных покрытий // Известия ТПУ. 2011. – №5.
5. Виноградов А.В. Разработка и исследование источника тока для микродугового оксидирования деталей приборов и оценка его технологических возможностей: Дис. ... к.т.н. М. 2013. – 194 с.
6. Герасимов В.А., Руднев П.С. Источник питания для микродугового оксидирования // Вологодские чтения. 2008. №69.
7. Гринченков В.П. Технологический источник тока для процесса микроплазменного оксидирования [Текст] / В.П. Гринченков, А.В. Большенко // Изв. Вузов. Сев. – Кавк. Регион. Техн. Науки. – 2011. – №4. – С. 65-68.

8. Карпанин О.В. Автоматизированная установка для микродугового окисления / О.В. Карпанин, А.В. Сафонов, С.Ю. Ометова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2015. – № 9 (89). – С. 247-251.
9. Людин В.Б. Универсальный технологический источник тока для микродугового окисления [Текст] // НМТ-2008. Материалы Всероссийской научно-техн. конф. Т. 2. -М.: ИЦ МАТИ, 2008, – С. 141-143.
10. Павленко А.В. Источник питания для устройств микродугового окисления / А.В. Павленко, А.В. Большенко, В.С. Пузин, И.В. Васюков // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2011, – №1.
11. Яценко В.М. Функциональные возможности электротехнического оборудования для микродугового окисления [Текст] / В.М. Яценко [и др.] // Научное обозрение. – 2015. – № 22. – С. 264-274.

### References

1. Badaev R.A. Automated installation of microarc oxidation / R.A. Badaev, O.V. Karpanin, S.R. Taishev // Materials and technologies of the XXI century: collection of articles of the XIV International Scientific and Technical Conference, Penza, March 28–29 2016. – Penza: Autonomous non-profit scientific and educational organization “Privolzhsky House of Knowledge”, 2016. – P. 136-140.
2. Bolshenko A.V. Pulse current regulators for microplasma oxidation: Dis. ... Ph.D. Novocherkassk, 2013. – 202 p.
3. Bolshenko A.V. Development of a power source for a micro-arc oxidation installation // Polzunovsky almanac. – 2010. – Issue. 3.
4. Borikov V.N., Baranov P.F. Concept of a control and management system for the technological process of forming microplasma coatings // Izvestia TPU. 2011. – No. 5.
5. Vinogradov A.V. Development and research of a current source for micro-arc oxidation of device parts and assessment of its technological capabilities: Dis. ... Ph.D. M. 2013. – 194 p.
6. Gerasimov V.A., Rudnev P.S. Power source for micro-arc oxidation // Vologda readings. 2008. –No. 69.
7. Grinchenkov V.P. Technological current source for the process of microplasma oxidation [Text] / V.P. Grinchenkov, A.V. Bolshenko // Izv. Universities. North - Kavk. Region. Techni. Science. – 2011. – No. 4. – WITH. 65-68.
8. Karpanin O.V. Automated installation for micro-arc oxidation / O.V. Karpanin, A.V. Safonov, S.Yu. Ometova. — Text: immediate // Young scientist. – 2015. – No. 9 (89). – P. 247-251.
9. Lyudin V.B. Universal technological current source for microarc oxidation [Text] // NMT-2008. Materials of the All-Russian Scientific and Technical. conf. Т. 2. – М.: IC МАТИ, 2008, – pp. 141-143.
10. Pavlenko A.V. Power supply for micro-arc oxidation devices / A.V. Pavlenko, A.V. Bolshenko, V.S. Puzin, I.V. Vasyukov // News of universities. North Caucasus region. Series: Technical Sciences. 2011, –No. 1.
11. Yatsenko V.M. Functional capabilities of electrical equipment for microarc oxidation [Text] / V.M. Yatsenko [et al.] // Scientific review. – 2015. – No. 22. – P. 264-274.

**Яценко Владимир Михайлович**, директор ООО "ЭЛСИС БелГУ"

**Ломакин Владимир Васильевич**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий

**Yatsenko Vladimir Mikhailovich**, Director of LLC "EL SIS BelSU"

**Lomakin Vladimir Vasilievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ  
ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION MAKING**

УДК 004.048

DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-5

**Малых С.Б.<sup>1</sup>  
Асадуллаев Р.Г.<sup>2</sup>  
Ситникова М.А.<sup>2,3</sup>****ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ  
СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ВОЗРАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ  
В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СИСТЕМЫ СИМВОЛИЧЕСКОЙ  
ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА**<sup>1</sup> Российская академия образования, ул. Погодинская, д. 8, г. Москва, 119121, Россия<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия<sup>3</sup> Федеральный научный центр психологических и междисциплинарных исследований РАО,  
ул. Моховая, д. 9, стр. 4, г. Москва, 125009, Россия*e-mail: malykhsb@mail.ru, asadullaev@bsu.edu.ru, sitnikovamary46@gmail.com***Аннотация**

В статье представлен результат разработки и обучения 4 архитектур рекуррентных нейронных сетей для решения задачи классификации возрастных различий в функционировании системы символической оценки количества. При проектировании нейронных сетей использовались такие современные практики, как ячейки с длинной краткосрочной памятью, модификация, позволяющая подавать сигнал на нейронную сеть в прямом и обратном порядке, предварительные 1D свертки сигнала перед подачей на рекуррентные слои. Лучший результат на всех наборах данных демонстрирует рекуррентная нейронная сеть со слоями предварительной свертки сигнала. Точность варьируется в пределах 86-88% в зависимости от набора данных. Указанная точность получена на данных, к которым был применен алгоритм коррекции базовой линии.

**Ключевые слова:** рекуррентная нейронная сеть; нейронная сеть с длинной краткосрочной памятью; машинное обучение; анализ многомерных данных; глубокое обучение; функциональная спектроскопия в ближнем инфракрасном диапазоне

**Для цитирования:** Малых С.Б., Асадуллаев Р.Г., Ситникова М.А. Проектирование рекуррентных нейронных сетей для классификации возрастных различий в функционировании системы символической оценки количества // Научный результат. Информационные технологии. – Т.8, №4, 2023. – С. 50-58. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-5

**Malykh S.B.<sup>1</sup>  
Asadullaev R.G.<sup>2</sup>  
Sitnikova M.A.<sup>2,3</sup>****DESIGN OF RECURRENT NEURAL NETWORKS  
FOR CLASSIFICATION OF AGE DIFFERENCES  
IN THE FUNCTIONING OF THE SYMBOLIC SYSTEM  
OF QUANTITY ASSESSMENT**<sup>1</sup> Russian Academy of Education, Pogodinskaya st., 8, Moscow, 119121, Russia<sup>2</sup> Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia<sup>3</sup> Federal scientific center of psychological and multidisciplinary researches RAE, Mokhovaya st., 9, building 4, Moscow, 125009, Russia*e-mail: malykhsb@mail.ru, asadullaev@bsu.edu.ru, sitnikovamary46@gmail.com***Abstract**

The article presents the result of the development and training of 4 recurrent neural network architectures to solve the problem of classifying age-related differences in the functioning of the

symbolic system of quantity assessment. When designing neural networks, some effective algorithms were used: cells with long short-term memory, a modification that allows a signal to be fed to the neural network in forward and reverse order, and preliminary 1D convolutions of the signal before feeding it to recurrent layers. The best result on all data sets was demonstrated by a recurrent neural network with signal pre-convolution layers. Accuracy varies between 86-88% depending on the dataset. The specified accuracy was obtained on data to which the baseline correction algorithm was applied.

**Keywords:** recurrent neural networks; long short-term memory; machine learning; analysis of multidimensional data; deep learning; functional near-infrared spectroscopy

**For citation:** Malykh S.B., Asadullaev R.G., Sitnikova M.A. Design of recurrent neural networks for classification of age differences in the functioning of the symbolic system of quantity assessment // Research result. Information technologies. – Т.8, №4, 2023. – P. 50-58. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-5

### **ВВЕДЕНИЕ**

Математическая грамотность людей на уровне общества в значительной степени влияет на науку и технический прогресс, что в конечном итоге имеет решающее значение для развития национальной экономики. Эффективность владения разнообразными математическими операциями и осуществления точных вычислений влияют на качество жизни, определяют успех в профессиональной деятельности. Считается, что люди обладают базовыми математическими способностями, которые опираются на две системы: систему приблизительной оценки количества, которая позволяет различать и приблизительно оценивать количество объектов без точного подсчета, и систему символического счисления или представления количества (exact number system) [1], которая определяется способностью точно оценивать количество, сопоставляя его с соответствующей цифрой. В дальнейшем на этой основе появляется способность к точным вычислениям.

Подход к этой проблеме с позиций нейронауки с использованием современных методов нейровизуализации, в частности спектроскопии в ближнем инфракрасном диапазоне (фБИК-спектроскопии) [2], позволяет выявить нейрокогнитивные механизмы, определяющие символические числовые навыки. Функциональная спектроскопия в ближнем инфракрасном диапазоне использует инфракрасное излучение для измерения оптического спектра абсорбции гемоглобина в зависимости от насыщения мозга кислородом в отдельных участках головного мозга [3]. Данный метод нейровизуализации является неинвазивным, обладающим высокой экологической валидностью, портативным, что позволяет регистрировать гемодинамическую активацию в ответ на когнитивные задачи в естественных условиях, в комфортном положении сидя, без существенных двигательных ограничений [4].

Данные фБИК-спектроскопии могут быть представлены как многомерные временные ряды динамики оксигемоглобина и дезоксигемоглобина. Для решения задачи классификации гемодинамических паттернов мозговой активации, определяющих нейрокогнитивные механизмы системы символической оценки количества, на современном этапе с успехом применяются методы искусственного интеллекта, в частности нейронные сети глубокого обучения [5-7]. Во многих исследованиях применяются рекуррентные нейронные сети (recurrent neural network, RNN), которые специализируются на обработке серии событий во времени, т.е. временных рядов с учетом хронологии [8]. Возможность использования предшествующей информации, позволяет RNN выполнять одну и ту же задачу для каждого элемента последовательности, при этом выход зависит от предыдущих вычислений. Это достигается за счет наличия циклов, позволяющих передавать информацию с последующего шага на предыдущие. Таким образом, организуется обработка текущих данных совместно с уже обработанными на предыдущих шагах. Также для анализа данных фБИК-спектроскопии применяются нейронные сети LSTM (длинная краткосрочная память), позволяющие в отличие от классических RNN эффективно анализировать длительные последовательности с сохранением связи между временными событиями [9-10]. Так, применение двунаправленной архитектуры глубокого обучения на основе LSTM [11] для классификации

данных фБИК-спектроскопии состояния покоя и при выполнении задач на ментальную арифметику, анализ двигательных образов позволило уменьшить количество этапов предварительной обработки сигналов, при этом точность классификации составила 81,48% [12].

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Данные фБИК-спектроскопии представляют собой многоканальные временные ряды, отражающие динамику изменения во времени оксигемоглобина и дезоксигемоглобина в каждом канале. Для обработки сигналов подобного рода в исследовании были спроектированы и апробированы архитектуры на основе RNN, которые ориентированы на поиск логики во временных рядах.

На первом этапе осуществлялась подготовка наборов данных для обучения интеллектуальных моделей с использованием методов библиотек MNE [13] и MNE-NIRS [14]. Для формирования наборов данных применялся дизайн-протокол, разработанный для оценки нейрофизиологических механизмов символических числовых навыков во время решения математических примеров с двузначными числами (exact calculation) на сложение. Математические задания предъявлялись в двух форматах: числовом ( $55 + 12$ ) и текстовом (пятьдесят пять плюс двенадцать). В качестве контрольного условия использовалось чтение математической задачи без необходимости производить математические вычисления (“В саду росло двадцать четыре яблони и тринадцать груш. Сколько яблонь росло в саду?”). Эксперимент имел блочный дизайн, каждый блок, соответствующий определенному экспериментальному условию, повторялся 5 раз и включал 5 примеров или задач в рамках одного блока. На решение примера респонденту давалось 4,5 секунды и 2 секунды на ответ.

В качестве метода нейровизуализации применялась фБИК-спектроскопия. Данный метод основан на мозговой гемодинамике. Для анализа использовались показатели насыщения крови кислородом или отток крови в головном мозге (оксигенация/ дезоксигенация), которые выступают надежными показателями функциональной активации мозга в ответ на когнитивную задачу.

В проекте применялась портативная система фБИК-спектроскопии NIRSport Model 88, NIRx Medical Technologies с 16 оптодами (8 излучателей и 8 детекторов, расположенные в соответствии с системой «10-20» на расстоянии 3 см друг от друга), с помощью которых регистрировалась гемодинамическая активность в 14 каналах. Частота регистрации данных составляла 7,8125 Гц. Локализации оптодов определялась с учетом зон головного мозга, которые задействованы при точных вычислениях, чтении и понимании текста, восприятии и семантической обработке числовой информации: лобно-височно-теменные области.

С помощью дизайн-протокола были собраны и систематизированы нейрофизиологические данные: 105 записей сырых данных фБИК-спектроскопии взрослых респондентов (студентов), 100 записей сырых данных школьников. Был проведен предварительный анализ сигналов каждого респондента. После предварительной обработки, визуального анализа сырых данных студентов и школьников и анализа их поведенческих данных (успешности выполнения заданий) в итоговый анализ были включены записи 86 студентов (в возрасте 18-26 лет) и 63 школьника (в возрасте от 11-17 лет).

Препроцессинг наборов данных включал преобразование исходных значений света в оптическую плотность, интерполяцию плохих каналов, преобразование в относительные изменения концентрации O<sub>2</sub>Hb и HHb с помощью модифицированного закона Бера-Ламберта, различные варианты фильтрации (фильтр TDDR и CBSI, полосовой фильтр), разделение данных на короткие и длинные каналы, разделение единой записи на эпохи (условия) с длительностью 6,5 секунд, удаление плохих эпох по порогу разброса амплитуды ( $hbo=180e-6$ ), детрендинг [15].

В нейрокогнитивных исследованиях мозговой активности, регистрируемой аппаратными методами нейровизуализации, алгоритм коррекции базовой линии является традиционным подходом для удаления из целевого сигнала, определяющего гемодинамическую реакцию на когнитивную задачу, системное состояние мозговой активности, которое было у респондента до момента предъявления стимульного материала. Нейронные сети позволяют обобщать логику в

данных, в том числе за счет выявления нелинейных закономерностей в данных. Мы предполагаем, что алгоритм коррекции базовой линии излишен в случае применения в качестве классификатора нейронной сети. Для проверки данной гипотезы, каждый набор данных был подготовлен в двух вариантах: с применением алгоритма коррекции базовой линии и без применения данного алгоритма.

Таким образом, в исследовании применялось три экспериментальных условия, на основе которых были сформированы 3 набора данных в двух вариантах (с применением алгоритма коррекции базовой линии и без применения):

- «num\_add» включает примеры на сложение в числовом формате с переходом через десяток и без перехода через десяток;
- «text\_add» включает примеры на сложение в текстовом формате с переходом и без перехода через десяток;
- «poscalc\_poscalc» включает чтение математических задач без вычислений.

Размер каждого набора данных был представлен следующими размерностями: n\_sample (количество эпох), n\_channels - 28 (количество каналов), n\_frame – 52 (количество значений, зафиксированных во времени), где n\_frame = 52, так как длина эпохи составляет 6,5секунд при частоте регистрации оборудования 7,8Гц.

В настоящей работе для классификации гемодинамических паттернов взрослых и школьников и определения возрастных различий в функционировании системы символической оценки количества были разработаны следующие архитектуры нейронных сетей:

1. Рекуррентная нейронная сеть с длинной краткосрочной памятью (NN-1\_LSTM) [11]. Архитектура включает: входной слой размером 28 каналов на 52 значения в каждом канале, соответствующих значениям окси и деокси гемоглобина; два скрытых слоя LSTM; выходной полносвязный слой с двумя нейронами (два класса) и функцией активации softmax (рисунок 1).

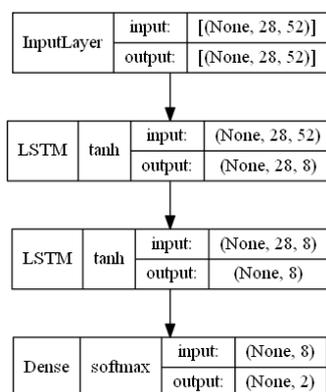


Рис. 1. Архитектура нейронной сети NN-1\_LSTM  
Fig. 1. Neural network architecture of NN-1\_LSTM

2. Рекуррентная нейронная сеть с длинной краткосрочной памятью (NN-2\_LSTM+MLP), в которой для усиления мощности сети добавлены полносвязные слои. Архитектура включает: входной слой размером 28 каналов на 52 значения в каждом канале, соответствующих значениям окси и деокси гемоглобина; два скрытых слоя LSTM; два скрытых полносвязных слоя по 128 нейронами каждый; выходной полносвязный слой с двумя нейронами (два класса) и функцией активации softmax (рисунок 2).

3. Двухнаправленная рекуррентная нейронная сеть с длинной краткосрочной памятью (NN-3\_BidirectionalLSTM). В двухнаправленных рекуррентных сетях сигнал сначала подается в прямом порядке, затем в обратном порядке и результаты объединяются. Таким образом, сеть «смотрит» на сигнал с двух сторон и в некоторых задачах это позволяет найти дополнительные признаки, улучшающие итоговую классификацию. Архитектура включает: входной слой размером 28 каналов на 52 значения в каждом канале, соответствующих значениям окси и деокси гемоглобина; два

скрытых двунаправленных слоя LSTM; выходной полносвязный слой с двумя нейронами (два класса) и функцией активации softmax (рисунок 3).

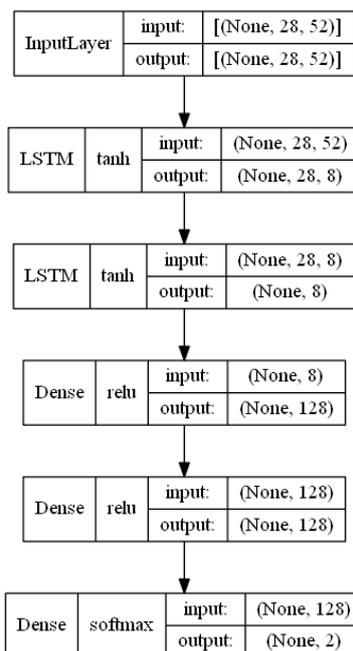


Рис. 2. Архитектура нейронной сети NN-2\_LSTM+MLP  
Fig. 2. Neural network architecture of NN-2\_LSTM+MLP

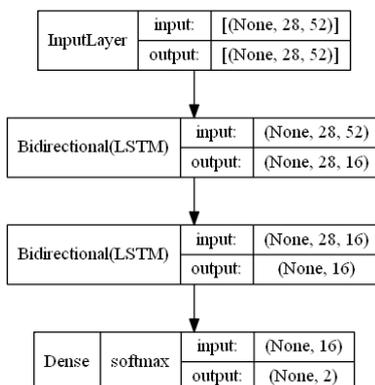


Рис. 3. Архитектура нейронной сети NN\_3\_BidirectionalLSTM  
Fig. 3. Neural network architecture of NN\_3\_BidirectionalLSTM

4. Сверточная рекуррентная нейронная сеть с длинной краткосрочной памятью и свертками 1D (NN-4\_Conv1D+LSTM). За счет слоев свертки осуществляется предварительное отсеивание неинформативного сигнала и укрупнение признаков временного ряда. Архитектура включает: входной слой размером 28 каналов на 52 значения в каждом канале, соответствующих значениям окси и деокси гемоглобина; два скрытых слоя LSTM; два сверточных слоя 1D (размер 1x3) с функцией активации ReLU; для регуляризации процесса обучения сверточных слоев добавлены слои Dropout; выходной полносвязный слой с двумя нейронами (два класса) и функцией активации softmax (рисунок 4).

В процессе обучения каждой модели перебирались все комбинации следующих параметров: количество нейронов в скрытых слоях (2, 4, 8, 16, 32, 64), размер пакета данных на каждой итерации обучения (8, 16, 32, 64).

При подготовке обучающих данных были определены следующие параметры: для обеспечения возможности сравнительного анализа результатов обучения было зафиксировано зерно генератора случайных чисел (random\_state=12345); 20% объема тестового множества от

общего множества данных; 20% валидационного множества от размера обучающей выборки данных.

В процессе обучения моделей использовались следующие параметры: функция ошибки категориальная кросс энтропия; оптимизатор Adam; метрика качества Accurasy; критерий остановки обучения: если на протяжении 6 эпох обучения точность на выборке валидации не увеличивается более чем на 3%, то обучение останавливается и сохраняется модель.

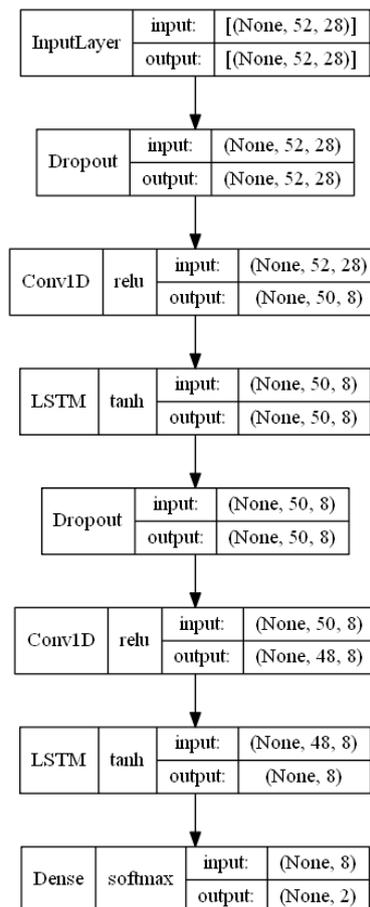


Рис. 4. Архитектура нейронной сети NN-4\_Conv1D+LSTM  
Fig. 4. Neural network architecture of NN-4\_Conv1D+LSTM

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Лучшие результаты обучения моделей на данных по всем условиям с применением алгоритма коррекции базовой линии и без применения алгоритма представлены на рисунке 5.

Из результатов, представленных на рисунке 5 вытекают следующие выводы:

1. Лучший результат на всех наборах данных демонстрирует рекуррентная нейронная сеть со слоями предварительной свертки сигнала. Вероятно, такой результат обусловлен тем фактом, что сверточные слои извлекают из сигнала более компактные признаки, которые в последующем анализируются рекуррентными слоями.

2. Второй по результативности в показателе точности является двунаправленная рекуррентная нейронная сеть, которая на всех наборах данных превосходит по точности сети NN-1\_LSTM и NN-2\_LSTM+MLP. Таким образом, анализ сигнала с обоих направлений с одной стороны позволяет выявить дополнительные паттерны, с другой удвоить признаковое пространство. Данный подход применим для решения задач, аналогичных задаче настоящего решения, так как анализ осуществляется не в режиме онлайн, а пост факту.

3. Применение к данным алгоритма коррекции базовой линии практически для всех архитектур нейронных сетей позволяет улучшить точность классификации. Так для лучшего

классификатора NN-4\_Conv1D+LSTM в зависимости от набора данных применение алгоритма улучшило точность классификации на 4-6%.

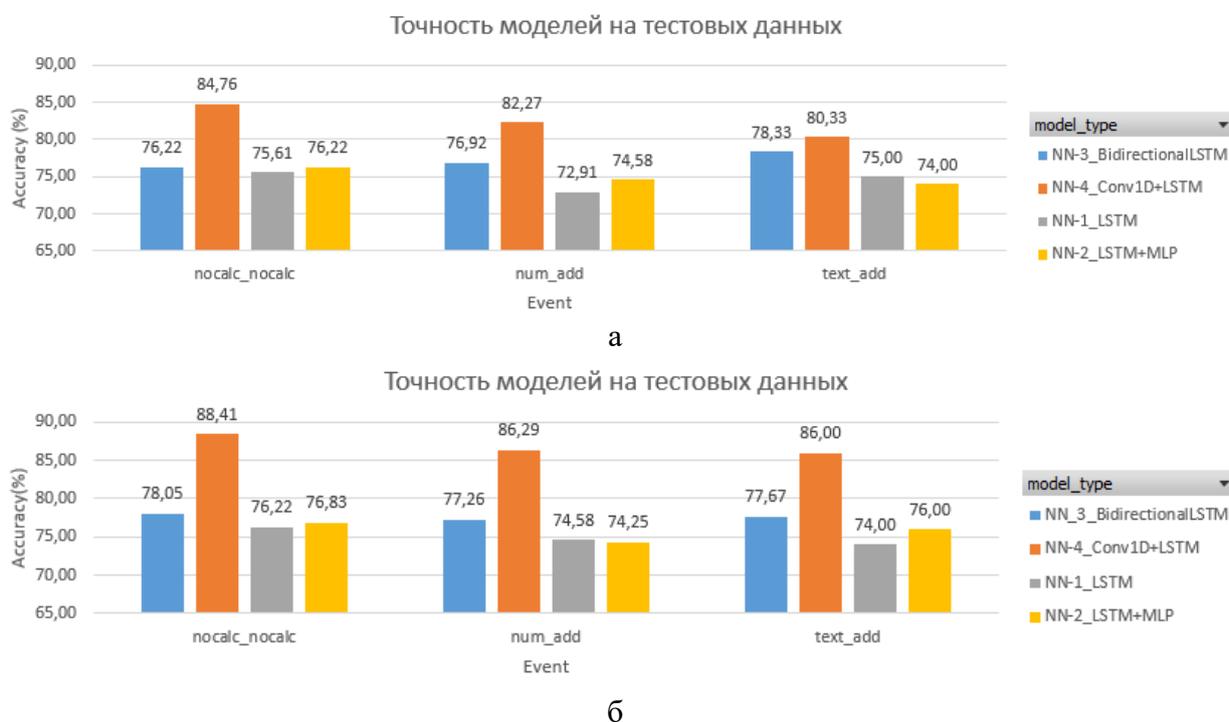


Рис. 5. Точность моделей искусственного интеллекта на данных: а) без применения алгоритма коррекции базовой линии, б) с применением алгоритма коррекции базовой линии  
Fig. 5. The accuracy of artificial intelligence models on fNIRS data: a) without a baseline correction algorithm, b) with a baseline correction algorithm

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что RNN в чистом виде не обеспечивают высокий уровень точности при выполнении задач классификации данных фБИК-спектроскопии при анализе возрастных различий в функционировании системы символической оценки количества. Модификации архитектур RNN за счет введения слоев свертки или двунаправленного анализа сигнала позволяют значительно повысить качество работы сети (точность классификации), в частности за счет расширения признакового пространства. При этом лучший результат по точности продемонстрировали сверточно рекуррентная нейронная сеть Conv1D+LSTM, за счет ввода в архитектуру слоев предварительной свертки сигнала. Это свидетельствует о том, что применение алгоритма свертки лучшим образом может учитывать нестационарную и многомерную природу анализируемого сигнала гемодинамической мозговой активации. Практика применения алгоритма коррекции базовой линии позволила повысить точность классификации RNN, таким образом удаление системного базового состояния сигнала позволило убрать информацию, не относящуюся к целевой. Однако, такое решение неизбежно ведет к удалению части полезной информации, связанной с реакцией на целевое событие. В дальнейших исследованиях будут спроектированы новые архитектуры нейронных сетей, которые должны будут обеспечить высокий уровень точности классификации без применения алгоритма коррекции базовой линии и некоторых этапов предварительной обработки сигнала, которые также частично удаляют из сигнала целевую информацию.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ № 22-28-02030 «Нейрокогнитивные механизмы символических числовых навыков».

### Список литературы

1. Feigenson L., Dehaene S., Spelke E. Core systems of number // Trends in cognitive sciences. – 2004. – Т. 8. – №. 7. – P. 307-314.
2. Quaresima V., Ferrari M. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for assessing cerebral cortex function during human behavior in natural/social situations: a concise review // Organizational Research Methods. – 2019. – Т. 22. – №. 1. – P. 46-68.
3. Cutini S., Moro S.B., Bisconti S. Functional near infrared optical imaging in cognitive neuroscience: an introductory review // Journal of Near Infrared Spectroscopy. – 2012. – Т. 20. – №. 1. – P. 75-92.
4. Sitnikova M.A., Malykh S.B. Functional near-infrared spectroscopy applications in developmental cognitive neuroscience // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. – 2021. – Т. 71. – №. 4. – P. 485-499.
5. Sirpal P. et al. Multimodal autoencoder predicts fNIRS resting state from EEG signals // Neuroinformatics. – 2022. –Т. 20. –№. 3. –P. 537-558.
6. Rojas R.F. et al. Pain assessment based on fnirs using bi-lstm rnns // 2021 10th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER). IEEE, 2021. – P. 399-402.
7. Eastmond C. et al. Deep learning in fNIRS: a review // Neurophotonics. – 2022. –Т. 9. –№. 4. – P. 041411-041411.
8. Yoo S.H., Woo S.W., Amad Z. Classification of three categories from prefrontal cortex using LSTM networks: fNIRS study //2018 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS). – IEEE, 2018. – P. 1141-1146
9. Hamid H. et al. Analyzing classification performance of fNIRS-BCI for gait rehabilitation using deep neural networks // Sensors. – 2022. – Т. 22. – №. 5. – P. 1932.
10. Mughal N.E. et al. EEG-fNIRS-based hybrid image construction and classification using CNN-LSTM // Frontiers in Neuroinformatics. – 2022. – Т. 16. – P. 873239.
11. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural computation. –1997. –Т. 9. –№. 8. – P. 1735-1780.
12. Wickramaratne S.D., Mahmud M.D.S. A Ternary Bi-Directional LSTM Classification for Brain Activation Pattern Recognition Using fNIRS //2020 5th International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS). IEEE, 2020. P. 202-207.
13. Gramfort A. et al. MEG and EEG data analysis with MNE-Python // Frontiers in neuroscience. 2013. P. 267.
14. Luke R. et al. Analysis methods for measuring passive auditory fNIRS responses generated by a block-design paradigm // Neurophotonics. –2021. – Т. 8. – №. 2. – P. 025008-025008.
15. Sitnikova M.A. et al. The neural correlates of exact calculation in word and numerical formats in low and high math performers: a fNIRS study // International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering & Education (IJCRSEE). –2023. –Т. 11. –№. 1.

### References

1. Feigenson L., Dehaene S., Spelke E. Core systems of number // Trends in cognitive sciences. – 2004. – Т. 8. – №. 7. – P. 307-314.
2. Quaresima V., Ferrari M. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for assessing cerebral cortex function during human behavior in natural/social situations: a concise review // Organizational Research Methods. – 2019. – Т. 22. – №. 1. – P. 46-68.
3. Cutini S., Moro S.B., Bisconti S. Functional near infrared optical imaging in cognitive neuroscience: an introductory review // Journal of Near Infrared Spectroscopy. – 2012. – Т. 20. – №. 1. – P. 75-92.
4. Sitnikova M.A., Malykh S.B. Functional near-infrared spectroscopy applications in developmental cognitive neuroscience // Journal of Higher Nervous Activity named after. I.P. Pavlova. 2021. – Т. 71. – №. 4. –P. 485-499.
5. Sirpal P. et al. Multimodal autoencoder predicts fNIRS resting state from EEG signals // Neuroinformatics. – 2022. –Т. 20. –№. 3. –P. 537-558.
6. Rojas R.F. et al. Pain assessment based on fnirs using bi-lstm rnns // 2021 10th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER). IEEE, 2021. – P. 399-402.
7. Eastmond C. et al. Deep learning in fNIRS: a review // Neurophotonics. – 2022. –Т. 9. –№. 4. – P. 041411-041411.

8. Yoo S.H., Woo S.W., Amad Z. Classification of three categories from prefrontal cortex using LSTM networks: fNIRS study //2018 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS). – IEEE, 2018. – P. 1141-1146
9. Hamid H. et al. Analyzing classification performance of fNIRS-BCI for gait rehabilitation using deep neural networks // Sensors. – 2022. – Т. 22. – №. 5. – P. 1932.
10. Mughal N.E. et al. EEG-fNIRS-based hybrid image construction and classification using CNN-LSTM // Frontiers in Neurorobotics. – 2022. – Т. 16. – P. 873239.
11. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural computation. –1997. –Т. 9. –№. 8. – P. 1735-1780.
12. Wickramaratne S.D., Mahmud M.D.S. A Ternary Bi-Directional LSTM Classification for Brain Activation Pattern Recognition Using fNIRS //2020 5th International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS). IEEE, 2020. P. 202-207.
13. Gramfort A. et al. MEG and EEG data analysis with MNE-Python // Frontiers in neuroscience. 2013. P. 267.
14. Luke R. et al. Analysis methods for measuring passive auditory fNIRS responses generated by a block-design paradigm // Neurophotonics. –2021. – Т. 8. – №. 2. – P. 025008-025008.
15. Sitnikova M.A. et al. The neural correlates of exact calculation in word and numerical formats in low and high math performers: a fNIRS study // International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering & Education (IJCRSEE). –2023. –Т. 11. –№. 1.

**Малых Сергей Борисович**, доктор психологических наук, профессор, академик Российской академии образования  
**Асадуллаев Рустам Геннадьевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

**Ситникова Мария Александровна**, кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры психологии

**Malykh Sergey Borisovich**, Doctor of Psychological Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Education  
**Asadullaev Rustam Gennadievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

**Sitnikova Maria Aleksandrovna**, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Psychology

УДК 004.934.5

DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-6

Смирнов И.З.  
Медведев А. А.  
Самигулин Т.Р.  
Комарова А.А.  
Тимошук-Бондарь А.И.  
Синько М.В.  
Лаушкина А.А.  
Гофман О.О., Басов О.О.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ  
И БИБЛИОТЕКИ ИНТЕРПРЕТИРУЕМОГО  
ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В ПРОЦЕССЕ  
ЕГО ОНЛАЙН-ПРОФАЙЛИНГА**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет ИТМО»,  
Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

*e-mail: oobasov@mail.ru*

**Аннотация**

Изучение индивидуально-психологических особенностей людей имеет важное значение в областях: образовании, менеджменте и управлении, обеспечении безопасности человека и сообществ. В решении задачи определения и анализа личностных особенностей существуют различные инструменты, однако они имеют ряд ограничений. Мы представляем решение, которое извлекает и с использованием машинного обучения анализирует признаки лица и речи человека из видеоряда, применимое для исследования восьми различных индивидуально-психологических характеристик в задаче цифрового онлайн-профайлинга. Пользователю предлагается использовать разработанную библиотеку Expert для получения новых характеристик путем применения и комбинации существующих ML-модулей для решения широкого класса задач.

**Ключевые слова:** машинное обучение; open source; мультимодальный анализ; вербальные и невербальные признаки

**Для цитирования:** Смирнов И.З., Медведев А. А., Самигулин Т.Р., Комарова А.А., Тимошук-Бондарь А.И., Синько М.В., Лаушкина А.А., Гофман О.О., Басов О.О. Разработка методов машинного обучения и библиотеки интерпретируемого предсказательного моделирования поведения человека в процессе его онлайн-профайлинга // Научный результат. Информационные технологии. – Т.8, №4, 2023. – С. 59-69. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-6

Smirnov I.Z.  
Medvedev A. A.  
Samigulin T.R.  
Komarova A.A.  
Timoshchuk-Bondar A.I.  
Sinko M.V., Laushkina A.A.  
Goffman O.O., Basov O.O.

**DEVELOPMENT OF MACHINE LEARNING METHODS  
AND A LIBRARY OF INTERPRETABLE PREDICTIVE  
MODELING OF HUMAN BEHAVIOR DURING HIS  
ONLINE PROFILING**

ITMO University, 49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

*e-mail: oobasov@mail.ru*

**Abstract**

The study of individual psychological characteristics of people is important in the areas of education, management and administration, ensuring the safety of individuals and communities. There are various tools for solving the problem of determining and analyzing personal

characteristics, but they have a number of limitations. We present a solution that extracts and uses machine learning to analyze human facial and speech features from video footage, applicable to the study of eight different individual psychological characteristics in an online digital profiling task. The user is invited to use the developed Expert library to obtain new characteristics by applying and combining existing ML modules to solve a wide class of problems.

**Keywords:** machine learning; open source; multimodal analysis; verbal and non-verbal signs

**For citation:** Smirnov I.Z., Medvedev A.A., Samigulin T.R., Komarova A.A., Timoshchuk-Bondar A.I., Sinko M.V., Laushkina A.A., Goffman O.O., Basov O.O. Development of machine learning methods and a library of interpretable predictive modeling of human behavior in the process of online profiling // Research result. Information technologies. – Т. 8, №4, 2023. – P. 59-69. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-6

## ВВЕДЕНИЕ

Вынужденный переход большинства коммуникаций в онлайн, связанный с пандемией коронавируса, и устойчивое продолжение (из-за осязаемого удобства) коммуникативного взаимодействия посредством технических средств определили переход в цифровое пространство и кадрового профайлинга. Между тем, не смотря на наблюдаемый рост объёма и интенсивности использования технических средств межличностной коммуникации, возможности анализа невербальных сигналов оказываются ограниченными, что существенно снижает эффективность онлайн-профайлинга. Это происходит как в силу объективных причин, снижающих качество передаваемой информации (потеря и искажение данных при передаче по инфокоммуникационным каналам), так и по причине высокой степени неопределенности относительно её невербального компонента (нечеткая картинка, ограниченный сектор обзора камеры, посторонние шумы в акустическом канале, искажения в условиях низкоскоростных каналов связи). Как следствие, преодоление этой проблемы требует развития интеллектуальных методов восполнения невербальной составляющей поведения человека в ходе онлайн-профайлинга, исходя из объективных материалов (данных, получаемым по невербальным каналам коммуникации и характеризующих текущие состояния собеседников и (или) результатах моделирования самого такого взаимодействия), и создания интерпретируемых предсказательных моделей такого поведения.

Это позволит, в свою очередь, создавать инструменты оперативной психодиагностики (определение психотипа человека) и определения его искренности (неинвазивная детекция лжи), являющиеся важными в таких сферах как психология, медицина, менеджмент, образование и коммуникации [1, 2]. Например, для мониторинга и оценки психоэмоционального статуса обучающихся и сотрудников и их компетенций, предупреждения развития посттравматического стрессового расстройства, определения психологического и социального благополучия людей [3-6]. Предметом исследования в подобных областях чаще всего выступают личностные и профессиональные характеристики человека [7]. Например, агрессия может влиять на стиль управления, что, в конечном счете, сказывается на уровне здоровья сотрудников и текучести кадров [8]. Коммуникационные характеристики позволяют решать социально значимые и личностно-ориентированные задачи [9]. Такая характеристика как конгруэнтность подразумевает согласованность внутреннего состояния самого человека и отсутствие дискомфорта у оппонента, в то время как коммуникативная уклончивость, проявляемая в том числе через иронию, сарказм и ложь, имеет обратный эффект [10]. В критических ситуациях уверенность играет большую роль в процессе принятия решений [11]. Уверенность представляется как оценка личностного опыта и знаний, направленных на достижение высокого результата в деятельности [12]. Важно при этом учитывать наличие у индивида когнитивных искажений, оказывающих влияние на его поведение в ситуациях выбора. Когнитивные искажения относятся к систематическим ошибкам в мышлении и восприятии человеком реальности. Они могут влиять на принятие решений, формирование убеждений и возникать из-за предубеждений, эмоциональных переживаний и недостатка информации. Психологические эффекты, ограничивающие рациональное поведение индивида,

существенно влияют на психологический климат в коллективе и экономические показатели [13]. Таким образом, указанные характеристики являются качественными критериями достижения результатов в профессиональной и личной деятельности человека. Следовательно, существует потребность в эффективных и комплексных решениях, позволяющих извлекать и анализировать признаки для оценки указанных характеристик.

Мы представляем методы и собственную библиотеку, которые позволяют анализировать указанные характеристики каждого человека, присутствующего на видео. Отличительной особенностью библиотеки являются уже встроенные механизмы предобработки и интерпретируемость признаков, извлекаемых из многомодальных данных. Это обеспечивает низкий порог входа для работы с данной библиотекой. Кроме этого, библиотека содержит модули для анализа восьми различных индивидуально-психологических характеристик человека в задаче оценки состоятельности экспертного мнения. Состоятельность экспертного мнения представляет собой желательную оценку суждений на основе мнения человека, обладающего специальными знаниями, с учетом его индивидуально-психологических особенностей. В данной статье мы описываем структуру разработанной библиотеки и её модулей. В разделе 1 дается обзор инструментов и библиотек, направленных на изучение индивидуально-психологических особенностей человека. В разделе 2 представлена подробная информация о реализованных модулях предлагаемой библиотеки и используемых в них методах машинного обучения. Мы завершаем статью изложением обсуждения и основных выводов.

## ***1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ***

Традиционно алгоритмы машинного обучения работали только с одной модальностью, однако при работе с данными, которые содержат информацию разных модальностей, этого может быть недостаточно. Примером таких данных являются видеозаписи, когда возможен анализ видео, аудио каналов и текста. Так, например, в работе использование вербальных признаков позволило снизить количество ложных классификаций в решении задачи детекции агрессивной речи в сравнении с решением, учитывающим только текст [14]. Применение мультимодального подхода требует использования различных техник и моделей. В предлагаемом нами подходе используются сверточные нейронные сети, сети-трансформеры, имеющие ряд преимуществ в задаче мультимодального анализа. К преимуществам относятся инвариантность к сдвигам и искажениям, механизм внимания, учитывающий взаимосвязи между различными элементами входных данных, гибкая структура и возможность параллельной обработки данных, а также универсальность применения в различных задачах [15].

Для анализа вербальных и невербальных характеристик были созданы различные библиотеки и фреймворки. Одним из таких инструментов является EmoPy, которая решает задачу классификации человеческих эмоций по изображению их лиц [16]. Также существует фреймворк MediaPipe, который позволяет детектировать лица, извлекать лицевые ориентиры и ключевые точки тела и пальцев рук, что позволяет описывать мимические изменения и жесты человека [17]. Для предобработки текстовых данных разработана библиотека TextBlob, позволяющая проводить анализ тональности, классификацию и разбор морфем [18]. H-MMER является примером мультимодального фреймворка для распознавания эмоций по нескольким характеристикам: аудио, видео, текст, язык тела [19]. Большинство решений специализированы на выделении частных характеристик, так, например, Detoxify позволяет классифицировать токсичные высказывания [20]. Для анализа аудиоканала можно выделить набор инструментов Praat [21]. Praat позволяет получить широкий набор речевых характеристик, а также решать более высокоуровневые задачи, такие как распознавание эмоций, описание коммуникативных способностей, речевые заболевания.

Перечисленные инструменты имеют ряд преимуществ в решении узконаправленных задач, однако недостаточная обобщающая способность, проблемы совместимости и высокий порог входа затрудняют работу. По этой причине, набор инструментов, предоставляемый библиотекой Expert, позволяет использовать характеристики, получаемые при анализе видеозаписи, в широком спектре задач.

## 2 МЕТОДОЛОГИЯ

Библиотека Expert предназначена для комплексного анализа видеозаписи по восьми характеристикам, позволяющим оценить профессиональные качества человека. Библиотека включает в себя инструментарий для предобработки входных данных и извлечения частных характеристик, представленные на рисунке 1. Модули извлечения характеристик независимы друг от друга, что позволяет применять их как в общем пайплайне, так и изолированно друг от друга.

Модули предобработки позволяют разделить видеозапись на независимые фрагменты, содержащие уникальных спикеров. Это происходит за счет процесса диаризации и сопоставления сегментов аудиоканала с кадрами, полученными на этапе анализа видеоканала, что позволяет анализировать выступление каждого участника по отдельности. Далее представлено описание каждого из модулей библиотеки Expert.

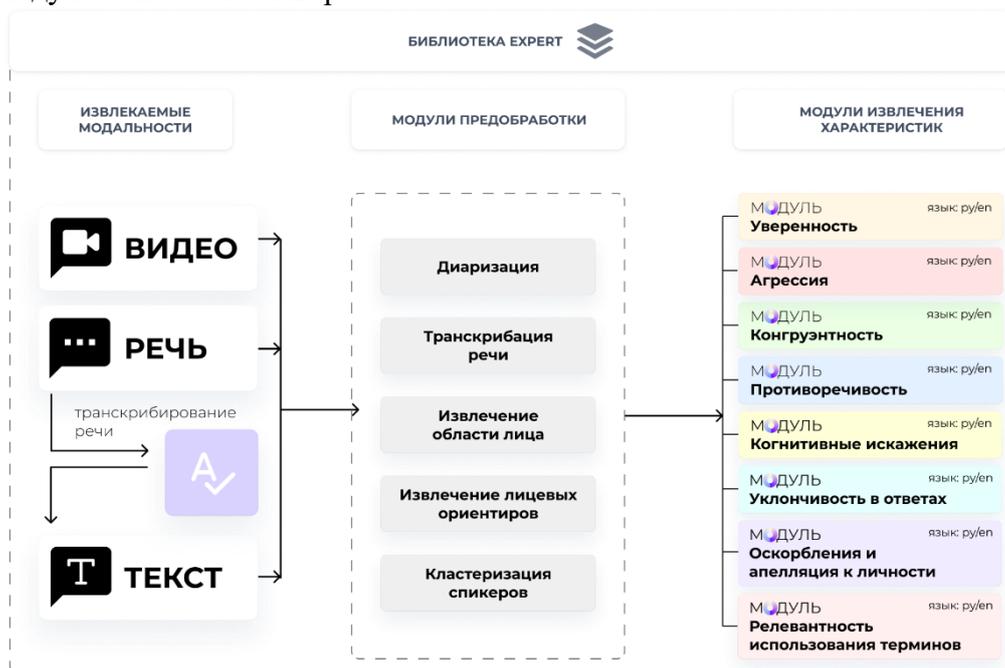


Рис. 1. Схема структуры библиотеки Expert

Fig. 1. Expert library structure diagram

### 2.1 МОДУЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УВЕРЕННОСТИ

Модуль определения уверенности предназначен для оценки уровня уверенности говорящего. Модуль позволяет извлекать из видео последовательности кадров и аудио фреймов длительностью 10 секунд. Работа модуля состоит из следующих этапов:

- 1) Анализируется мультимодальный поток видео с помощью нейронной сети-трансформер [22].
- 2) Извлекаются векторы мимики лица с помощью сверточной сети BlazeFace с модулем Face Mesh [23].
- 3) Путем обработки аудиоканала формируется вектор аудиопризнаков.
- 4) Аудио и видео признаки объединяются по размерности признаков, формируя поток мультимодальных признаков.
- 5) К этому потоку добавляется обучаемый вектор, передаваемый в сеть-трансформер.

На выходе сети формируется вектор, содержащий информацию обо всех элементах последовательности. Модуль использует полученный вектор для нормализованной оценки уровня уверенности спикера в каждый момент выступления, обобщая опыт вербальных и невербальных характеристик.

## 2.2 МОДУЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АГРЕССИИ

Модуль определения агрессии предназначен для оценки уровня агрессии говорящего. Агрессия определяется на основе двух частных показателей: внутренней и внешней агрессии. Внутренняя агрессия – разновидность агрессивного поведения, при котором враждебные действия по каким-либо причинам не могут быть обращены на раздражающий объект и направляются человеком на самого себя, в то время как внешняя агрессия направлена на окружающих.

Детекция агрессии осуществляется исключительно на основе текстовых данных, то есть вербальных признаков. Согласно проведенным исследованиям, невербальные признаки могут указывать на наличие агрессии у человека, даже если вербальные признаки отсутствуют [24]. Модуль направлен на выделение признаков, на основе которых возможно судить о наличии взаимосвязи между невербальными признаками и уровнем агрессии (рис. 2).



Рис. 2. Перечень извлекаемых признаков модуля агрессии  
Fig. 2. List of extracted features of the aggression module

Для определения оскорблений и угроз были обучены две модели на основе архитектуры нейронной сети BERT [25]. Модели дообучались для детектирования угроз и оскорблений. Чтобы выявлять обесценивания, к словам применялся стеммер для выделения их основы, а затем проверялось наличие ласкательно-уничижительных суффиксов.

Модуль агрессии способен определять агрессию у человека по тексту, который он произносит, а также выделять дополнительные невербальные характеристики, которые могут говорить об агрессии человека.

## 2.3 МОДУЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНГРУЭНТНОСТИ

Модуль определения конгруэнтности предназначен для оценки уровня согласованности эмоций (злость, нейтральное состояние, радость) спикера по аудио-, видео- и текстовому каналам информации. Модуль определения конгруэнтности принимает на вход видео выступления человека, из которого извлекаются:

1) Последовательности кадров для детектирования координат лица человека с помощью сверточной нейронной сети BlazeFace и дальнейшей векторизацией и классификацией сверточной нейронной сетью DAN [26].

2) Аудио фрагменты, преобразованные в MFCC, для предсказания эмоций аудио канала с помощью сверточной нейронной сети [27].

3) Транскрибированный текст речи, для дальнейшей классификации эмоций при помощи модели-трансформера BERT [25].

Полученные значения эмоциональных состояний трех каналов представляются в виде матрицы размером  $3 \times 3$ , внутри которой рассчитывается стандартное отклонение для отдельных эмоций и отдельных каналов.

Минимальная разница между средним значением эмоций и текущим свидетельствует о согласованности эмоций по каналам, а высокое - о рассогласованности между эмоциональными состояниями человека.

#### **2.4 МОДУЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСОГЛАСОВАННОСТИ ВЫСКАЗЫВАНИЙ**

Модуль определения несогласованности высказываний позволяет оценить релевантность текста речи человека эталонному высказыванию. В основе модуля лежит модель BERT, обученная на решение задачи Natural Language Inference (оценки логических взаимосвязей) [28]. Модель получает на вход пару высказываний и возвращает один из трех классов:

- 1) Следствие.
- 2) Нейтрально.
- 3) Противоречие.

При анализе видеозаписи выступления на вход поступает набор слов, полученных на этапе транскрибации (модули предобработки), из которых формируются высказывания и текст, необходимый для оценки противоречивости. Данный модуль может работать независимо от предобработки, в таком случае требуется определить набор высказываний для сравнения.

#### **2.5 МОДУЛЬ ВЫЯВЛЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ИСКАЖЕНИЙ**

Алгоритмы выявления когнитивных искажений основываются как на классических методах машинного обучения, так и на глубоких лингвистических моделях, позволяющих производить дихотомическое и мультиклассовое разделение исходных выражений на категории, содержащие или нет признаки иррационального мышления [29, 30, 31].

Библиотека Expert позволяет разработчикам детектировать 6 категорий когнитивных искажений в тексте речи человека [32]:

- 1) персонализация;
- 2) эмоциональное мышление;
- 3) чрезмерное обобщение;
- 4) навешивание ярлыков;
- 5) долженствование;
- 6) катастрофизация.

Для классификации когнитивных искажений используется архитектура BERT [25]. Модель была обучена на текстовом корпусе из 40 тысяч предложений на русском языке, содержащих и не содержащих когнитивные искажения. Модуль позволяет извлекать фразы из текста речи человека и получать вероятностную оценку наличия или отсутствия признаков искажений для каждого анализируемого интервала.

Функционал модуля позволяет оценить вероятность возникновения и склонность к проявлению отдельных категорий когнитивных искажений.

#### **2.6 МОДУЛЬ УКЛОНЧИВОСТИ**

Модуль уклончивости предназначен для определения количества уклончивых ответов выбранного участника диалога. Он работает в 3 этапа: в первую очередь из контекста выделяется ответ на вопрос. Контекстно-ориентированные вопросно-ответные модели, помимо позиций начала и конца ответа, возвращают вероятность того, что заключенный между ними текст является ответом на вопрос. На втором этапе определяется метка ответа по токенизированным текстам вопроса и ответа. Далее по значению вероятности и полученной метке ответам присваивается класс – уклончивый/не уклончивый.

Для выделения вопроса из контекста и определения меток ответов использовались языковые модели BERT, дообученные для решения поставленных задач [25]. В качестве модели предсказания классов уклончивости/не уклончивости была выбрана модель Random Forest [33].

В работе использовалось несколько датасетов, состоящих из примеров пар вопросов и ответов с соответствующими метками. Первый датасет был собран вручную, второй получен из работы [34].

Модуль получает на вход транскрибацию диалога, для каждого спикера выделяется список адресованных ему вопросов и соответствующих ответов. Затем данные передаются в модели, где определяются уклончивые ответы. Для каждого спикера возвращается количество прямых, нейтральных и уклончивых ответов, где метка нейтрального класса присваивается ответам, для которых невозможно определить класс.

Предлагаемый метод, основанный на использовании сетей-трансформеров, показывает хорошие результаты в определении уклончивости ответов благодаря способности моделей учитывать контекст.

## **2.7 МОДУЛЬ ВЫДЕЛЕНИЯ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ**

Модуль предназначен для выделения специфических профессиональных терминов из текста и реализован с помощью словарного подхода. Для составления словарей из открытых источников были собраны и приведены к нормальной словоформе профессиональные термины в различных областях. Также с помощью частотных словарей были отфильтрованы общеупотребимые слова, которые не являются специфическими терминами. В итоге были собраны словари для английского языка, состоящие из 660 тысяч терминов, и для русского языка из 420 тысяч терминов.

Модуль приводит исходный текст к нормальной словоформе и генерирует n-граммы. Далее с помощью пересечения множества токенов и n-грамм со словарями выделяются специфические термины в тексте.

## **2.8 МОДУЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСКОРБЛЕНИЙ И САРКАЗМА**

Модуль определения оскорблений и сарказма предназначен для детектирования предложений, содержащих оскорбления или сарказм.

На вход модуль принимает текст или транскрибированную речь выступающего. Производится предобработка текста, после чего текст токенизируется на n-граммах длины от 1 до 13 включительно, что позволяет сохранять контекст. В качестве предсказательной модели была выбрана логистическая регрессия.

Для данной задачи был собран датасет из 30 тысяч предложений, включающих в себя 15 тысяч предложений класса “отсутствие сарказма и оскорблений”, 8 тысяч предложений, содержащих оскорбления, и 7 тысяч предложений, содержащих сарказм.

Предлагаемый подход сочетает в себе гибкость, интерпретируемость и способность учитывать контекст, что делает его эффективным инструментом для решения данной задачи.

## **ВЫВОДЫ**

В рамках данной работы были разработаны методы машинного обучения и библиотека интерпретируемого предсказательного моделирования поведения человека в процессе его онлайн-профайлинга.

В качестве дальнейшей работы предполагается:

1) провести ряд экспериментов для выявления агрессии на основании невербальных признаков, а также внедрить определение агрессии по невербальным признакам в библиотеку;

2) расширить число анализируемых эмоций в задаче определения конгруэнтности, а также увеличить точность детектирования расхождения эмоций по различным каналам.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, соглашение № 22-21-00604.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный инструментарий позволяет получать восемь высокоуровневых независимых характеристик и проводить предобработку видеозаписи выступлений, что предоставляет возможность получать данные для исследований, связанных с изучением вербальных и невербальных характеристик, анализом контента в рамках одной библиотеки.

Учитывая данные особенности, после выпуска с открытым исходным кодом, нашим основным направлением будет поддержка сообщества, включая стороннюю разработку в области динамического анализа видеоконтента и увеличение количества поддерживаемых языков, а также реализация в виде пользовательского интерфейса, который обеспечит низкий порог входа. Кроме того, мы продолжим совершенствовать инструментарий, чтобы упростить пользователям оценку производительности и качества.

## Список литературы

1. Goupil L., Ponsot E., Richardson D. et al. Listeners' perceptions of the certainty and honesty of a speaker are associated with a common prosodic signature // *Nat Commun.* 2021. – №12.
2. Teixeira J. P., Oliveira C., Lopes C. Vocal Acoustic Analysis – Jitter, Shimmer and HNR Parameters // *Procedia Technology.* – 2013. – V. 9. – P. 1112-1122.
3. Kirillov S., Lukyanov D. Evaluation of psycho-emotional status of robotic system operator in the Arctic // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* – 2019. – № 302.
4. Rammstedt B., Danner D., Lechner C. Personality, competencies, and life outcomes: results from the German PIAAC longitudinal study // *Large-scale Assess Educ* 5. – 2017. – №2.
5. Anbesaw T., Zenebe Y., Asmamaw A., et. al. Post-traumatic stress disorder and associated factors among people who experienced traumatic events in Dessie town, Ethiopia, 2022: A community based study // *Frontiers in Psychiatry.* 2022. – №13.
6. Reeve D. Psycho-Emotional Disablism: The Missing Link? // *Routledge Handbook of Disability Studies* Edition: 1st Chapter: 7. 2012.
7. Le Duc T., Huynh S., Vu T., et. al. Personality Traits and Aggressive Behavior in Vietnamese Adolescents // *Psychology Research and Behavior Management.* – 2023. – №16. – P. 1987-2003.
8. Cheng S., Dawson J., Thamby J., et al. How do aggression source, employee characteristics and organisational response impact the relationship between workplace aggression and work and health outcomes in healthcare employees? A cross-sectional analysis of the National Health Service staff survey in England // *BMJ Open.* 2020. – №10(8).
9. Соколова М.С. Адаптация к собеседнику как составляющая позитивной коммуникации: конститутивные признаки // *Актуальные проблемы филологии и педагогической лингвистики.* 2017. – №2(26).
10. Данилин М. В. Методика обучения аудированию в условиях мультимодальной коммуникации с использованием аутентичных аудиовидеоматериалов (английский язык, среднее общее образование): дис. канд. пед. наук: 5.8.2. – М., 2021. – 173 с.
11. Зобков В.А. Уверенность человека в себе в ситуациях принятия решения // *Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика.* 2018. – №2.
12. Ромек В.Г. Уверенность в себе как социально-психологическая характеристика личности: автореф. дис. канд. соц. псих. наук: 19.00.05. – Ростов-на-Дону, 1997. – 12 с.
13. Кашапова Э.Р., Рыжкова М. В. Когнитивные искажения и их влияние на поведение индивида // *Вестн. Том. гос. ун-та. Экономика.* 2015. – №2(30).
14. Aneri R., Sonali J. Emotion Based Hate Speech Detection using Multimodal Learning // *arXiv Computation and Language.* 2022.
15. Jianyuan G., Kai H., Han W., et al. CMT: Convolutional Neural Networks Meet Vision Transformers // *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).* 2022. – P. 12175-12185.
16. EmoPy: a machine learning toolkit for emotional expression // *thoughtworks* URL: <https://www.thoughtworks.com/> (дата обращения: 13.07.2023).

17. Camillo L., Jiuqiang T., Hadon N., et al. EmoPy: a machine learning toolkit for emotional expression // arXiv Distributed, Parallel, and Cluster Computing. 2019.
18. TextBlob: Simplified Text Processing // TextBlob URL: <https://textblob.readthedocs.io/en/dev/> (дата обращения: 13.07.2023).
19. Razzaq M.A., Hussain J., Bang J., et. al. A Hybrid Multimodal Emotion Recognition Framework for UX Evaluation Using Generalized Mixture Functions. *Sensors* 23. – 2023. – №23(9).
20. Detoxify // github URL: <https://github.com/unitaryai/detoxify> (дата обращения: 13.07.2023).
21. Boersma P., Van Heuven V. Speak and unSpeak with PRAAT // *Glott International*. – V. 5. – №9/10. – P. 341-347.
22. Gedas B., Heng W., Lorenzo T. Is Space-Time Attention All You Need for Video Understanding? // arXiv Computer Vision and Pattern Recognition. 2021.
23. Grishchenko I., Ablavatski A., Kartynnik Y., et. al. Attention Mesh: High-fidelity Face Mesh Prediction in Real-time // arXiv Computer Vision and Pattern Recognition. 2022.
24. Samigulin T.R., Smirnov I.Z., Laushkina A.A. Determination of markers of aggressive human behavior based on analysis of audio and text channels // *Scientific result. Information Technology*. – 2022. – Т.7. – No. 2. – pp. 56-61.
25. Jacob D., Ming-Wei C., Kenton L., Kristina T. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // arXiv preprint arXiv:1810.04805. 2019.
26. Wen Z., Lin W., Wang T., Xu G. Distract Your Attention: Multi-Head Cross Attention Network for Facial Expression Recognition // *Biomimetics* 8. 2023. – №2. – P. 199.
27. Peng Z., Lu Y., Pan S., Liu Y. Efficient Speech Emotion Recognition Using Multi-Scale CNN and Attention // ICASSP 2021 – 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – 2021. – P. 3020-3024.
28. Amit G., Noura Al M., Steven B. ExBERT: An External Knowledge Enhanced BERT for Natural Language Inference // arXiv Computation and Language. 2021.
29. Shickel B., Scott S., Martin H., at. al. Automatic Detection and Classification of Cognitive Distortions in Mental Health Text // IEEE 20th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE). 2019.
30. Xuejiao Z., Chunyan M., Zhenchang X. Identifying Cognitive Distortion by Convolutional Neural Network based Text Classification // *International Journal of Information Technology*. 2017. – №23.
31. Simms T., Ramstedt C., Rich M., et.al. Detecting Cognitive Distortions Through Machine Learning Text Analytics // 2017 IEEE International Conference on Healthcare Informatics (ICHI). – 2017. – P. 508-512.
32. Beck A. Cognitive therapy and the emotional disorders // New York: New American Library. 1979. – P. 374.
33. Breiman L. Random Forests // *Machine Learning*. 2001. – №45. – P. 5–32.
34. Ferracane E., Durrett G., Li J., et. al. Did they answer? Subjective acts and intents in conversational discourse // *Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*. 2021. – P. 1626–1644.

### References

1. Goupil L., Ponsot E., Richardson D. et al. Listeners' perceptions of the certainty and honesty of a speaker are associated with a common prosodic signature // *Nat Commun*. 2021. – №12.
2. Teixeira J. P., Oliveira C., Lopes C. Vocal Acoustic Analysis – Jitter, Shimmer and HNR Parameters // *Procedia Technology*. – 2013. – V. 9. – P. 1112-1122.
3. Kirillov S., Lukyanov D. Evaluation of psycho-emotional status of robotic system operator in the Arctic // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – № 302.
4. Rammstedt B., Danner D., Lechner C. Personality, competencies, and life outcomes: results from the German PIAAC longitudinal study // *Large-scale Assess Educ* 5. – 2017. – №2.
5. Anbesaw T., Zenebe Y., Asmamaw A., et. al. Post-traumatic stress disorder and associated factors among people who experienced traumatic events in Dessie town, Ethiopia, 2022: A community based study // *Frontiers in Psychiatry*. 2022. №13.
6. Reeve D. Psycho-Emotional Disablism: The Missing Link? // *Routledge Handbook of Disability Studies* Edition: 1st Chapter: 7. 2012.
7. Le Duc T., Huynh S., Vu T., et. al. Personality Traits and Aggressive Behavior in Vietnamese Adolescents // *Psychology Research and Behavior Management*. – 2023. – №16. – P. 1987-2003.
8. Cheng S., Dawson J., Thamby J., et al. How do aggression source, employee characteristics and organisational response impact the relationship between workplace aggression and work and health outcomes in

healthcare employees? A cross-sectional analysis of the National Health Service staff survey in England // *BMJ Open*. 2020. – №10(8).

9. Sokolova M.S. Adaptation to the interlocutor as a component of positive communication: constitutive features // *Current problems of philology and pedagogical linguistics*. 2017. No. 2 (26).

10. Danilin M.V. Methods of teaching listening in conditions of multimodal communication using authentic audio-video materials (English, secondary general education): dis. Ph.D. ped. Sciences: 5.8.2. - М., 2021. – 173 p.

11. Zobkov V. A. A person's self-confidence in decision-making situations // *Bulletin of Kostroma State University. Series: Pedagogy. Psychology. Sociokinetics*. – 2018. – No. 2.

12. Romek V. G. Self-confidence as a socio-psychological characteristic of personality: abstract. dis. Ph.D. social psycho. Sciences: 19.00.05. - Rostov-on-Don, 1997. – 12 p.

13. Kashapova E. R., Ryzhkova M. V. Cognitive distortions and their influence on individual behavior // *Vestn. Volume. state un-ta. Economy*. – 2015. – No. 2 (30).

14. Aneri R., Sonali J. Emotion Based Hate Speech Detection using Multimodal Learning // *arXiv Computation and Language*. 2022.

15. Jianyuan G., Kai H., Han W., et al. CMT: Convolutional Neural Networks Meet Vision Transformers // *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2022. – P. 12175-12185.

16. EmoPy: a machine learning toolkit for emotional expression // *thoughtworks* URL: <https://www.thoughtworks.com/> (data access: 13.07.2023).

17. Camillo L., Jiuqiang T., Hadon N., et al. EmoPy: a machine learning toolkit for emotional expression // *arXiv Distributed, Parallel, and Cluster Computing*. 2019.

18. TextBlob: Simplified Text Processing // *TextBlob* URL: <https://textblob.readthedocs.io/en/dev/> (data access: 13.07.2023).

19. Razzaq M.A., Hussain J., Bang J., et. al. A Hybrid Multimodal Emotion Recognition Framework for UX Evaluation Using Generalized Mixture Functions. *Sensors* 23. 2023. №23(9).

20. Detoxify // *github* URL: <https://github.com/unitaryai/detoxify> (data access: 13.07.2023).

21. Boersma P., Van Heuven V. Speak and unSpeak with PRAAT // *Glott International*. – V. 5. – №9/10. – P. 341-347.

22. Gedas B., Heng W., Lorenzo T. Is Space-Time Attention All You Need for Video Understanding? // *arXiv Computer Vision and Pattern Recognition*. 2021.

23. Grishchenko I., Ablavatski A., Kartynnik Y., et. al. Attention Mesh: High-fidelity Face Mesh Prediction in Real-time // *arXiv Computer Vision and Pattern Recognition*. 2022.

24. Samigulin T.R., Smirnov I.Z., Laushkina A.A. Determination of markers of aggressive human behavior based on analysis of audio and text channels // *Scientific result. Information Technology*. – 2022. – Т.7. – No. 2. – pp. 56-61.

25. Jacob D., Ming-Wei C., Kenton L., Kristina T. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // *arXiv preprint arXiv:1810.04805*. 2019.

26. Wen Z., Lin W., Wang T., Xu G. Distract Your Attention: Multi-Head Cross Attention Network for Facial Expression Recognition // *Biomimetics* 8. 2023. – №2. – P. 199.

27. Peng Z., Lu Y., Pan S., Liu Y. Efficient Speech Emotion Recognition Using Multi-Scale CNN and Attention // *ICASSP 2021 – 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. – 2021. – P. 3020-3024.

28. Amit G., Noura Al M., Steven B. ExBERT: An External Knowledge Enhanced BERT for Natural Language Inference // *arXiv Computation and Language*. 2021.

29. Shickel B., Scott S., Martin H., at. al. Automatic Detection and Classification of Cognitive Distortions in Mental Health Text // *IEEE 20th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)*. 2019.

30. Xuejiao Z., Chunyan M., Zhenchang X. Identifying Cognitive Distortion by Convolutional Neural Network based Text Classification // *International Journal of Information Technology*. 2017. – №23.

31. Simms T., Ramstedt C., Rich M., et.al. Detecting Cognitive Distortions Through Machine Learning Text Analytics // *2017 IEEE International Conference on Healthcare Informatics (ICHI)*. – 2017. – P. 508-512.

32. Beck A. Cognitive therapy and the emotional disorders // *New York: New American Library*. 1979. – P. 374.

33. Breiman L. Random Forests // *Machine Learning*. 2001. – №45. – P. 5–32.

34. Ferracane E., Durrett G., Li J., et. al. Did they answer? Subjective acts and intents in conversational discourse // *Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*. 2021. – P. 1626–1644.

**Смирнов Иван Захарович**, аспирант, инженер Национального центра когнитивных разработок  
**Медведев Анатолий Андреевич**, аспирант, инженер Национального центра когнитивных разработок  
**Самигулин Тимур Русланович**, аспирант, инженер Национального центра когнитивных разработок  
**Комарова Алёна Алексеевна**, студент 2-го курса магистратуры  
**Тимошук-Бондарь Артём Игоревич**, студент 4-го курса бакалавриата  
**Синько Михаил Витальевич**, аспирант, инженер Национального центра когнитивных разработок  
**Лаушкина Анастасия Александровна**, аспирант, инженер Национального центра когнитивных разработок  
**Гофман Ольга Олеговна**, кандидат психологических наук, доцент, старший научный сотрудник Национального центра когнитивных разработок  
**Басов Олег Олегович**, доктор технических наук, доцент, профессор факультета цифровой трансформации

**Smirnov Ivan Zakharovich**, graduate student, engineer of the National Center for Cognitive Development  
**Medvedev Anatoly Andreevich**, graduate student, engineer at the National Center for Cognitive Development  
**Samigulin Timur Ruslanovich**, graduate student, engineer at the National Center for Cognitive Development  
**Komarova Alena Alekseevna**, 2nd year master's student  
**Timoshchuk-Bondar Artyom Igorevich**, 4th year undergraduate student  
**Sinko Mikhail Vitalievich**, graduate student, engineer at the National Center for Cognitive Development  
**Laushkina Anastasia Alexandrovna**, graduate student, engineer of the National Center for Cognitive Development  
**Goffman Olga Olegovna**, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the National Center for Cognitive Research  
**Basov Oleg Olegovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Faculty of Digital Transformation

УДК 004.93

DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-7

Жихарев А.Г.<sup>1</sup>  
Гармашев М.А.<sup>2</sup>  
Резников Н.Г.<sup>2</sup>  
Фуников А.Д.<sup>2</sup>

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ  
БУДУЩЕГО – ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ (IOT)**

- <sup>1</sup>) Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
ул. Костюкова, 46, г. Белгород, 308012, Россия  
<sup>2</sup>) Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия

*e-mail: garmashev@bsu.edu.ru*

**Аннотация**

В работе рассматривается краткий обзор перспективных направлений использования технологии интернета вещей (IoT). Автором приводится краткий анализ динамики рынка технологии, описывается общий процесс работы IoT, приводится перечень перспективных направлений развития технологии с учетом технических достоинств и недостатков. В заключении автор указывает, что технология IoT является востребованной и перспективной, однако требует грамотного подхода в сфере интегрирования системы безопасности, сохранности персональных данных и мониторинга защиты от сбоев.

**Ключевые слова:** информация; аналитика; интернет; вещи; IOT; устройства; данные; интернет вещи; мониторинг; автоматизация; искусственный интеллект; датчики

**Для цитирования:** Жихарев А.Г., Гармашев М.А., Резников Н.Г., Фуников А.Д. Информационно-аналитическая технология будущего – Интернет вещей (IoT) // Научный результат. Информационные технологии. – Т.8, №4, 2023. – С. 70-78. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-7

Zhikharev A.G.<sup>1</sup>  
Garmashev M.A.<sup>2</sup>  
Reznikov N.G.<sup>2</sup>  
Funikov A.D.<sup>2</sup>

**INFORMATION AND ANALYTICAL TECHNOLOGY  
OF THE FUTURE - INTERNET OF THINGS (IOT)**

- <sup>1</sup>) Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia  
<sup>2</sup>) Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

*e-mail: garmashev@bsu.edu.ru*

**Abstract**

The work provides a brief overview of promising areas for using Internet of Things (IoT) technology. The author provides a brief analysis of the dynamics of the technology market, describes the general process of IoT operation, and provides a list of promising areas for technology development, taking into account the advantages and disadvantages. In conclusion, the author points out that IoT technology is promising, but requires a competent approach in the field of integrating a security system, protecting personal data and monitoring protection against failures.

**Keywords:** information; analytics; Internet; things; IOT; devices; data; Internet of things; monitoring; automation; artificial intelligence; sensors

**For citation:** Zhikharev A.G., Garmashev M.A., Reznikov N.G., Funikov A.D. Information and analytical technology of the future – Internet of things (IOT) // Research result. Information technologies. – Т.8, №4, 2023. – P. 70-78. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-7

## **ВВЕДЕНИЕ**

Internet of Things (IoT) – это концепция, которая описывает сеть физических устройств, соединенных между собой и с интернетом. Технологию IoT (интернет вещей) описал и предложил Кевин Эштон в 1999 году, когда работал в компании Procter & Gamble. В своей работе он описал идею о подключении физических объектов к интернету для сбора и обмена данными между ними [1]. С этого момента пошло развитие данной концепции и дальнейшее развитие и совершенствование технологии IoT. Подключенные устройства могут быть разнообразными: от бытовых предметов, таких как холодильники и умные дома, до промышленного оборудования, транспортных средств и медицинских устройств. Цель IoT заключается в том, чтобы позволить устройствам взаимодействовать друг с другом и с людьми, собирать и обмениваться данными на основе имеющихся датчиков и образов, и делать нашу жизнь более удобной и производительной. Прогнозируется, что к 2023 году будет более 30 миллиардов подключенных умных устройств на уровне мирового рынка. Компания J'son & Partners Consulting опубликовала результаты исследования российского и мирового рынков интернета вещей (Internet of Thing, IoT) и межмашинных коммуникаций (M2M). По предварительным оценкам аналитиков объем российского рынка IoT в 2021 году составил 93,5 млрд руб., количество подключенных устройств увеличилось на 16% и достигло 29,6 млн. В 2025 году, по прогнозам J'son & Partners Consulting, число подключенных устройств превысит 62 млн, а объем рынка в денежном выражении составит 183,5 млрд руб. Это означает, что ежегодно оборот рынка IoT будет расти в среднем на 21%.

Процесс работы IoT представляет собой алгоритм и состоит из нескольких этапов:

1. Настройка устройств, таких как сенсоры, микроконтроллеры и актуаторы, которые используются для сбора данных или управления другими устройствами. Они могут быть встроены в различные объекты или быть как часть носимых устройств.

2. Соединение: устройства должны быть соединены с сетью, чтобы обмениваться данными. Это может быть проводное или беспроводное соединение, включая Wi-Fi, Bluetooth, NFC специальные протоколы, данные для IoT.

3. Сбор и передача данных: Устройства собирают данные с помощью своих сенсоров или получают данные от других устройств. Затем они могут передавать данные по сети, используя протоколы передачи данных, такие как MQTT или HTTP.

4. Обработка данных: Собранные данные могут быть обработаны и анализированы на устройстве или на удаленном сервере. Важная часть IoT – это способность анализировать большие объемы данных и извлекать полезную информацию или принимать решения на основе этих данных.

5. Управление и действия: В зависимости от целей и возможностей, IoT-устройства могут управлять другими устройствами или выполнять конкретные действия. Например, система умного дома может управлять освещением, температурой или безопасностью в доме и передавать информацию на смартфон хозяина.

Базовый процесс алгоритма настройки и проверки начала работы умных вещей представлен на рисунке 1.

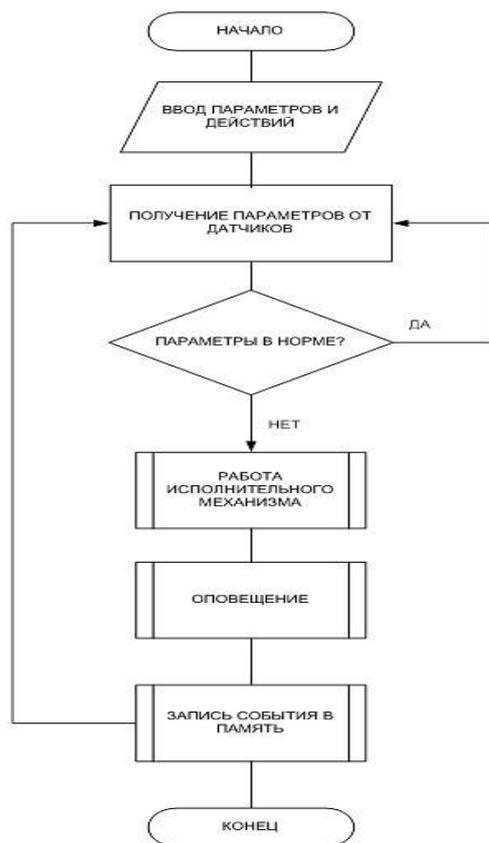


Рис. 1. Алгоритм работы системы умных вещей  
Fig. 1. Algorithm for the operation of the smart things system

Представленные этапы являются основой работы IoT, и каждая конкретная реализация технологии может иметь свои особенности и протоколы и шлюзы. На рисунке 2 представлено, как устройства передают данные к шлюзам, откуда они могут отправиться в дата-центр или облачное хранилище.

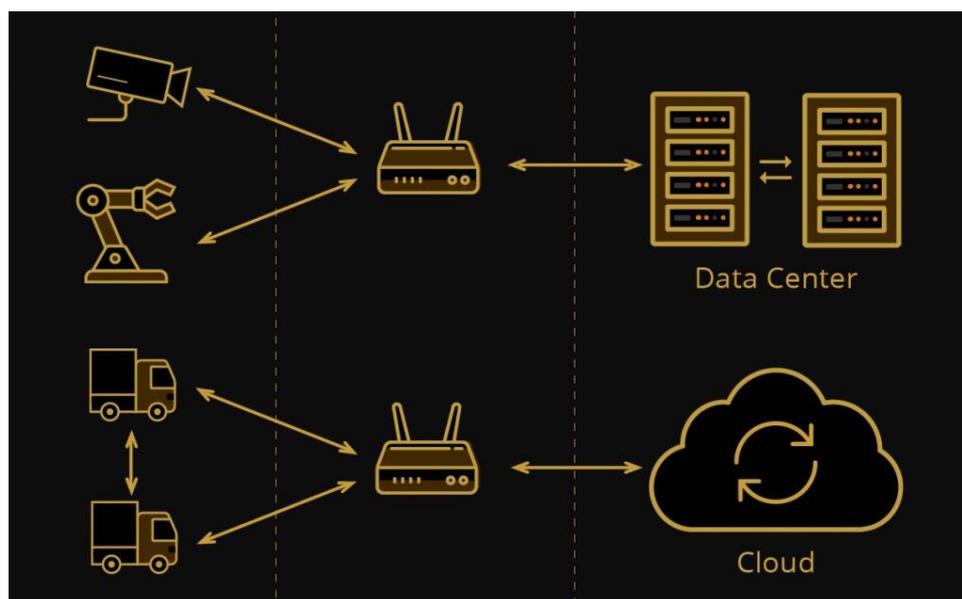


Рис. 2. Передача данных к шлюзам  
Fig. 2. Data transmission to gateways

В системе Интернета вещей (IoT) используются различные протоколы для обмена информацией между устройствами и сетями. Некоторые из основных протоколов, используемых в IoT, включают в себя:

1. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Это простой протокол, который предназначен для передачи сообщений в низкоскоростных и нетребовательных сетях. Он обеспечивает эффективную доставку данных и поддерживает масштабируемость сетей устройств.

2. CoAP (Constrained Application Protocol). Предназначен для ограниченных устройств и сетей с ограниченными ресурсами, такими как датчики и микроконтроллеры. CoAP предоставляет возможность передачи данных и управления устройствами в сети IoT.

3. HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Хотя HTTP широко используется в веб-приложениях, он также может быть использован в IoT-системах для взаимодействия с устройствами. HTTP обеспечивает передачу данных по сети и поддерживает гибкость при работе с различными типами данных.

4. LoRaWAN (Long Range Wide Area - протокол обеспечивает большую дальность передачи данных в сетях IoT и оптимизирован для использования с низкопотребляющими датчиками и устройствами. Он использует небольшую пропускную способность, но обеспечивает протяженную связь.

Важно отметить, что выбор протокола зависит от требований конкретной системы IoT и устройств, используемых в ней. Комбинация разных протоколов может быть применена для обеспечения необходимой эффективности в сети IoT.

Далее в данной обзорной статье будут рассмотрены 5 перспективных направлений развития технологии IoT, а именно в образовании, в медицине, сельском хозяйстве, архитектуре, искусственном интеллекте.

### ***ИНТЕРНЕТ ВЕЩИ (IoT) В ОБРАЗОВАНИИ***

Одним из примеров применения интернета вещей в образовании является использование "умных классов" или "умных школ". Эта концепция предполагает использовать различные IoT-устройства для оптимизации процесса обучения и создания комфортной умной среды.

Некоторые конкретные примеры применения IoT в образовательных учреждениях:

1. Умные доски. Вместо обычных магнитных досок в классе используются умные доски, которые позволяют учителю и ученикам взаимодействовать с различными интерактивными материалами, например, рисовать, перетаскивать элементы на экране и передавать информацию на учебные планшеты обучающихся.

2. Умные устройства для измерения и мониторинга. В классе могут быть размещены датчики для измерения параметров, например, температуры, уровня шума. Это помогает оптимизировать комфортные условия в классе и управлять ими.

3. Умные рюкзаки и устройства отслеживания расписания. С использованием RFID или Bluetooth-технологий можно отслеживать перемещения учеников по школе, контролировать их посещаемость занятий.

4. Умные системы безопасности. В школьном здании могут быть установлены IoT-устройства, такие как видеорекамеры, сенсоры движения и датчики дыма и преград, для безопасности учащихся и персонала, доступ к камере могут получить родители для отслеживания своего ребенка непосредственно во время учебного процесса.

Все эти устройства и системы работают в сети, обмениваются данными и управляются с помощью специального программного обеспечения, что позволяет создавать "интеллектуальные" и эффективные учебные среды [2].

### ***ИНТЕРНЕТ ВЕЩИ (IoT) В МЕДИЦИНЕ***

Концепция Интернета вещей имеет огромный потенциал для применения в медицине. Врачи и организации здравоохранения могут воспользоваться IoT для улучшения и оптимизации

процессов здравоохранения и предоставления более эффективного медицинского ухода за пациентами.

Представляется несколько возможных концепций использования IoT в медицине:

1. Мониторинг пациентов. IoT-устройства, такие как датчики и носимые устройства, могут непрерывно отслеживать здоровье пациентов и передавать данные о их сердечном ритме, уровне глюкозы в крови, давлении и других показателях. Это позволяет врачам диагностировать изменения состояния пациентов и предоставлять персонализированное лечение.

2. Умные медицинские устройства. IoT-устройства могут использоваться для создания умных медицинских инструментов, например, инсулиновых помп, которые автоматически регулируют нормализацию через инъекции уровень инсулина в организме, или интеллектуальных таблет-аптечек, которые выдают по расписанию отслеживают прием препаратов пациентом.

3. Удаленный мониторинг. IoT позволяет настроить системы удаленного мониторинга, благодаря которым пациенты могут получать медицинское обслуживание и консультации в реальном времени. Это особенно полезно для пациентов, живущих в удаленных районах или страдающих хроническими заболеваниями

### ***ИНТЕРНЕТ ВЕЩИ (IoT) В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ***

Конечно, интернет вещей (IoT) играет важную роль в сельском хозяйстве, обеспечивая автоматизацию, мониторинг и оптимизацию процессов. Вот несколько основных примеров применения IoT в сельском хозяйстве:

1. Умное земледелие:

- Датчики для контроля влажности почвы, температуры и освещения.
- Автоматическое увлажнение и системы полива, которые регулируются на основе данных с датчиков.
- Автоматическая система управления парниками и теплицами, основанная на данных о температуре и влажности.

2. Умное животноводство:

- Установка датчиков для мониторинга здоровья и поведения животных.
- Системы автоматической кормежки и поения, которые регулируются на основе потребностей животных.
- Отслеживание животных на пастбище с помощью GPS и датчиков-меток.

3. Мониторинг и аналитика изменений окружающей среды:

- Использование IoT-сенсоров для сбора данных о почве, погоде и растениях.
- Интеграция данных с датчик помощью облачных платформ для анализа и принятия информированных решений.
- Применение машинного обучения и прогнозирования для оптимизации урожайности и снижения затрат.

4. Автоматизация процессов:

- Использование автономных роботов для выполнения сбора урожая, обрезки растений или нанесения удобрений.
- Автоматическое определение и уничтожение вредителей с помощью дронов или специальных стационарных устройств [3].

### ***ИНТЕРНЕТ ВЕЩИ (IoT) В АРХИТЕКТУРЕ***

Интернет вещей (IoT) имеет значительное влияние на различные отрасли, включая архитектуру. Представляется несколько ключевых аспектов использования IoT в архитектуре:

1. Умный дом. IoT позволяет создавать умные дома, в которых устройства и системы взаимодействуют между собой для обеспечения комфорта, безопасности и энергоэффективности. Например, устройства освещения, системы кондиционирования и безопасности могут быть связаны и контролироваться через центральную платформу и закрытую сеть, как указано на рисунке 3.

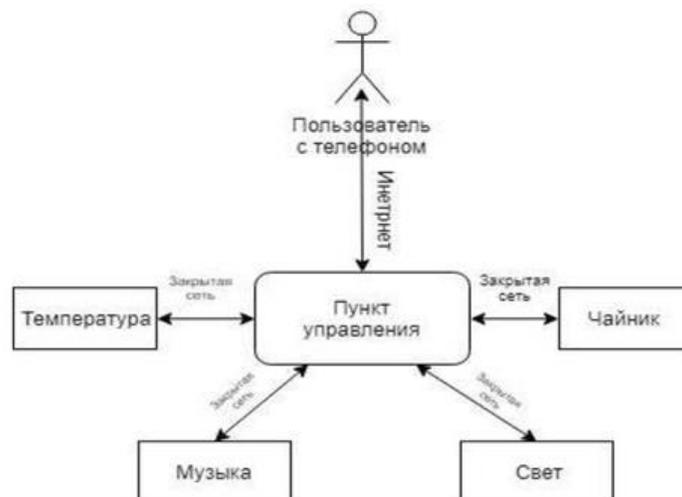


Рис. 3. UML диаграмма умного дома  
Fig. 3. UML diagram of a smart home

2. Умные здания. IoT также могут применяться в умных зданиях, где множество устройств и систем собраны для управления и оптимизации различных аспектов здания, в освещение, системы вентиляции и климат-контроля, безопасности и управления энергопотреблением.

3. Мониторинг и контроль. IoT позволяет архитекторам и инженерам отслеживать и контролировать различные параметры здания, такие как температура, влажность, освещение и поток людей. Это помогает оптимизировать управление ресурсами и создавать более эффективные и комфортные среды для людей.

4. Умные города. IoT также находит применение в развитии умных городов, где различные аспекты городской инфраструктуры, такие как системы освещения, управление трафиком, уборка и сбор отходов.

### **ИНТЕРНЕТ ВЕЩИ (IoT) В ИСКУССТВЕННОМ ИНТЕЛЛЕКТЕ**

Взаимосвязь Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (ИИ) является одним из ключевых аспектов развития будущих информационных и аналитических технологий.

Искусственный интеллект вносит значительный вклад в развитие и применение IoT-технологий:

1. ИИ позволяет анализировать большие объемы данных, собранные устройствами IoT. Он может обрабатывать, классифицировать и извлекать информацию из этих данных для получения ценных инсайтов и принятия решений. [4]

2. Автоматизация и оптимизация. ИИ может улучшить функциональность устройств IoT путем оптимизации их работы. Например, ИИ может управлять интеллектуальными домашними устройствами и оптимизировать их энергопотребление в соответствии с нагрузкой сетей.

3. Улучшение аналитики. Используя ИИ, можно разрабатывать более точные аналитические модели, основанные на данных IoT. Это позволяет сделать более точные прогнозы, распознавать паттерны и определять аномалии в автономных системах: Искусственный интеллект может помочь в разработке автономных систем IoT, которые могут самостоятельно принимать решения и действовать на основе собранных данных. Например, автономные автомобили, основанные на ИИ и IoT, могут самостоятельно обрабатывать информацию о дорожной обстановке и принимать решения о выборе безопасного маршрута.

Взаимодействие Интернета вещей и искусственного интеллекта открывает новые возможности для развития информационных и аналитических технологий будущего. Оно может привести к появлению интеллектуальных, автономных и эффективных систем.

## **НЕДОСТАТКИ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ**

Безусловно, Internet of Things имеет свой набор недостатков и уязвимостей, связанных с его применением:

1. Конфиденциальность и безопасность данных. С IoT возникают проблемы конфиденциальности и безопасности данных. Сбор, хранение и обработка личной информации пользователей в различных устройствах IoT требует соответствующих протоколов безопасности и защиты данных.

2. Опасность потери данных. С IoT связаны с потерей данных из-за сбоев в оборудовании или ошибок в программном обеспечении. Если системы IoT не имеют надежной системы резервного копирования данных, это может привести к потере важных информационных ресурсов.

3. Ресурсоемкость и сложность внедрения. Проектирование, внедрение и поддержка IoT-систем могут быть ресурсоемкими и сложными задачами. Необходимость подключения большого количества устройств, настройка сетей и обеспечение коммуникации между ними требуют качественной технической экспертизы и финансовых ресурсов.

4. Обучение и подготовка персонала. Применение IoT требует обучения и подготовки персонала, чтобы он мог эффективно использовать IoT-инструменты в своей работе. Подготовка персонала и обеспечение его технической грамотности может быть сложными и затратными процессами.

5. Риск зависимости от технических систем. Внедрение IoT, например, в образование может создавать риск зависимости от технических систем [5]. Если устройства IoT перестают функционировать, произойдет потенциальный риск к проблемам в обучении и организации учебного процесса. При внедрении IoT в процессы оказания медицинской помощи существует риск потери связи с устройствами, например, по автоматическому вводу инсулина или кислородного дыхания. [6]

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что технология IoT имеет больше достоинств, чем недостатков, при условии грамотного подхода к решению вопроса безопасности данных, хранения и обработки информации. К существенным достоинствам технологии IoT возможно отнести такие свойства как автоматизация и оптимизация: IoT позволяет автоматизировать различные задачи и процессы, что приводит к повышению эффективности и оптимизации ресурсов. IoT позволяет получать реально-временные данные о различных системах и процессах. Это позволяет эффективно мониторить и управлять работой устройств и систем. IoT способствует созданию умных городов, умных домов и умных транспортных систем, что позволяет улучшить качество жизни людей, повысить безопасность и комфортность. IoT открывает новые возможности для бизнеса. Компании могут собирать данные и анализировать запросы, чтобы получить ценную информацию о потребителях и оптимизировать свои услуги. Кроме того, IoT позволяет создавать новые продукты и услуги, связанные с умными устройствами и системами. IoT может интегрироваться с другими технологиями, такими как искусственный интеллект, облачные вычисления и аналитика данных. Это позволяет создавать более сложные и инновационные решения.

## **Список литературы**

1. Савва, Ю. Б. К вопросу обеспечения безопасности Интернета вещей / Ю.Б. Савва, Т.Ю. Савва // Вызовы цифровой экономики: развитие комфортной городской среды: Труды III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Брянск, 21–22 мая 2020 года. – Брянск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный инженерно-технологический университет", 2020. – С. 696-699. – EDN SPOUYO.

2. Жихарев А.Г., Корсунов Н.И., Маматов Р.А., Щербинина Н.В., Пономаренко С.В. О разработке адаптивной образовательной платформы с использованием технологий машинного обучения // Экономика. Информатика. –2022. – Т. 49. – № 4. – С. 810-819.

3. An empirical study of IoT topics in IoT developer discussions on Stack Overflow / G. Uddin, F. Sabir, Y.G. Guéhéneuc [et al.] // Empirical Software Engineering. – 2021. – Vol. 26, – No. 6. – DOI 10.1007/s10664-021-10021-5. – EDN ORWQJL.
4. The IIoT/IoT device control model based on narrow-band IoT (NB-IoT) / A. S. Petrenko, S. A. Petrenko, K.A. Makoveichuk, P.V. Chetyrbok // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2018, St. Petersburg and Moscow, 29 января – 01 февраля 2018 года. – St. Petersburg and Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. – P. 950-953. – DOI 10.1109/EIConRus.2018.8317246. – EDN VBNKXQ.
5. Алиева, А.Б. Реализация интернет вещей ИОТ в стандарте NB - IOT / А.Б. Алиева, Л.Б. Алчакова // Инновационные технологии в образовании. – 2020. – № 3(5). – С. 6-10. – EDN SEZWPN.
6. Toward Location-Enabled IoT (LE-IoT): IoT Positioning Techniques, Error Sources, and Error Mitigation / Y. Li, Z. He, F.M. Ghannouchi [et al.] // IEEE Internet of Things Journal. – 2021. – Vol. 8, – No. 6. – P. 4035-4062. – DOI 10.1109/IJOT.2020.3019199. – EDN OKSWEB.

### References

1. Savva, Yu. B. To ensure the security of the Internet of things / Yu.B. Savva, T.Yu. Savva // Challenges of the digital economy: development of a comfortable urban environment: Proceedings of the III All-Russian scientific and practical conference with international participation, Bryansk, 21 –May 22, 2020. – Bryansk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bryansk State Engineering and Technology University", 2020. – P. 696-699. – EDN SPOYO.
2. Zhikharev A.G., Korsunov N.I., Mamatov R.A., Shcherbinina N.V., Ponomarenko S.V. On the development of an adaptive educational platform using machine learning technologies // Economics. Information Technologies. – 2022. – V. 49. – No. 4. – P. 810-819.
3. An empirical study of IoT topics in IoT developer discussions on Stack Overflow / G. Uddin, F. Sabir, Y.G. Guéhéneuc [et al.] // Empirical Software Engineering. – 2021. – Vol. 26, – No. 6. – DOI 10.1007/s10664-021-10021-5. – EDN ORWQJL.
4. The IIoT/IoT device control model based on narrow-band IoT (NB-IoT) / A.S. Petrenko, S.A. Petrenko, K.A. Makoveichuk, P.V. Chetyrbok // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2018, St. Petersburg and Moscow, 29 January – 01 February 2018. – St. Petersburg and Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. – P. 950-953. – DOI 10.1109/EIConRus.2018.8317246. – EDN VBNKXQ.
5. Alieva, A.B. Implementation of the Internet of Things IOT in the NB – IOT standard / A.B. Alieva, L.B. Alchakova // Innovative technologies in education. – 2020. – No. 3(5). – P. 6-10. – EDN SEZWPN.
6. Toward Location-Enabled IoT (LE-IoT): IoT Positioning Techniques, Error Sources, and Error Mitigation / Y. Li, Z. He, F.M. Ghannouchi [et al.] // IEEE Internet of Things Journal. – 2021. – Vol. 8, – No. 6. – P. 4035-4062. – DOI 10.1109/IJOT.2020.3019199. – EDN OKSWEB

**Жихарев Александр Геннадьевич**, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения и вычислительной техники

**Гармашев Михаил Александрович**, старший преподаватель кафедры гражданского права и процесса юридического института

**Резников Никита Григорьевич**, ассистент кафедры информационных и робототехнических систем института инженерных и цифровых технологий

**Фуников Андрей Дмитриевич**, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий института инженерных и цифровых технологий

**Zhikharev Alexander Gennadievich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Software and Computer Engineering

**Garmashev Mikhail Aleksandrovich**, Senior Lecturer of the Department of Civil Law and Process of the Law Institute

**Reznikov Nikita Grigorievich**, Assistant of the Department of Information and Robotic Systems of the Institute of Engineering and Digital Technologies

**Funikov Andrey Dmitrievich**, Postgraduate Student of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Institute of Engineering and Digital Technologies

УДК 168.2; 303.732

DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-8

Маторин С.И.<sup>1</sup>  
Гуль С.В.<sup>2</sup>

**СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНЫЙ КЛАССИФИКАЦИОННЫЙ  
АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ**

<sup>1</sup>) ЗАО «СофтКоннект», ул. Студенческая, д. 19, корпус 1, г. Белгород, 308018, Россия

<sup>2</sup>) Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия

*e-mail: medintseva@bsu.edu.ru*

**Аннотация**

В статье рассматривается актуальная задача совершенствования процедуры классифицирования в связи с ее многочисленными недостатками. Для решения поставленной задачи применен системный (системно-объектный) подход к процедуре подготовки исходного материала для построения классификации любой предметной области (ПрО). Данная процедура позволяет представлять исходную информацию в систематизированном виде, что обеспечивает ее эффективное использование при построении концептуальных классификационных моделей (ККМ) и, в частности, при построении трехмерной системно-объектной классификации. В статье подробно описаны этапы системно-объектного классификационного анализа (СОКА) любой ПрО: терминологический, концептуальный и собственно классификационный; а также представлен алгоритм СОКА. Результаты применения СОКА при построении трехмерной классификации показаны на примере системно-объектной трехмерной классификации ПрО «Приборы функциональной диагностики».

**Ключевые слова:** системно-объектный подход; концептуальная классификационная модель; системно-объектный классификационный анализ; трехмерная классификация

**Для цитирования:** Маторин С.И., Гуль С.В. Системно-объектный классификационный анализ предметной области // Научный результат. Информационные технологии. – Т.8, №4, 2023. – С. 78-86. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-8

Matorin S.I.<sup>1</sup>  
Gul S.V.<sup>2</sup>

**SYSTEM-OBJECT CLASSIFICATION ANALYSIS  
OF THE SUBJECT DOMAIN**

<sup>1</sup>) CJSC «SoftConnect», 19 cor.1 Student St., Belgorod, 308023, Russia<sup>2</sup>) Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

*e-mail: medintseva@bsu.edu.ru*

**Abstract**

The article discusses the urgent task of improving the classification procedure in connection with its numerous shortcomings. To solve the problem, a systemic (system-object) approach to the procedure for preparing the initial material for constructing a classification of any subject area (SbA) was used. This procedure allows you to present the initial information in a systematized form, which ensures its effective use in the construction of conceptual classification models (CCM), and in particular in the construction of a three-dimensional system-object classification. The article describes in detail the stages of system-object classification analysis (SOCA) of any SbA: terminological, conceptual and classification itself; and also presents the SOKA algorithm. The results of using SOKA in constructing a three-dimensional classification are shown using the example of a system-object three-dimensional classification of the SbA “Functional Diagnostic Devices”.

**Keywords:** system-object approach; conceptual classification model; system-object classification analysis; three-dimensional classification

**For citation:** Matorin S.I., Gul S.V. System-object classification analysis of the subject domain // Research result. Information technologies. – Т.8, №4, 2023. – P. 78-86. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-8

## **ВВЕДЕНИЕ**

Общепризнанно, что классификация является необходимым условием существования и целесообразного развития знания, а также то, что классифицирование является одним из фундаментальных процессов в науке и в любой практической деятельности, так как «факты и явления должны быть упорядочены, прежде чем мы сможем их понять и разработать общие принципы, объясняющие их появление и видимый порядок» [1, с.9]. Однако, анализ работ, посвященных теории и практике классифицирования (в том числе, например, [2-14]), результаты которого представлены авторами в работах [13 и 16], показывает, что ни фундаментальные проблемы теории классификации, ни практические задачи классифицирования не решены до сих пор.

При этом авторы данной работы солидарны с авторами работ [5, 6 и 17], в которых обосновывается необходимость применения системного подхода в классификационном анализе, отсутствие применения которого и является, по мнению авторов, причиной существования нерешенных проблем классифицирования. Дело в том, что в настоящее время, к сожалению, в литературе не удается найти никаких рекомендаций, описывающих методику такого применения, что делает актуальным создание методики классификационного анализа, использующей системный (системно-объектный) подход.

В связи с этим авторами предлагается методика применения системно-объектного подхода, подробно представленного, например, в работе [18], для подготовки исходного материала с целью построения трехмерной системно-объектной классификации.

## **ПРОЦЕДУРА СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОГО КЛАССИФИКАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ**

Для применения системного подхода при разработке классификации или концептуальной классификационной модели (ККМ) некоторой предметной области (ПрО) предлагается использовать процедуры *системно-объектного классификационного анализа (СОКА) ПрО*, а именно: *терминологического, концептуального и собственно классификационного* [15, 19, 20], которые адаптированы авторами для решения задачи построения трехмерной системно-объектной классификации. В ходе реализации этих процедур на первом этапе подготавливается исходный материал для построения классификации в виде совокупности терминов, представляющей собой в максимально возможной степени систему терминов (терминосистему). На втором этапе на выбранном исходном материале обеспечивается связность понятий, соответствующих выявленным терминам, в рамках иерархических родовидовых отношений, а также определяется предельно широкое понятие/класс для данной ПрО. На третьем этапе обеспечивается параметричность классификации, т.е. изоморфизм иерархической классификации систем-классов данной ПрО и классификации их свойств, что вместе с учетом системных характеристик в основаниях классифицирования, соблюдением отношения поддержания функциональной способности целого в рамках родовидовой иерархии и обеспечивает системность классификации.

Более детально упомянутые процедуры выглядят следующим образом:

### **1. Терминологический анализ ПрО.**

– Выявление совокупности терминов, обозначающих объекты и процессы выбранной ПрО, т.е. терминов для понятий, обозначающих системы-классы данной ПрО.

– Анализ выявленной исходной совокупности терминов с целью определения степени ее приближения к терминосистеме:

– анализ наличия родовидовых определений для всех понятий/классов, соответствующих выделенной совокупности терминов (видовых, родовых понятий и понятий видовых отличий);

– выявление в исходной совокупности терминов таких терминов, которые соответствуют понятиям/классам, отражающим структурные, функциональные и субстанциальные характеристики систем данной ПрО.

– Устранение пересечений, противоречий и пробелов в рассматриваемой совокупности терминов, то есть ее максимально возможное приближение к терминосистеме.

## 2. Концептуальный анализ ПрО.

– Определение места (роли) данной ПрО в более широкой ПрО, то есть надсистемы данной ПрО (родового класса для данной ПрО) и соответствующего данной ПрО понятия/класса, как единственной категории (предельно широкого понятия/класса для данной ПрО).

– Определение структурных, функциональных и субстанциальных свойств предельно широкого понятия/класса (категории) данной ПрО, существенных с точки зрения выделенной надсистемы.

– Обеспечение отражения в определениях всех понятий/классов или структурных, или функциональных, или субстанциальных свойств систем-классов данной ПрО

– Обеспечение связности понятий/классов путем установления иерархических родовидовых отношений между понятиями/классами данной ПрО, отражающих отношения поддержания функциональной способности целого между системами данной ПрО. Т.е. обеспечение отображения в родовом понятии – надсистемы-класса данной системы-класса, в видовом отличии – или структурного, или функционального, или субстанциального свойства системы-класса в надсистеме-классе, в видовых понятиях – поддерживающих свойств данной системы-класса).

## 3. Классификационный анализ ПрО.

– Выбор оснований построения классификационной модели (схемы) данной ПрО (соответствующих определенным на предыдущем этапе структурным, функциональным и субстанциальным свойствам категориального понятия/класса данной ПрО (с точки зрения надсистемы данной ПрО).

– Обеспечение соответствия родовидовых отношений между понятиями/классами данной ПрО родовидовым отношениям между их видовыми отличиями в выбранной плоскости классифицирования (структурной, функциональной и субстанциальной).

– Построение иерархической классификации систем-классов данной ПрО изоморфной классификации их свойств в конкретной плоскости классифицирования. (Данный процесс подробно описан в работе [15]).

Таким образом, в первую очередь, необходимо определить самое абстрактное понятие (самый широкий, категориальный класс) данной ПрО. При этом это определение должно быть определением ПрО как системы, т.е. учитывать системные характеристики ПрО (структурные/узловые, функциональные и субстанциальные/объектные). В результате построения иерархии классов (концептуальных систем) полученные классификации должны заканчиваться «конкретными» классами, которые далее в настоящий момент не делятся на подклассы. Для обеспечения эффективного использования ККМ данные классы должны иметь минимальный объем и максимальное содержание. При этом между видовыми и родовыми свойствами в каждой плоскости необходимо соблюдать отношения поддержания функциональной способности целого, т.е. видовые свойства должны обеспечивать существование родовых. Ниже процедуры СОКА представлены в виде алгоритма (см. рис. 1).

### ***ПРИМЕР РЕЗУЛЬТАТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОГО КЛАССИФИКАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ***

В работах [13 и 16] рассмотрен пример трехмерной системно-объектной классификации для предметной области «Чрезвычайная ситуация» (ЧС), полученный с применением СОКА. Данный пример показал полезность такого классифицирования, так как оно упрощает прослеживание причинно-следственных связей и позволяет автоматизировать получение прогноза возможных последствий возникновения некоторых явлений и определение возможных альтернатив при принятии решений.

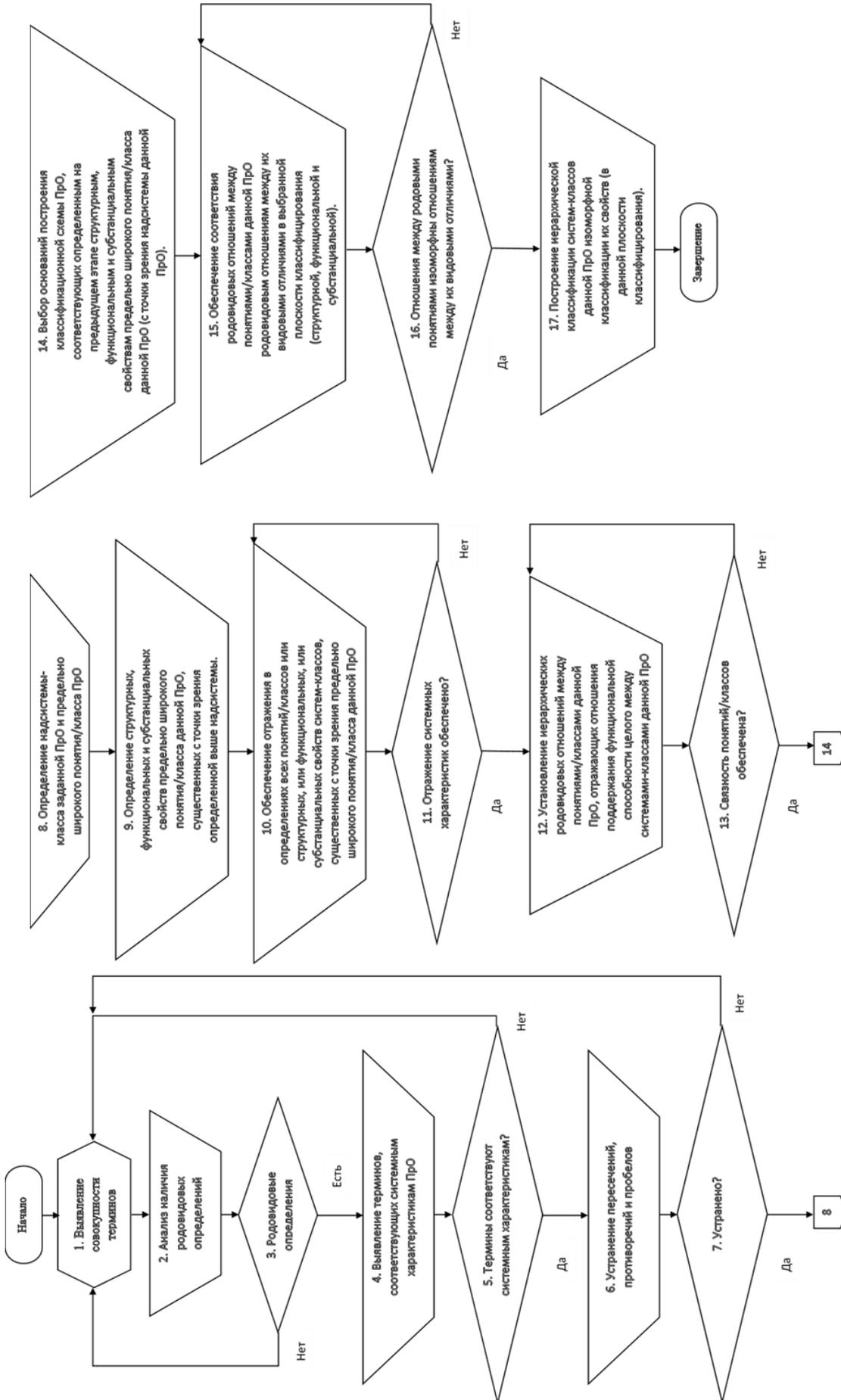


Рис. 1. Алгоритм СОКА  
Fig. 1. SOCA algorithm

В данном случае проиллюстрируем использование СОКА для построения системно-объектной трехмерной классификации ПрО «Приборы функциональной диагностики» (ПФД). Анализ (терминологический и концептуальный) большого числа различных подходов к определению понятия *приборы функциональной диагностики*, например, в работах [21-23], показывает, что ПФД можно рассматривать как *приборы медицинского назначения (ПМЗ), предназначенные для оценки функционирования органов и систем организма путем измерения их механических, звуковых и электрических проявлений*. Системные характеристики предметной области ПФД могут быть определены как показано в таблице ниже.

Таблица

Определение понятия ПФД как системы

Table

Definition of the concept of FDD as a system

Плоскость классифицирования				Приборы функциональной диагностики (УФ $O_{0,1}$ )
<b>Узел</b> (структурная хар-ка)	<b>A</b>	<i>Внешняя детерминанта</i>	<i>Назначение</i>	ПМЗ предназначенные для оценки функционирования <b>органов и систем организма (R.Y<math>_{0,1}</math>)</b> .
<b>Функция</b> (функциональная хар-ка)	<b>B</b>	<i>Внутренняя детерминанта</i>	<i>Функционирование</i>	ПМЗ для измерения <b>механических, звуковых и электрических проявлений</b> органов и систем организма (R. $\Phi_{0,1}$ ).
<b>Объект</b> (субстанциальная хар-ка)	<b>C</b>	<i>Результат</i>	<i>Субстанция</i>	ПМЗ, обладающие <b>стоимостными, массогабаритными, мощностными</b> характеристиками (R.O $_{0,1}$ ).

Таким образом, для данной предметной области самый абстрактный класс «Приборы функциональной диагностики» соответствует концепту ДЛ  $УФO_{0,1}$ . Классификация в плоскости **A** при построении системно-объектной трехмерной классификации строится путем выявления видов *органов и систем организма* со свойствами, соответствующими концепту свойств  $R.Y_{0,1}$ . Классификация в плоскости **B** строится путем выявления видов *механических, звуковых и электрических проявлений* этих органов со свойствами, соответствующими концепту свойств  $R.\Phi_{0,1}$ . Классификация в плоскости **C** строится путем выявления видов *стоимостных, массогабаритных, мощностных* характеристик и др. со свойствами, соответствующими концепту свойств  $R.O_{0,1}$ .

Ниже на рисунках 2-4 приведен пример возможного построения трехмерной классификации в предметной области ПФД. Подчеркнем, что классификация ПФД в целом и особенно по объектным характеристикам является иллюстративной. Дело в том, что медицинские приборы имеют большое количество объектных характеристик, включающих в себя и стандартные для всех приборов (стоимость, вес, габариты, потребляемая мощность), и множество специфических (например, интерфейсные характеристики, характеристики безопасности и т.д.). В данной работе описывается принципиальная возможность учета в трехмерной системно-объектной классификации характеристик субстанции, которые для каждого практического применения классификации могут быть определены пользователем.

Приведенный пример наглядно показывает принципиальную возможность использования СОКА для подготовки исходного материала для классификации знаний о приборах медицинского назначения. Если в такой классификации учесть достаточное количество конкретных приборов, то, с одной стороны, на основе знаний о необходимости оценки функционирования конкретных органов и систем организма можно спрогнозировать требующиеся, например, финансовые ресурсы, площади и параметры электрической сети. С другой стороны, на основе знаний об имеющихся ресурсах можно принять решение о том, исследованиями функционирования каких органов и систем организма можно будет заниматься.

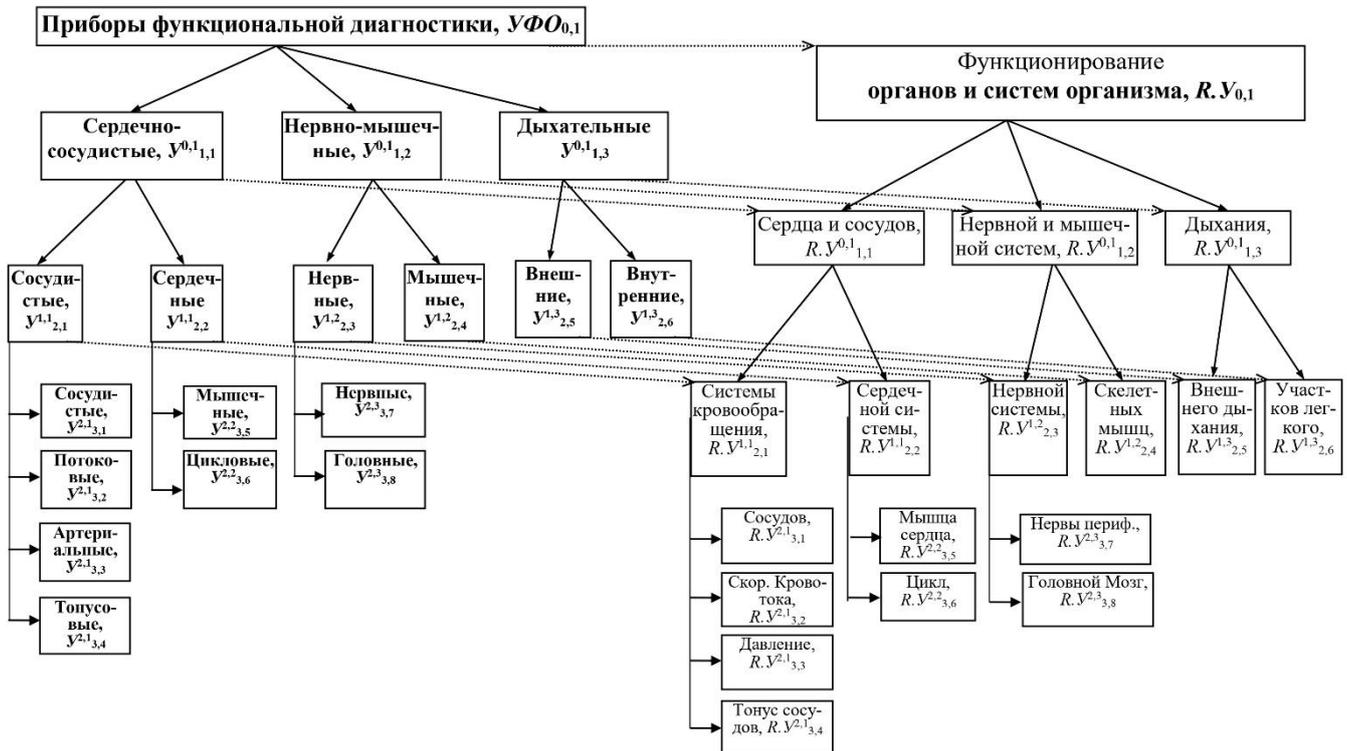


Рис. 2. Классификация ПФД по видам внешней детерминанты (Назначение)  
Fig. 2. Classification of FDD by type of external determinant (Purpose)

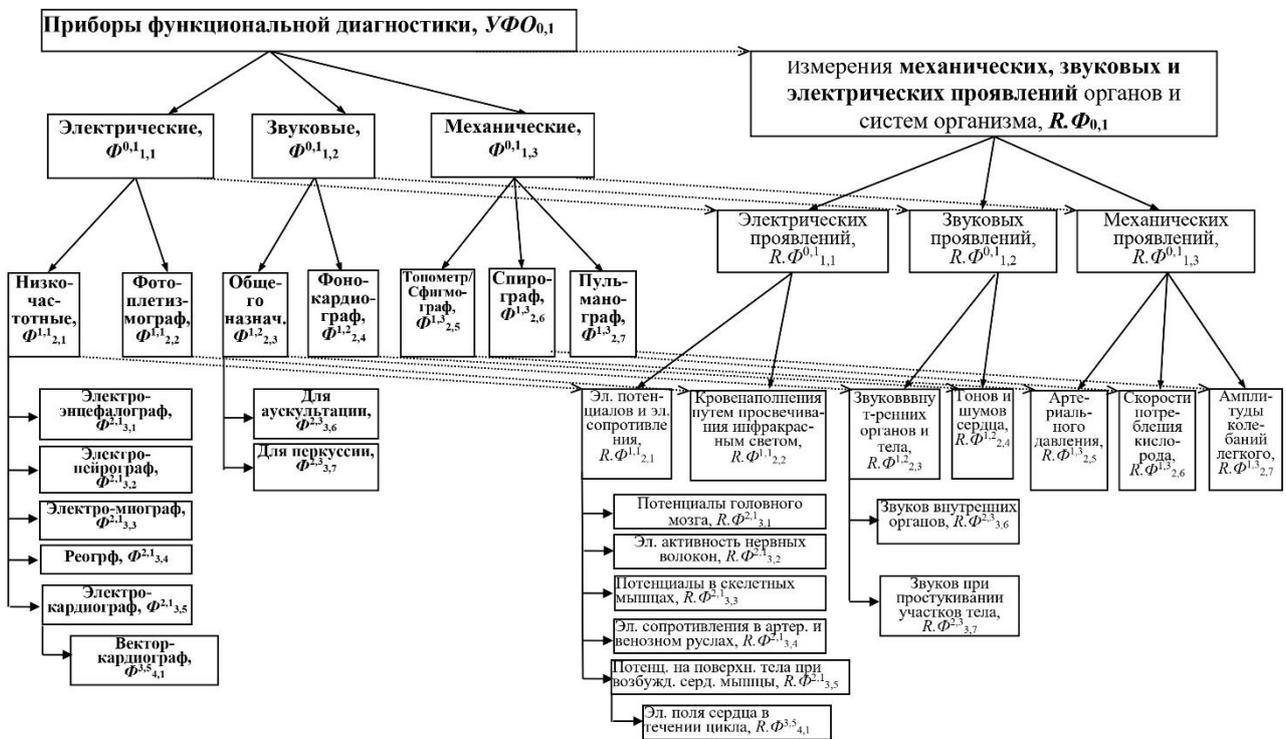


Рис. 3. Классификация ПФД по видам внутренней детерминанты (Функционирование)  
Fig. 3. Classification of FDD by type of internal determinant (Functioning)

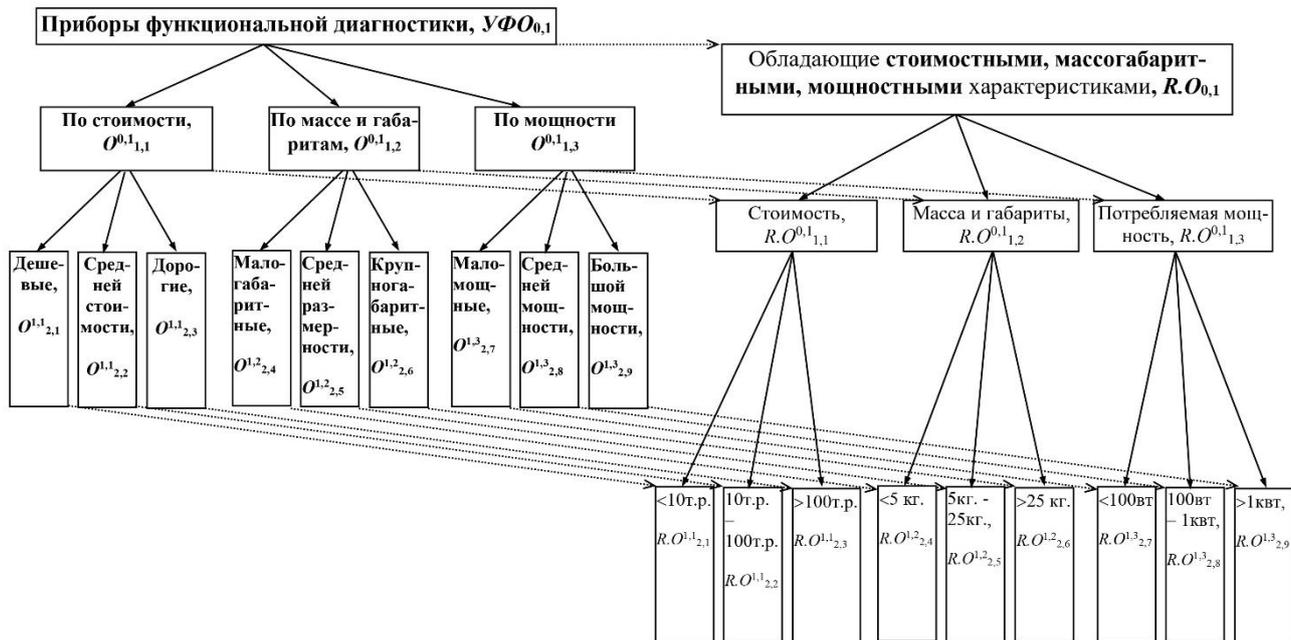


Рис. 4. Классификация ПФД по видам объектных характеристик (Субстанция)  
Fig. 4. Classification of FDD by types of object characteristics (Substance)

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный способ подготовки исходного материала для построения трехмерной классификации в виде процедур системно-объектного классификационного анализа показал возможность и целесообразность их использования. Приведенный пример использования СОКА для классифицирования ПрО «Приборы функциональной диагностики» показывает соответствие получаемой из исходного материала трехмерной классификации требованиям системно-объектного подхода и правилам классифицирования, представленным, например, в работе [24].

Предложенный способ СОКА предлагается рассматривать как неотъемлемую составную часть процесса разработки трехмерной классификации, на основе которой могут создаваться системно-объектные трехмерные базы знаний.

### Список литературы

1. Бреховских С.М. Основы функциональной системологии материальных объектов. М.: Наука, 1989. – 192 с.
2. Розова С.С. Классификационная проблема современной науки. Новосибирск: Наука, 1986. – 224 с.
3. Воронин Ю.А. Введение в теорию классификаций. Новосибирск: СО АН СССР, 1982. – 194 с.
4. Карпов В.Э., Карпова И.П. К вопросу о принципах классификации систем // Информационные технологии. – 2002. – №2. – С. 35–38.
5. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. М.: Радио и связь, 1982. – 152 с.
6. Любищев А.А. Проблемы систематики // Проблемы эволюции. Т.1. Новосибирск: Наука, 1968. – С. 7-29.
7. Дорофеев А.А. Алгоритмы автоматической классификации: Обзор // Автоматика и телемеханика. 1971. – №12. – С. 78-113.
8. Шрейдер Ю.А. Математическая модель теории классификации // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 1968. – №10. – С. 7-14.
9. Мейен С.В., Шрейдер Ю.А. Методологические аспекты теории классификации // Вопросы философии. – 1976. – №12. – С. 67-79.
10. Митрофанова С.С. Естественная классификационная система как явление культуры // Проблемы системных исследований. Новосибирск: НГУ, 1985. – С. 31-44.

11. Бокий Г.Б. Роль классификационной системы в процессе получения новых научных знаний // Проблемы системных исследований. Новосибирск: НГУ, 1985. – С. 45-63.
12. Субетто А.И. Метаклассификация как наука о механизмах и законах классифицирования. СПб.: Исслед. ц-р проблем кач-ва подгот-ки спец-ов, 1994. – 254 с.
13. Гулакова Т.К., Кузьмич Р.И. Поиск закономерностей в задаче классификации // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы авиации и космонавтики»: в 2 т. Т. 1. Технические науки. Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2010. – С. 317-318.
14. Масич, И.С., Краева Е.М., Кузьмич Р.И., Гулакова Т.К. Сравнительный анализ методов классификации данных на практических задачах прогнозирования и диагностики // Научно-технический журнал: «Системы управления и информационные технологии». – 2011. – №1(43). – С. 20-25.
15. Маторин С.И., Гуль С.В. Системно-объектное классификационное моделирование сложных предметных областей // Экономика. Информатика. – 2023. – №50(1). – С. 152–161.
16. Маторин С.И., Гуль С.В. Модель системно-объектной трехмерной базы знаний // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2023. – № 2. – С. 95-109.
17. Полищук Ю.М., Хон В.Б. Теория автоматизированных банков информации. М.: Высшая школа, 1989. – 184 с.
18. Теория систем и системный анализ: учебник. А.Г. Жихарев, О.А. Зимовец, М.Ф. Тубольцев, А.А. Кондратенко; под ред. С.И. Маторина. Москва: КНОРУС, 2021. – 456 с.
19. Игрунова С.В., Мединцева С.В. Разработка модели икт-компетенций для управления подготовкой специалистов // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. – 2007. – № 39. – С. 89-96.
20. Гуль С.В., Маторин С.И. Проблемы концептуального классификационного моделирования // Материалы IX международной конференции «Информационно-аналитические системы и технологии». 14-18 марта 2021 года, Белгород. – С. 49-57.
21. Фролова, М.С. Современные способы классификации медицинских изделий// Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2013. № 1(45). – С. 26-35.
22. Канюков В.Н., Тайгузин Р.Ш. Медицинское диагностическое оборудование. Оренбург: ОГУ, 2010. – 112 с.
23. Ишманов М.Ю., Попов С.А., Попович С.А. и др. Медицинская аппаратура. Полный справочник. М.: Научная книга, 2008. – 720 с.
24. Кондаков Н.И., Горский Д.П. Логический словарь. – М.: Наука, 1975. – 656 с.

### References

1. Brekhovskikh S.M. Fundamentals of functional systemology of material objects. M.: Nauka, 1989. – 192 p.
2. Rozova S.S. Classification problem of modern science. Novosibirsk: Nauka, 1986. – 224 p.
3. Voronin Yu.A. Introduction to the theory of classifications. Novosibirsk: SO AN USSR, 1982. – 194 p.
4. Karpov V.E., Karpova I.P. On the question of the principles of classification of systems // Information technologies. – 2002. – No. 2. – pp. 35–38.
5. Shreider Yu.A., Sharov A.A. Systems and models. M.: Radio and communication, 1982. – 152 p.
6. Lyubishchev A.A. Problems of systematics // Problems of evolution. T.1. Novosibirsk: Nauka, 1968. – P. 7-29.
7. Dorofeyuk A.A. Automatic classification algorithms: Review // Automation and telemechanics. 1971. – No. 12. – pp. 78-113.
8. Shradler Yu.A. Mathematical model of classification theory // Scientific and technical information. Ser. 2. – 1968. –No. 10. – pp. 7-14.
9. Meyen S.V., Shradler Yu.A. Methodological aspects of classification theory // Questions of Philosophy. – 1976. – No. 12. – pp. 67-79.
10. Mitrofanova S.S. Natural classification system as a cultural phenomenon // Problems of systemic research. Novosibirsk: NSU, 1985. – pp. 31-44.
11. Bokiyy G.B. The role of the classification system in the process of obtaining new scientific knowledge // Problems of systemic research. Novosibirsk: NSU, 1985. – P. 45-63.
12. Subetto A.I. Metaclassification as a science about the mechanisms and laws of classification. SPb.: Issled. Center for problems of quality of training of specialists, 1994. – 254 p.

13. Gulakova T.K., Kuzmich R.I. Search for patterns in the classification problem // Materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference “Current Problems of Aviation and Cosmonautics”: in 2 volumes. T. 1. Technical Sciences. Krasnoyarsk: Sib. state aerospace Univ., 2010. – pp. 317-318.
14. Masich, I.S., Kraeva E.M., Kuzmich R.I., Gulakova T.K. Comparative analysis of data classification methods on practical problems of forecasting and diagnostics // Scientific and technical journal: “Control systems and information technologies”. – 2011. – No. 1(43). – pp. 20-25.
15. Matorin S.I., Gul S.V. System-object classification modeling of complex subject areas // Economics. Information technologies. – 2023. – No. 50(1). – pp. 152–161.
16. Matorin S.I., Gul S.V. Model of a system-object three-dimensional knowledge base // Artificial intelligence and decision making. – 2023. – No. 2. – P. 95-109.
17. Polishchuk Yu.M., Khon V.B. Theory of automated information banks. M.: Higher School, 1989. 184 p.
18. Systems theory and system analysis: textbook. A.G. Zhikharev, O.A. Zimovets, M.F. Tuboltsev, A.A. Kondratenko; edited by S.I. Matorina. Moscow: KNORUS, 2021. – 456 p.
19. Igrunova S.V., Medintseva S.V. Development of a model of ICT competencies for managing the training of specialists // Bulletin of the National Technical University Kharkov Polytechnic Institute. Series: Computer science and modeling. – 2007. – No. 39. – pp. 89-96.
20. Gul S.V., Matorin S.I. Problems of conceptual classification modeling // Proceedings of the IX international conference “Information-analytical systems and technologies”. March 14-18, 2021, Belgorod. pp. 49-57.
21. Frolova, M.S. Modern methods of classification of medical devices // Issue. let's modernize science and practice. Univ. IN AND. Vernadsky. – 2013. – No. 1(45). – pp. 26–35.
22. Kanyukov V.N., Tayguzin R.Sh. Medical diagnostic equipment. Orenburg: OSU, 2010. – 112 p.
23. Ishmanov M.Yu., Popov S.A., Popovich S.A. and others. Medical equipment. Complete reference book. M.: Scientific book, 2008. – 720 p.
24. Kondakov N.I., Gorsky D.P. Logical dictionary. – M.: Nauka, 1975. – 656 p.

**Маторин Сергей Игоревич**, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по науке и инновациям

**Гуль Светлана Владимировна**, старший преподаватель кафедры информационных и робототехнических систем

**Matorin Sergey Igorevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy General Director for Science and Innovation

**Gul Svetlana Vladimirovna**, Senior Lecturer, Department of Information and Robotic Systems