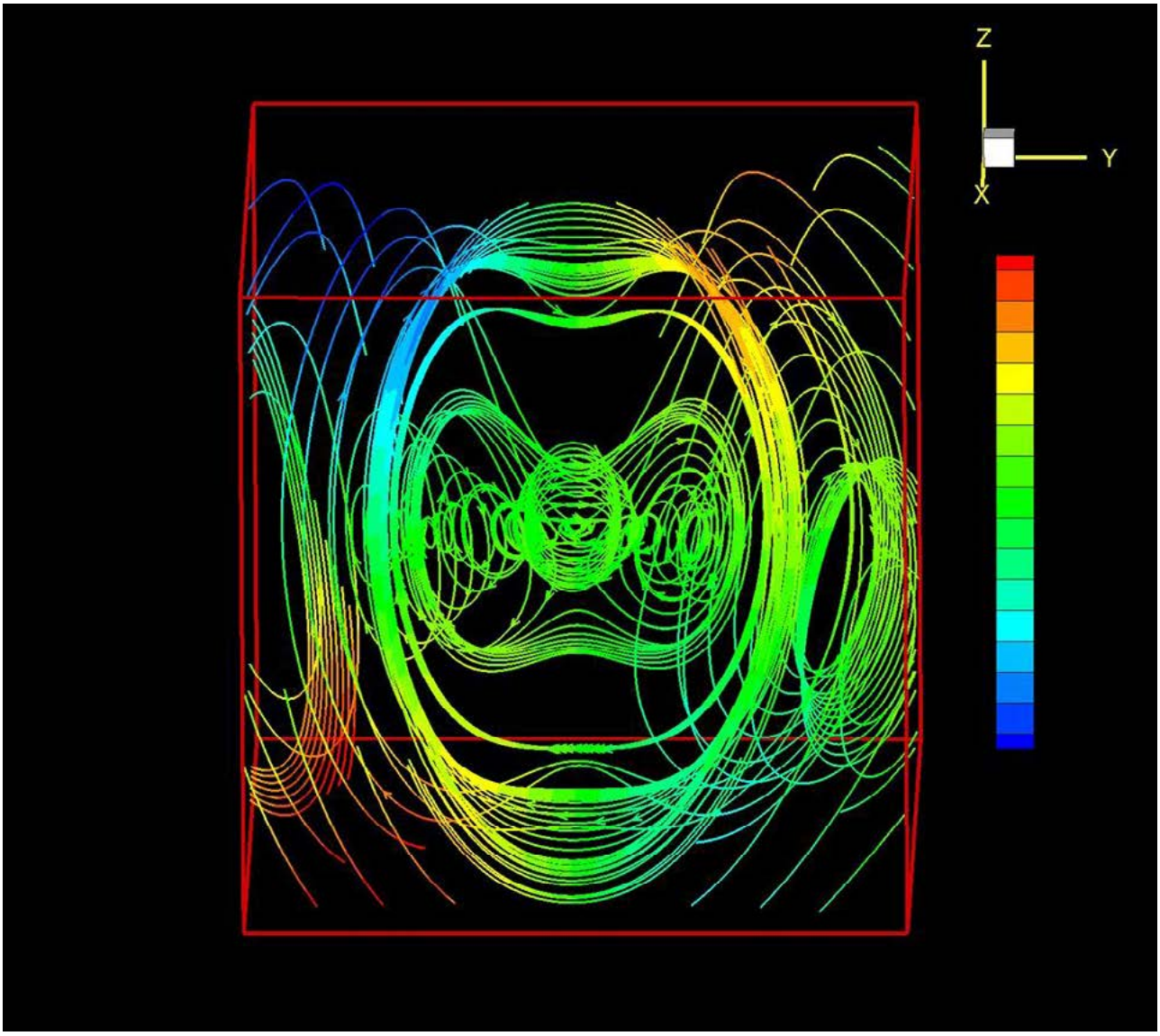
ISSN 1999-7604 (online)
2025, ТОМ 24, № 2



ВЕСТНИК КИБЕРНЕТИКИ

PROCEEDINGS IN CYBERNETICS

12+

**БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА – ЮГРЫ
«СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ВЕСТНИК КИБЕРНЕТИКИ

PROCEEDINGS IN CYBERNETICS

Научный журнал

ТОМ 24, № 2

**Сургут
2025**

Учредитель и издатель
Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры
«Сургутский государственный университет»

12+

Главный редактор
Острейковский Владислав Алексеевич, д. т. н., профессор

Заместитель главного редактора
Тараканов Дмитрий Викторович, к. т. н., доцент

Ответственный секретарь
Брагинский Михаил Яковлевич, к. т. н., доцент

Члены редакционной коллегии:
Советов Б. Я., академик РАН и РАО, д. т. н., профессор
Юсупов Р. М., член-корреспондент РАН, д. т. н., профессор
Абрамов О. В., д. т. н., профессор
Анохин А. Н., д. т. н., профессор
Антонов А. В., д. т. н., профессор
Бурханов Р. А., д. филос. н., профессор
Бушмелева К. И., д. т. н., профессор
Гетман А. Ф., д. т. н., профессор
Григорьев Л. И., д. т. н., профессор
Древс Ю. Г., д. т. н., профессор
Ельников А. В., д. ф.-м. н., профессор
Инютин С. А., д. т. н., профессор
Каштанов В. А., д. ф.-м. н., профессор
Керимов Т. Х., д. филос. н., профессор
Крамаров С. О., д. ф.-м. н., профессор
Леонов Д. Г., д. т. н., профессор
Малышев Д. С., д. ф.-м. н., профессор
Мельников А. В., д. т. н., профессор
Певзнер Л. Д., д. т. н., профессор
Увайсов С. У., д. т. н., профессор
Цибульский В. Р., д. т. н., профессор
Юрков Н. К., д. т. н., профессор

Выпускающие редакторы
Ларина С. С., Хасанова А. Ш.
Редактор
Зелексон Л. А.
Верстка
Чорненького С. И.
Переводчики
Бенская М. О., Кондратьева В. А.

Рисунок на обложке:
Визуализация магнитогидродинамических расчетов для точного решения внутри сферы
© Галкин В. А., Гореликов А. В.

Решением Высшей аттестационной комиссии с 29 мая 2017 года журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».
С 29.03.2022 издание принимает к публикации статьи по следующим научным специальностям: 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации; 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ; 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Эл № ФС77-83015 от 31.03.2022.
Издается с 2002 года. Выпускается 4 раза в год.

Адрес редакции:
БУ ВО «Сургутский государственный университет»,
628412, Россия, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Сургут, пр. Ленина, 1
Тел.: +7 (3462) 76-29-88, факс: +7 (3462) 76-29-29, email: proceed.cyber@mail.ru. Сайт: vestcyber.ru

© БУ ВО «Сургутский государственный университет», оформление макета, 2025
© Авторы, 2025

Founder and Publisher
Surgut State University

12+

Chief Editor
Prof. Vladislav A. Ostreikovsky, Doctor of Sciences (Engineering)

Vice Chief Editor
Dmitry V. Tarakanov, Candidate of Sciences (Engineering), Docent

Executive Editor
Mikhail Ya. Braginsky, Candidate of Sciences (Engineering), Docent

Editorial Board:
Prof. Sovetov B. Ya., Doctor of Sciences (Engineering), member of the Russian Academy of Sciences (RAS), the Russian Academy of Education (RAE)
Prof. Yusupov R. M., Doctor of Sciences (Engineering), member of the Russian Academy of Sciences (RAS)
Prof. Abramov O. V., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Anokhin A. N., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Antonov A. V., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Burkhanov R. A., Doctor of Sciences (Philosophy)
Prof. Bushmeleva K. I., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Getman A. F., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Grigoryev L. I., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Drevs Yu. G., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Elnikov A. V., Doctor of Sciences (Phys&Math)
Prof. Inyutin S. A., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Kashtanov V. A., Doctor of Sciences (Phys&Math)
Prof. Kerimov T. Kh., Doctor of Sciences (Philosophy)
Prof. Kramarov S. O., Doctor of Sciences (Phys&Math)
Prof. Leonov D. G., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Malyshev D. S., Doctor of Sciences (Phys&Math)
Prof. Melnikov A. V., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Pevzner L. D., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Uvaisov S. U., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Tsibulsky V. R., Doctor of Sciences (Engineering)
Prof. Yurkov N. K., Doctor of Sciences (Engineering)

Publishing Editors
Larina S. S., Khasanova A. Sh.
Editor
Zelekson L. A.
Layout
Chornenkiy S. I.
Translators
Benskaya M. O., Kondrateva V. A.

Cover Image:
A visualization of magnetohydrodynamic analysis used to find an exact solution within a sphere
© Galkin V. A., Gorelikov A. V.

Since March 29, 2017, the journal is included in the List of Leading Peer-Reviewed Scientific Journals of the Higher Attestation Commission, which publishes main scientific results of Doctor's and Candidate's theses.
Since March 29, 2022, the journal is included in the List on the following subject groups:
2.3.1. System Analysis, Data Management and Processing; 1.2.2. Mathematical Modeling, Calculus and Program Complexes; 2.2.2. Electronic Component Base of Micro- and Nanoelectronics, Quantum Devices.

The journal is registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media. Mass media registration certificate El No. FS77-83015 of March 31, 2022.
Published since 2002. 4 issues per year.

Editorial Board Address:
Surgut State University, Russia 628412, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Surgut, Lenina pr., 1
Tel.: +7 (3462) 76-29-88, fax: +7 (3462) 76-29-29, email: proceed.cyber@mail.ru. Web: vestcyber.ru

© Surgut State University, layout, 2025
© Authors, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В., Буслаев А. Б.
Повышение эффективности энергообеспечения целевых нагрузок беспилотных авиационных систем при управлении вторичными источниками питания 6

Дёмко А. И.
О корреляционных и спектральных характеристиках кодов Баркера..... 14

Добрынин А. И., Григоренко В. В.
Разработка информационно-аналитической системы учета, контроля и анализа финансов семьи 23

Кашковский В. В., Устинов В. В.
Методика оценки натренированности пилотов с учетом показателей качества техники пилотирования..... 30

Максимов В. Н., Кондратьев К. В., Матюха Н. В., Максимов П. Н.
Построение математической модели активной системы компенсации веса для проведения модальных испытаний слабодемпфированных аэрокосмических конструкций 38

Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В.
Анализ обеспечения целостности сигнала на печатной плате при проектировании высокопроизводительных вычислительных устройств..... 47

Рабаданов М. Х., Магомедова С. Р., Ниналалов С. А.
Некоторые аспекты цифровой трансформации университета..... 58

Цао И.
Метод захвата движущегося объекта манипулятором на основе обучения с подкреплением 66

Шабля В. О., Коноваленко С. А., Галямин Н. А., Орлов Е. О.
Анализ существующих источников знаний в виде баз данных уязвимостей автоматизированных систем 74

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Богнюков А. А., Зорькин Д. Ю., Лагунов Е. Н.
Сравнительный анализ образовательных показателей России и Новой Зеландии..... 83

ИСТОРИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ

Вайсфельд Л. И.
В память о деятельности ученого Лашкевича Юрия Ильича..... 93

CONTENTS

ENGINEERING

Bogoslovsky A. V., Razinkov S. N., Syomka E. V., Buslaev A. B.
Efficiency improvement of power supply for target loads of unmanned aerial systems during secondary power sources control 6

Dyomko A. I.
On correlation and spectral characteristics of Barker codes 14

Dobrynin A. I., Grigorenko V. V.
Development of information-analytical system for accounting, control, and analysis of family finances 23

Kashkovsky V. V., Ustinov V. V.
Assessment methods for pilot proficiency considering quality indicators of flight technique 30

Maksimov V. N., Kondratyev K. V., Matyukha N. V., Maksimov P. N.
Mathematical model building of active weight compensation system for conducting modal tests of lightly damped aerospace structures 38

Pirogov A. A., Khoroshailova M. V., Nazarenko N. G., Syomka E. V.
Signal integrity control analysis on printed circuit board in design of high-performance computing devices 47

Rabadanov M. Kh., Magomedova S. R., Ninalalov S. A.
Some aspects of university digital transformation 58

Cao Y.
Reinforcement learning-based method for grasping moving object with robotic manipulator 66

Shablya V. O., Konovalenko S. A., Galyamin N. A., Orlov E. O.
Analysis of existing knowledge sources in form of vulnerability databases for automated systems 74

PHYSICS AND MATHEMATICS

Bognyukov A. A., Zorkin D. Yu., Lagunov E. N.
Comparative analysis of educational indicators in Russia and New Zealand 83

TIMELINE, RECORDS, DISCUSSIONS

Weisfeld L. I.
In tribute to scientist Yuriy I. Lashkevich 93

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Научная статья
УДК 623.746-519 + 621.311.6
https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-1

CC BY 4.0

Повышение эффективности энергообеспечения целевых нагрузок беспилотных авиационных систем при управлении вторичными источниками питания

Андрей Вячеславович Богословский, Сергей Николаевич Разиньков, Элеонора Викторовна Сёмка✉, Алексей Борисович Буслаев
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия

Аннотация. В работе показано, что наибольшей результативностью мониторинга обстановки в протяженных районах выполнения задач обладают многоцелевые комплексы на базе беспилотных летательных аппаратов типа «Грант-М», «Орлан-10», «Феникс», «ВТ-30 Е,–45,–440» «Рапира», у которых источником питания аппаратуры полезной нагрузки служат аккумуляторные батареи со стабилизаторами напряжений МДМ-Р. На основе летных исследовательских экспериментов выявлена низкая эффективность вторичных источников питания и обоснована актуальность улучшения энергообеспечения целевых нагрузок беспилотных авиационных систем. Установлены причины разряда бортовых аккумуляторных батарей с модульными преобразователями напряжений. Проведены измерения величин токов утечки (потребления) и коэффициента полезного действия на холостом ходу в зависимости от входного напряжения.

Разработана схема устройства контроля питающих токов и напряжений на основе 8-битного микроконтроллера ATmega32U4. Выбор чипа обусловлен возможностью перепрограммирования области его программной памяти внутрисистемно через последовательный SPI интерфейс стандартным программатором. Рассмотрена принципиальная схема включения микроконтроллера по протоколам I^2C и SPI. На языке Rust создано программное обеспечение для поддержки работы с различными классами и объектами C++, что позволило организовать прием и передачу информации о контролируемых токах и напряжениях полезной нагрузки беспилотного летательного аппарата по каналу связи на наземный пункт управления.

С применением современных схемотехнических решений в цепях электропитания предложена схема маломощного преобразователя напряжения на базе коммутатора и подготовлена циклограмма его работы. Применение разработанного маломощного преобразователя позволяет снизить потребляемую мощность в дежурном режиме до 50 раз.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, стабилизация напряжения, маломощный преобразователь, вторичный источник электропитания, целевая нагрузка

Для цитирования: Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В., Буслаев А. Б. Повышение эффективности энергообеспечения целевых нагрузок беспилотных авиационных систем при управлении вторичными источниками питания // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 2. С. 6–13. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-1.

© Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В., Буслаев А. Б., 2025

Original article

Efficiency improvement of power supply for target loads of unmanned aerial systems during secondary power sources control

Andrey V. Bogoslovsky, Sergey N. Razinkov, Eleonora V. Syomka✉, Aleksey B. Buslaev
Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia

Abstract. The paper shows that multipurpose systems using Grant-M, Orlan-10, Phoenix, VT-30E, -45, -440, and Rapira unmanned aerial vehicles provide the most effective monitoring of situations across large task performance areas. The power source for the payload equipment in them is supplied by storage batteries with MDM-R voltage stabilizers. Flight research experiments reveal the low efficiency of secondary power sources and substantiated the need to improve the power supply of target loads of unmanned aircraft systems. The causes of discharge of onboard storage batteries with modular voltage converters are established. The leakage current (consumption) values and the efficiency at idle are measured depending on the input voltage.

A circuit diagram of a supply current and voltage control device based on an 8-bit ATmega32U4 microcontroller has been developed. The choice of the chip is conditioned by the possibility of reprogramming internally its memory via a serial SPI interface using a standard programmer. The basic circuit diagram of the microcontroller connection via the I^2C and SPI protocols is considered. Software for supporting work with various C++ classes and objects has been created in the Rust language, which made it possible to organize the reception and transmission of information about the monitored currents and voltages of the unmanned aerial vehicle payload via a communication channel to a ground control station.

Using modern circuit solutions in power supply circuits, a circuit diagram of a low-power voltage converter based on a switch is proposed and a cyclogram of its operation is prepared. The use of the developed low-power converter allows reducing the power consumption in a standby mode by up to 50 times.

Keywords: unmanned aerial vehicle, voltage stabilization, low-power converter, secondary power source, target load

For citation: Bogoslovsky A. V., Razinkov S. N., Syomka E. V., Buslaev A. B. Efficiency improvement of power supply for target loads of unmanned aerial systems during secondary power sources control. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(2):6–13. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-1.

ВВЕДЕНИЕ

Применение беспилотных систем играет решающую роль в завоевании превосходства в воздухе. Наибольшей эффективностью мониторинга обстановки в протяженных районах выполнения задач обладают комплексы на базе беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Их основное преимущество заключается в способности длительного пребывания в воздухе с оперативным переносом усилий в заданные позиционные районы (на угрожаемые направления) [1–6].

Анализ специфики эксплуатации БЛА самолетного типа «Грант-М» (ООО «НПКЦ «НОВИК-91»), «Орлан-10» (ООО «СТЦ») и «Феникс» (ООО «НПП «НТТ»), беспилотных вертолетных систем «ВТ-30 Е, -45, -440» и комплекса летающее крыло «Рапира» (АО «НПП «Радар ммс») в полевых условиях показал (рис. 1), что этап подключения целевой нагрузки к первичному источнику бортового электропитания – генератору занимает длительное время и зачастую приводит к выводу из строя дорогостоящей аппаратуры. Поэтому целевые нагрузки с аккумуляторными батареями (АКБ), выступающими в роли вторичных источников электропитания, размещаются в транспортных отсеках, что позволяет оперативно менять состав систем сбора данных в зависимости от обстановки и выполняемых задач [7–9].

Для стабилизации напряжения в представленных БЛА могут применяться блоки IV

© Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В., Буслаев А. Б., 2025

Рис. 1. Образцы БЛА: а) «Грант-М»; б) «Орлан-10»; в) «Феникс»; г) БВС ВТ-45; д) «Рапира»
Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

поколения МДМ-Р (рис. 2), являющиеся ультракомпактными преобразователями с высокой энергетической плотностью до 6 КВт/дм^3. Однако при их практической эксплуатации регистрируются высокие уровни токов утечки и нагрев, обусловленные топологией модульного исполнения. В результате происходит разряд АКБ в полете, что существенно сокращает время работы полезной нагрузки по назначению.

Проведенная серия летных исследовательских экспериментов показала, что АКБ БЛА «Грант-М» с подключенной бортовой малогабаритной РЛС «Квазар» мощность 1 Вт по прибытии в район мониторинга обстановки в большинстве случаев полностью разряжалась [10–11]. Поэтому исследования, связанные с повышением автономности беспилотных комплексов за счет применения современных схемотехнических решений в цепях электропитания, являются актуальными.

Цель работы – разработка электрической схемы маломощного преобразователя напряжения, позволяющей повысить эффективность энергообеспечения целевых нагрузок комплексов на беспилотных летательных аппаратах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование величин токов утечки. Совместно с отечественным разработчиком модульных преобразователей и систем электропитания произведены измерения величин потребления тока на холостом ходу (ХХ) в зависимости от входного напряжения. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения потребляемого тока на холостом ходу

$U_{вх}$, В	*I* потребления, А
15	0,372
22	0,312

Примечание: составлено авторами.

Установлено, что при входном напряжении 15…22 В ток потребления составляет 0,312…0,372 А.

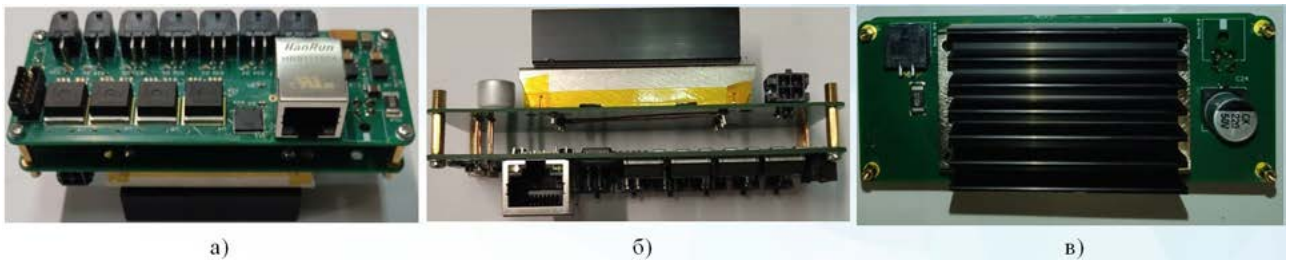


Рис. 2. Внешний вид МДМ-Р:
а) со стороны компонентов; б) со стороны разъемов подключения; в) вид снизу
Примечание: составлено авторами.

© Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В., Буслаев А. Б., 2025

На рис. 3 показаны найденные зависимости коэффициента полезного действия (КПД) модуля МДМ-Р от величины входного напряжения.

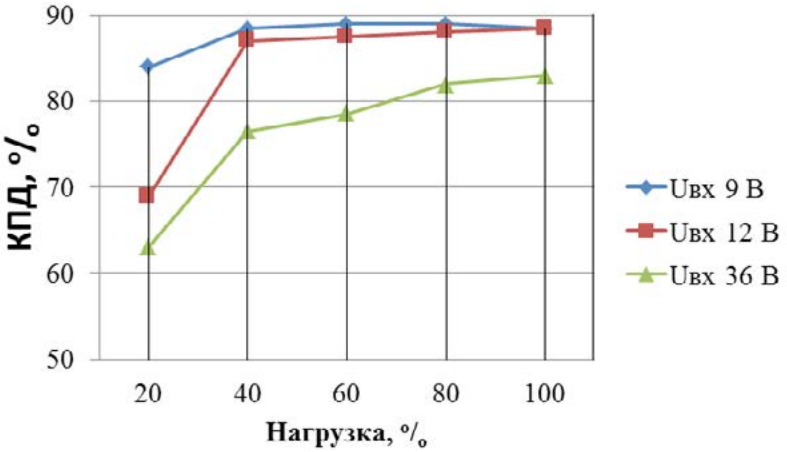


Рис. 3. Измеренные значения КПД модуля МДМ-Р
Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

Отмечаются высокие значения КПД – порядка 85…90% в диапазоне 40…100% нагрузки.

Измеренные потребление и нагрев для МДМ-Р являются следствием конфигурации компонентов схемы. Прямоходовой преобразователь, с синхронным выпрямлением, содержащий МОП-транзисторы в выходном каскаде, позволяет достигать высокого КПД в широком диапазоне нагрузки, но на ХХ вызывает повышенный расход из-за самоподгрузки.

Управление бортовым электропитанием. Для организации управления бортовой полезной нагрузки, установленной на БЛА «Грант-М», применяется канал связи, структурная схема которой приведена на рис. 4.

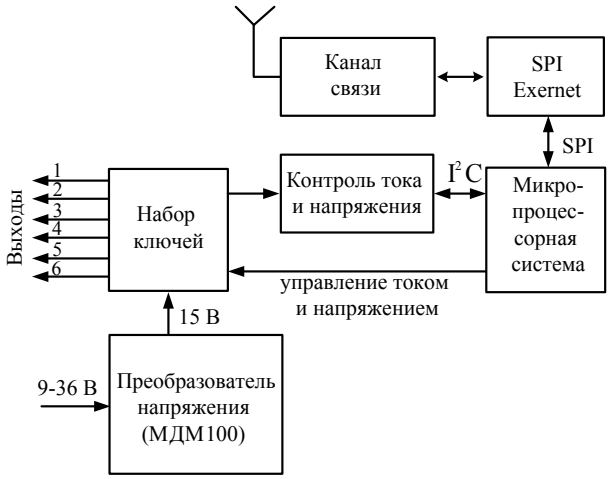


Рис. 4. Структурная схема устройства контроля питающих токов и напряжений
Примечание: составлено авторами.

Основными элементами структурной схемы управления являются радиомодем дециметровых волн и антенный модуль, образующие канал связи. По каналу управления осуществляется контроль потребляемых напряжений и токов.

Для передачи информации побитно с фиксированными интервалами времени используются последовательные интерфейсы SPI и I^2C. Их особенность состоит в том, что протокол SPI использует четыре сигнальные линии для связи между частями, а протокол I^2C – две.

По шине SPI (линий SCLK, MOSI, MISO, $\overline{\text{RESET}}$) применяется одно управляющее устройство (MASTER), а количество периферийных устройств может быть неограниченно. Скорость передачи данных превышает 10 Мбит/с, что способствует трансляции больших объемов информации. Протокол I^2C (линий SCL, SDA) может задействовать несколько мастеров на одной шине.

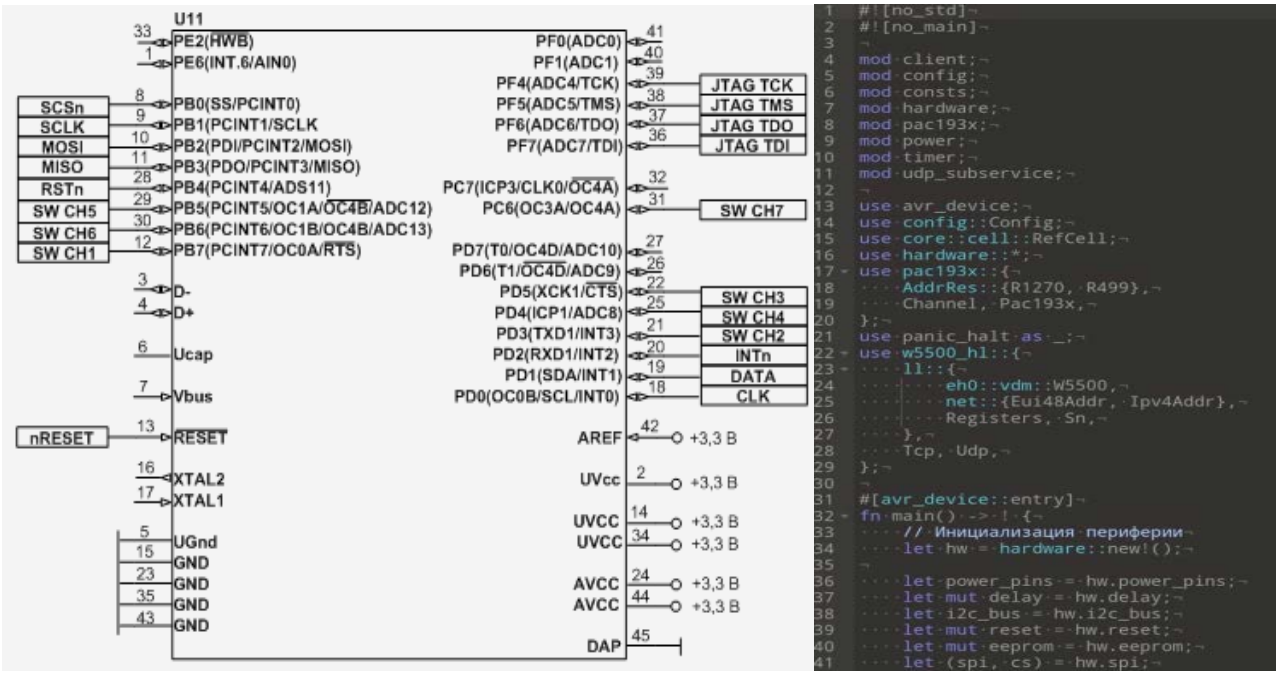
Для реализации вышеперечисленных протоколов в модуле управления питанием используется 8-битный микроконтроллер ATmega32U4 [12], произведенный по технологии энергонезависимой памяти высокой плотности, а встроенная ISP FLASH-память позволяет перепрограммировать область программной памяти внутрисистемно через последовательный SPI интерфейс стандартным программатором. Микроконтроллер ATmega32U4 потребляет

© Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В., Буслаев А. Б., 2025

небольшой объем энергии в связи с возможностью быстрого перехода в нормальный режим работы из режима ожидания, имеет высокую гибкость и экономическую эффективность во встраиваемых системах управления.

Принципиальная схема включения микроконтроллера представлена на рис. 5а, где передача данных по протоколу I²C осуществляется на выводах 18, 19, а по протоколу SPI – на выводах 9, 10, 11, 28. С помощью выводов 22, 25, 21, 29, 30 и 12 осуществляется выбор источников, с которыми осуществляется обмен данными по определению номера канала и значений токов и напряжений в нем.

Программное обеспечение для микроконтроллера разрабатывалось на языке Rust, что позволяло генерировать оболочки для работы с различными классами и объектами C++. Фрагмент программы инициализации периферии, обеспечивающей обмен данными по протоколам SPI и I²C, представлен на рис. 5б.



а) **б)**

Рис. 5. Организация управления по интерфейсу SPI и I²C:
а) схема включения ATmega32U4; б) программа инициализации
Примечание: составлено авторами.

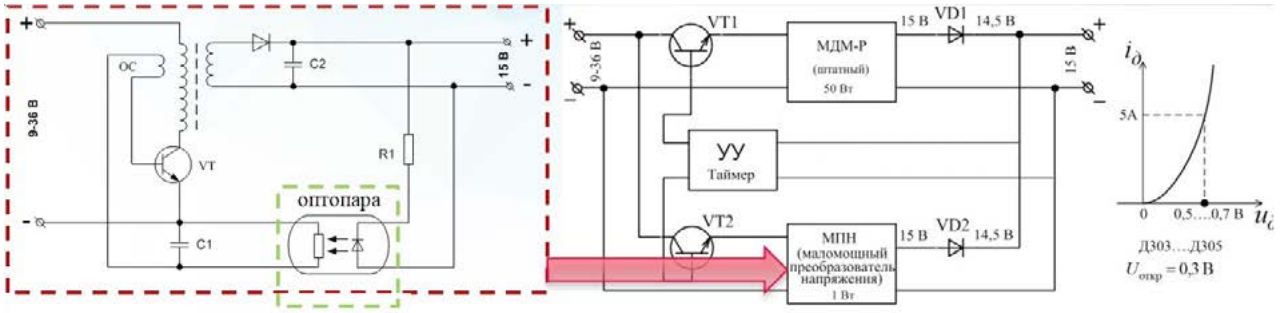
Применение микроконтроллера ATmega 32U4 обеспечивает прием и передачу информации о контролируемых токах и напряжениях полезной нагрузки БЛА по каналу связи на наземный пункт управления.

Маломощный преобразователь напряжения. Для снижения расхода мощности на ХХ предложено подключить к штатному преобразователю МДМ-Р маломощный преобразователь напряжения (МПН), а переключение между ними организовать с помощью транзисторов, которыми управляет устройство управления (УУ), представляющее собой электронный коммутатор (таймер), потребляющий незначительный ток от штатного преобразователя напряжений или от МПН, которые одновременно выключенными не могут быть, как показано на рис. 6б. В принципе в качестве ключей вместо транзисторов VT1, VT2 (рис. 6б) могут быть использованы специализированные мощные ключевые элементы.

Маломощный преобразователь напряжения содержит автогенератор с трансформаторной обратной связью, выпрямитель для получения напряжения 15 В и стабилизатор напряжения через оптопару (рис. 6а).

Цепь обратной связи функционирует в двух режимах:

© Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В., Буслаев А. Б., 2025



а) **б)**

Рис. 6. Применение МПН:
а) принципиальная схема МПН; б) функциональная схема коммутации источников питания
Примечание: составлено авторами.

– при отсутствии нагрузки напряжение повышается, светодиод оптопары светится ярче, напряжение на фоторезисторе оптопары повышается и запирает транзистор;

– при подключении нагрузки напряжение уменьшается, светодиод оптопары светится слабее, следовательно, на фоторезисторе оптопары напряжение уменьшается, транзистор открывается, и выходное напряжение увеличивается до 15 В.

На диодах Д303…Д305 падение напряжения составит с 15 до 14,5 В, как показано в правой части рис. 6.

Маломощный преобразователь необходим для поддержания в первоначальное время значений 15 В. При отключении основного преобразователя напряжения потребление тока маломощным преобразователем будет порядка 10–15 мА для сохранения 15 В дежурного режима.

Циклограмма управления таймером переключения преобразователей напряжения приведена на рис. 7.

Время на включение МДМ-Р и выключение МПН составляет Δt = 0,5…1 с.

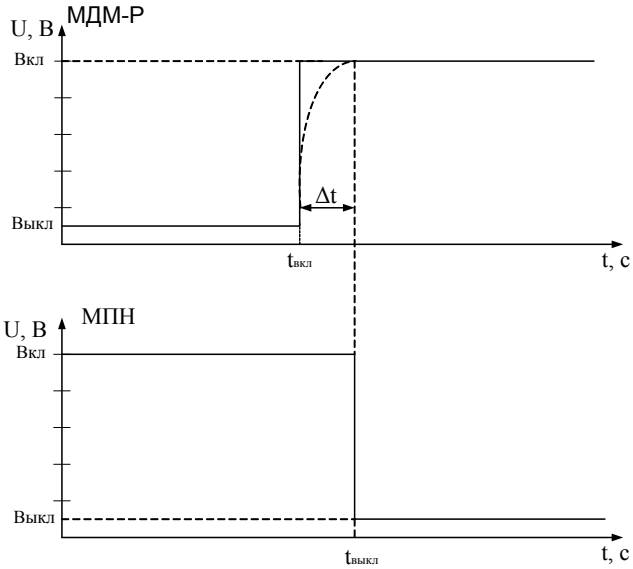


Рис. 7. Циклограмма работы УУ
Примечание: составлено авторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение маломощного преобразователя с устройством управления в виде электронного коммутатора позволит повысить энергообеспечение БЛА в 50 раз, что увеличит время воздушной разведки и объем информационного обеспечения.

Список источников

1. Антонов Д. А. Авиация ВВС России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра : моногр. / под ред. Е. А. Федосова. М. : Дрофа, 2005. 732 с.
2. Переверзев А. Л., Разинькова О. Э., Тимошенко А. В. Перспективы применения малозаметных беспилотных радиотехнических комплексов в интересах разведки и контроля воздушного пространства // Вестник воздушно-космической обороны. 2020. № 4. С. 42–46.

References

1. Antonov D. A. Aviatsiya VVS Rossii i nauchno-tekhnicheskii progress. Boevye kompleksy i sistemy vchera, segodnia, zavtra. Monograph. Fedosov E. A., ed. Moscow: Drofa; 2005. 732 p. (In Russ.).
2. Pereverzev A. L., Razinkova O. E., Tymoshenko A. V. Prospects of stealthy unmanned radio complex use in the interest of airspace reconnaissance and control. *Vestnik vozdushno-kosmicheskoi oborony*. 2020;(4):42–46. (In Russ.).

© Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В., Буслаев А. Б., 2025

3. Белов С. Г., Верба В. С., Глаголев В. А. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. Кн. 2. : моногр. / под ред. В. С. Вербы, Б. Г. Татарского. М. : Радиотехника, 2016. 824 с.
4. Веремеенко К. К., Головинский А. Н., Инсаров В. В. и др. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / под ред. М. Н. Красильщикова, Г. Г. Себрякова. М. : Наука, 2003. 280 с.
5. Моисеев В. С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами : моногр. Казань : Республиканский центр мониторинга качества образования, 2013. 768 с.
6. Пономарев А. А., Межуев М. В., Дмитриев С. А. Оптимизация маршрута летательного аппарата, определяющего местоположение цели по ее угловым координатам // Успехи современной радиоэлектроники. 2012. С. 18–22.
7. Донсков Ю. Е., Богословский А. В., Матвеев Д. С. Способы применения беспилотных летательных аппаратов радиотехнической разведки в ходе ведения боевых действий в тактической зоне // Военная мысль. 2021. № 8. С. 64–70.
8. Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В. Обоснование электронной компонентной базы для автогенераторов при навигационном обеспечении беспилотных летательных аппаратов // Вестник кибернетики. 2023. Т. 22, № 1. С. 6–15. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2023-1-6-15.
9. Богословский А. В., Разиньков С. Н., Разинькова О. Э. Дальность обнаружения воздушных объектов широкополосными системами активно-пассивной радиолокации // Антенны. 2023. № 2. С. 32–43.
10. Разиньков С. Н., Богословский А. В., Гордиенко С. А. Экспериментальное определение местоположения источников радиоизлучений с применением высокомобильного цифрового обнаружителя-пеленгатора // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2022. № 81. С. 21–31.
11. Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В. и др. Применение программируемых логических интегральных схем в системах многоканальной цифровой обработки сигналов спутниковой навигации // Вестник кибернетики. 2023. Т. 22, № 2. С. 13–20. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2023-2-13-20.
12. Преобразователь МДМ100-Р. URL: https://aedon.ru/catalog/dcdc/models/89 (дата обращения: 04.11.2024).

3. Belov S. G., Verba V. S., Glagolev V. A. Kompleksy s bespilotnymi letatelnymi apparatami. Book 2. Monograph. Verba V. S., Tatarskiy B. G., eds. Moscow: Radiotekhnika; 2016. 824 p. (In Russ.).
4. Veremeenko K. K., Golovinskii A. N., Insarov V. V. et al. Upravlenie i navedenie bespilotnykh manevrennykh letatelnykh apparatov na osnove sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy. Krasilshchikov M. N., Sebryakov G. G., eds. Moscow: Nauka; 2003. 280 p. (In Russ.).
5. Moiseev V. S. Prikladnaya teoriya upravleniya bespilotnymi letatelnymi apparatami. Monograph. Kazan: Respublikanskii tsentr monitoringa kachestva obrazovaniya; 2013. 768 p. (In Russ.).
6. Ponomarev A. A., Mezhuev M. V., Dmitriev S. A. Flying device route optimization for bearings-only target location. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*. 2012:18–22. (In Russ.).
7. Donskov Yu. E., Bogoslovsky A. V., Matveyev D. S. Methods of using unmanned aerial vehicles of electronic intelligence collection during combat actions in the tactical zone. *Voennaya Mysl'*. 2021;(8):64–70. (In Russ.).
8. Bogoslovsky A. V., Razinkov S. N., Syomka E. V. Validation of the electronic component base for self-excited oscillators in navigating unmanned aerial vehicles. *Proceedings in Cybernetics*. 2023;22(1):6–15. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2023-1-6-15. (In Russ.).
9. Bogoslovsky A. V., Razinkov S. N., Razinkova O. E. Dalnost obnaruzheniya vozdushnykh obieektov shirokopolosnymi sistemami aktivno-passivnoi radiolokatsii. *Antenny*. 2023;(2):32–43. (In Russ.).
10. Razinkov S. N., Bogoslovskii A. V., Gordienko S. A. Eksperimentalnoe opredelenie mestopolozheniya istochnikov radioizluchenii s primeneniem vysokomobilnogo tsifrovogo obnaruzhitelia-pelengatora. *Vestnik Riazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2022;(81):21–31. (In Russ.).
11. Bogoslovsky A. V., Razinkov S. N., Syomka E. V. et al. Applying field programmable gate arrays in systems of multichannel digital processing of satellite navigation signals. *Proceedings in Cybernetics*. 2023;22(2):13–20. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2023-2-13-20. (In Russ.).
12. Preobrazovatel MDM100-R. URL: https://aedon.ru/catalog/dcdc/models/89 (accessed: 04.11.2024). (In Russ.).

Информация об авторах

А. В. Богословский – кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры радиоэлектроники;
https://orcid.org/0000-0002-6469-3366,
bogosandrej@yandex.ru

About the authors

A. V. Bogoslovsky – Candidate of Sciences (Engineering), Docent, Deputy Head of the Radio Electronics Department;
https://orcid.org/0000-0002-6469-3366,
bogosandrej@yandex.ru

© Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В., Буслаев А. Б., 2025

С. Н. Разиньков – доктор физико-математических наук, профессор, доцент;
https://orcid.org/0000-0002-3987-0607,
razinkovsergey@rambler.ru

Э. В. Сёмка – кандидат физико-математических наук, доцент;
https://orcid.org/0000-0002-0194-6979,
semka_elya@mail.ru✉

А. Б. Буслаев – кандидат технических наук, доцент;
https://orcid.org/0000-0002-1777-4921,
bus-alex@yandex.ru

S. N. Razinkov – Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, Docent;
https://orcid.org/0000-0002-3987-0607,
razinkovsergey@rambler.ru

E. V. Syomka – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Docent;
https://orcid.org/0000-0002-0194-6979,
semka_elya@mail.ru✉

A. B. Buslaev – Candidate of Sciences (Engineering), Docent;
https://orcid.org/0000-0002-1777-4921,
bus-alex@yandex.ru

© Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В., Буслаев А. Б., 2025

Научная статья
УДК 621.396.962.25
https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-2

CC BY 4.0

О корреляционных и спектральных характеристиках кодов Баркера

Анатолий Ильич Дёмко
Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

Аннотация. Исследование посвящено анализу автокорреляционных функций и спектров сигналов на основе бинарных и многофазных кодов Баркера. Цель работы – исследование влияния параметров последовательности и точности задания фаз на корреляционные и спектральные характеристики. Методология включает расчет нормированных автокорреляционных функций, оценку уровня боковых лепестков и спектральный анализ с учетом практических ограничений на фазовращатели. Показано, что многофазные коды Баркера имеют более сложную структуру автокорреляционных функций с нерегулярными боковыми лепестками по сравнению с бинарными кодами. При увеличении числа элементов спектр сигнала становится более нерегулярным, приближаясь к спектру одиночного радиоимпульса. Поскольку задание фазы с необходимой расчетной точностью практически нереализуемо, предложено использовать набор дискретных фазовращателей для сохранения приемлемых корреляционных свойств. Представлены рекомендации по выбору числа фазовращателей для достижения оптимальных характеристик. Научная новизна состоит в количественной оценке влияния квантования фазы на свойства многофазных кодов Баркера и практических рекомендациях по их реализации.

Ключевые слова: код Баркера, спектр, сигнальное созвездие, боковые лепестки, автокорреляционная функция, квантование фазы

Для цитирования: Дёмко А. И. О корреляционных и спектральных характеристиках кодов Баркера // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 2. С. 14–22. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-2.

Original article

On correlation and spectral characteristics of Barker codes

Anatoly I. Dyomko
Surgut State University, Surgut, Russia

Abstract. The study is devoted to the analysis of autocorrelation functions and spectra of signals based on Barker codes, both binary and polyphase. The aim of the work is to study the influence of the number of sequence elements and options for providing calculated phase values on the correlation and spectral characteristics of signals. The methodology includes the calculation of normalized autocorrelation functions, estimation of the side lobes level, and spectral analysis, taking into account practical limitations on phase shifters. It is shown that polyphase Barker codes have a more complex structure of autocorrelation functions with irregular side lobes compared to binary codes. As the number of elements increases, the signal spectrum becomes more irregular, approaching the spectrum of a single radio pulse. Since it is practically impossible to set the phase with the required computational accuracy, it is proposed to use a set of specific phase shifters to maintain acceptable correlation properties. Recommendations on the choice of the number of phase shifters to achieve optimal characteristics are presented. The scientific novelty consists in a quantitative assessment of the effect of phase quantization on the properties of polyphase Barker codes and practical recommendations for their implementation.

Keywords: Barker code, spectrum, constellation diagram, side lobes, autocorrelation function, phase quantization

© Дёмко А. И., 2025

For citation: Dyomko A. I. On correlation and spectral characteristics of Barker codes. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(2):14–22. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-2.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие теории сигналов исторически тесно взаимосвязано с техникой их формирования и обработки. В последнее время важным фактором становится вычислительная часть, включающая в себя алгоритмы и возможности цифровых устройств. В связи с этим можно констатировать уменьшение появления новых сигналов, ориентированных на аналоговые способы формирования, и взрывной рост появления числа новых дискретно-кодированных сигналов. Сложные радиоимпульсные дискретно-кодированные сигналы могут иметь хорошие корреляционные свойства, определяемые структурой нулевого сечения функции неопределенности (ФН), автокорреляционной функцией (АКФ), при реализуемых высокостабильных схемах формирования и оптимальной обработки. Несмотря на многочисленные исследования в области сложных сигналов, дополнительные исследования в этой области имеют большое не только теоретическое, но и практическое значение.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Известны радиоимпульсные сигналы с нулевым уровнем боковых лепестков (УБЛ) нулевого сечения периодической функции неопределенности (ПФН) на основе кодов Фрэнка [1] и радиоимпульсных сигналов с квадратичным изменением начальных фаз [2]. В большинстве случаев на практике приходится иметь дело с сигналами и системами их обработки, в которых используется нулевое сечение функции неопределенности, которое для сложных сигналов имеет ненулевые боковые лепестки.

В источнике [3] обоснованы и введены усредненные параметры, характеризующие корреляционные свойства радиоимпульсных последовательностей из N радиоимпульсов, следующих с периодом T:

1. Коэффициент оценки уровня боковых лепестков (1):

$$k_{N-1} = -20\lg(N),\ дБ, \qquad (1)$$

определяющий минимаксное значение УБЛ АКФ;

2. Коэффициент оптимальности (2):

$$k_{опт} = k_{N-1} - M_{\max} = -20\lg(N) - M_{\max},\ дБ, \qquad (2)$$

характеризующий степень превышения максимального УБЛ M_{max} АКФ над потенциально достижимым.

В работе используются результаты моделирования и расчетов в программе MATLAB.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известные коды Баркера [4] позволяют создавать дискретно-кодированные радиоимпульсные последовательности с постоянной величиной максимального бокового лепестка АКФ. Такие сигналы позиционируются как сигналы с идеальными корреляционными свойствами, для которых УБЛ АКФ совпадает с коэффициентом оценки УБЛ (1) при нулевом значении коэффициента оптимальности.

Первоначально были предложены бинарные коды Баркера [5] для последовательностей из 2, 3, 4, 5, 7, 11 и 13 элементов, причем для 2 и 4 элементов существуют по два варианта последовательностей. В дальнейшем разработаны [6], [7] и [8] многофазные коды Баркера из 6, 8, 9, 10, 12 и от 14 до 52 элементов, причем число различных последовательностей при фиксированном числе элементов достигает 3015.

Многофазные коды Баркера можно разделить на две категории:

– коды с ограниченным набором дискретных целочисленных значений фаз (3–5) в интервале от 0° до 360°;

– коды, для которых значения фазы не выбираются из ряда целочисленных значений и представляются вещественными числами с тремя знаками после запятой в интервале от 0° до 360°.

Для примера в табл. 1 приведены бинарные и многофазные коды Баркера для 13 и 14 элементов в последовательности.

© Дёмко А. И., 2025

Таблица 1

Значения фазы в соответствии с кодом Баркера

***N*/n**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
13	0°	0°	0°	0°	0°	180°	180°
13	0°	0°	180°	180°	60°	60°	120°
14	0°	0°	1,709°	286,585°	347,346°	128,366°	90,757°

Таблица 1. Продолжение

Значения фазы в соответствии с кодом Баркера

***N*/n**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
13	0°	0°	180°	0°	180°	0°	
13	60°	60°	180°	0°	240°	0°	
14	258,734°	349,419°	240,505°	69,074°	57,543°	237,543°	117,543°

Примечание: составлено автором по [5] и [6].

В первой строке табл. 1 представлены значения фазы для бинарного кода Баркера из 13 элементов (два значения фазы: 0° и 180°). Во второй строке табл. 1 представлены значения фазы для многофазного кода Баркера из 13 элементов (пять значений фазы: 0°, 60°, 120°, 180° и 240°). В третьей строке табл. 1 представлены значения фазы для многофазного кода Баркера из 14 элементов (тринадцать значений фазы).

Существуют отличия кодов Баркера в структуре АКФ: для определенного числа элементов боковые лепестки имеют регулярную треугольную (рис. 1 и 2, первая строка табл. 1) форму (для числа элементов в последовательности 2, 3, 4, 5, 7, 11 и 13), а для других форма боковых лепестков нерегулярная (рис. 3, вторая и третья строки табл. 1).

Для удобства анализа и сравнения нормированная АКФ сигнала на основе бинарного кода Баркера из 13 элементов изображена в линейном (рис. 1) и логарифмическом (рис. 2) масштабах. АКФ состоит из области сильной корреляции (главного максимума) треугольной формы протяженностью $2\tau_u$ по оси задержек и области слабой корреляции (боковых лепестков) при других значениях задержки.

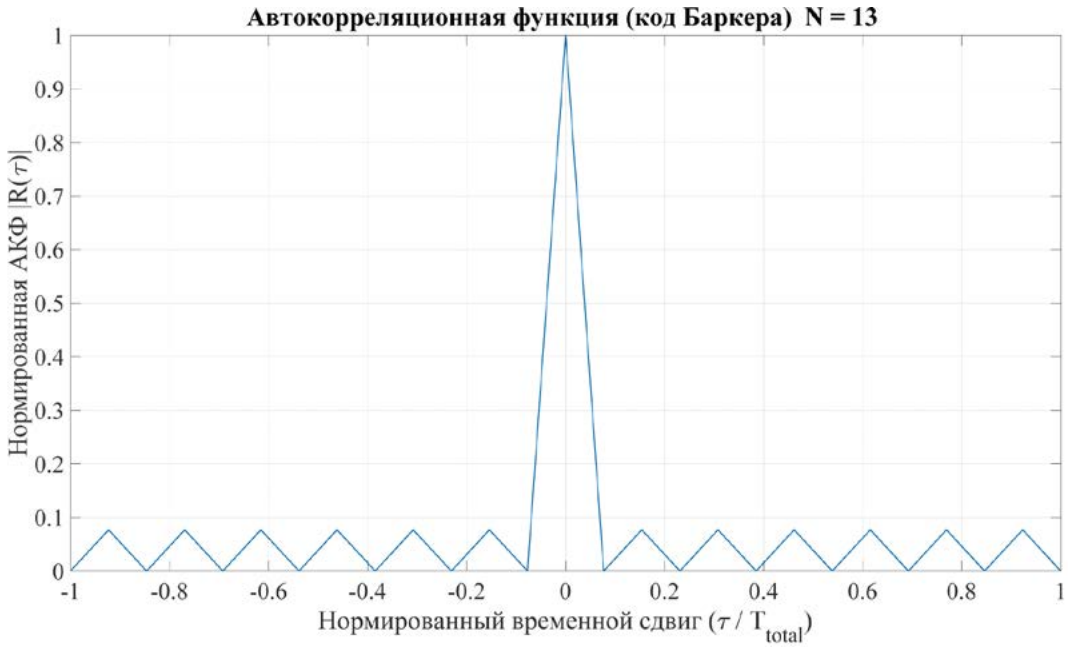


Рис. 1. Нормированная АКФ сигнала (13 элементов бинарного кода Баркера)
Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

© Дёмко А. И., 2025

УБЛ АКФ сигнала на основе бинарного кода Баркера из 13 элементов имеет постоянные не зависящие от задержки уровни максимальных значений (-22, 28 дБ), соответствующие (1).

Нормированная АКФ сигнала на основе многофазного кода Баркера (рис. 3) из 13 элементов имеет более сложную структуру боковых лепестков при постоянном максимальном значении боковых лепестков во всем интервале –22, 28 дБ.

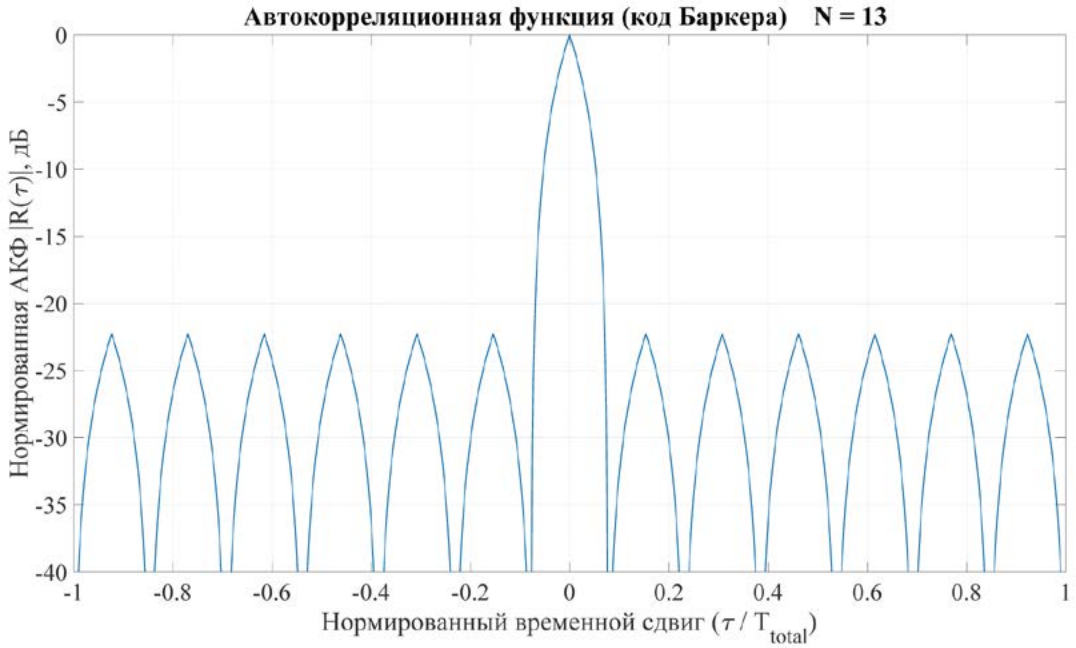


Рис. 2. Нормированная АКФ сигнала (13 элементов бинарного кода Баркера) в логарифмическом масштабе

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

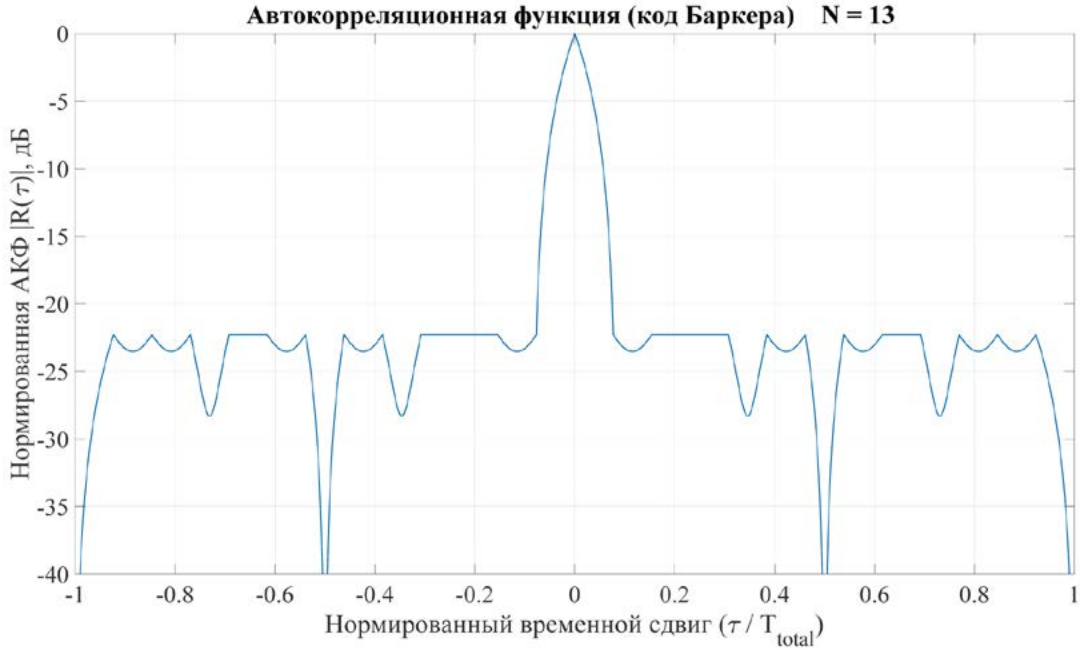


Рис. 3. Нормированная АКФ сигнала (13 элементов многофазного кода Баркера) в логарифмическом масштабе

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

© Дёмко А. И., 2025

На рис. 4 изображено сигнальное созвездие сигнала из 13 элементов многофазного кода Баркера, состоящее из пяти точек с поворотом на 60° между соседними значениями, причем пары точек расположены симметрично относительно друг друга (0° и 180°, 60° и 240°) со сдвигом 180°. При использовании дискретных цифровых фазовращателей [9] и [10] нужны будут лишь два фазовращателя (60° и 120°), поскольку для сигнала с нулевой фазой фазовращатель не требуется, сигнал с фазой 180° реализуется путем инвертирования сигнала с нулевой фазой, а сигнал с фазой 240° реализуется путем инвертирования сигнала с фазой 60°.

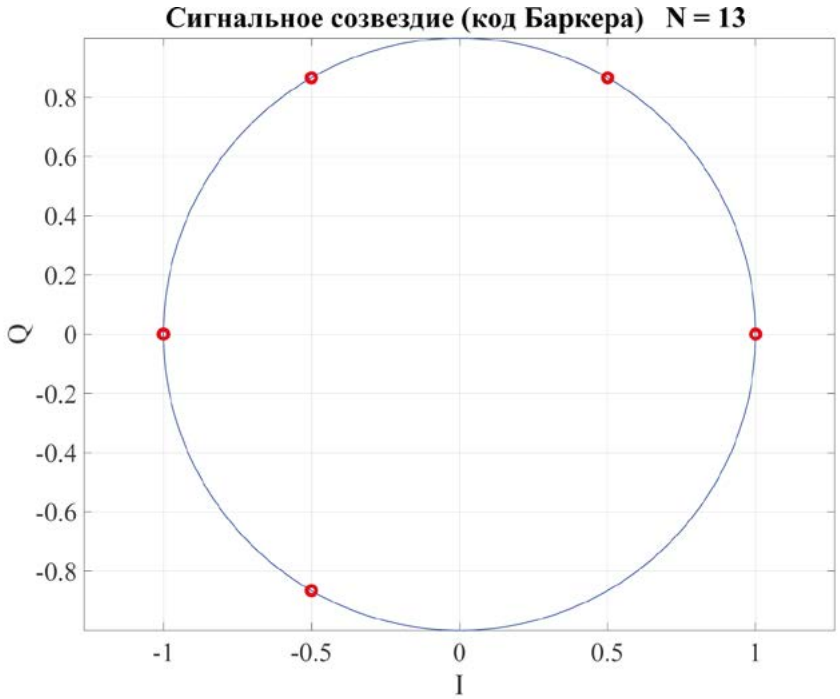


Рис. 4. Сигнальное созвездие сигнала (13 элементов многофазного кода Баркера)
Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

На рис. 5 изображена нормированная АКФ многофазного кода Баркера для последовательности из 14 элементов.

Структура боковых лепестков такая же сложная, как и для многофазного кода Баркера для последовательности из 13 элементов, при постоянном максимальном значении УБЛ во всем интервале –22, 92 дБ, что также соответствует (1).

На рис. 6 изображено сигнальное созвездие сигнала на основе многофазного кода Баркера для последовательности из 14 элементов, состоящее из тринадцати точек, расположенных достаточно нерегулярно (в отличие от рис. 4) на окружности с неодинаковым поворотом между соседними значениями.

Если оценить точность, с которой представлены в табл. 1 значения фазы для последовательности Баркера из 14 символов, то она составляет 0,00027 % (в предположении максимального значения фазы в 360°), что на практике реализовать невозможно для любых фазовращателей. Путем выполнения расчетов исследовано влияние точности задания фазовых сдвигов на корреляционные свойства рассматриваемых сигналов.

При отбрасывании дробных значений фазы структура АКФ почти не изменилась, УБЛ увеличился на 0,3 дБ, что несущественно.

Далее рассмотрено, сколько нужно дискретных фазовращателей, значения фазы которых отличаются в два раза (180°, 90°, 45°, 22,5°, 11,25°, 5,625°, 2,8125° и т. д.), чтобы обеспечить формирование сигнала на основе кода Баркера с заданной точностью. Установлено, что при использовании шести дискретных фазовращателей (минимальное значение фазового сдвига 5,625°) УБЛ возрастает

© Дёмко А. И., 2025

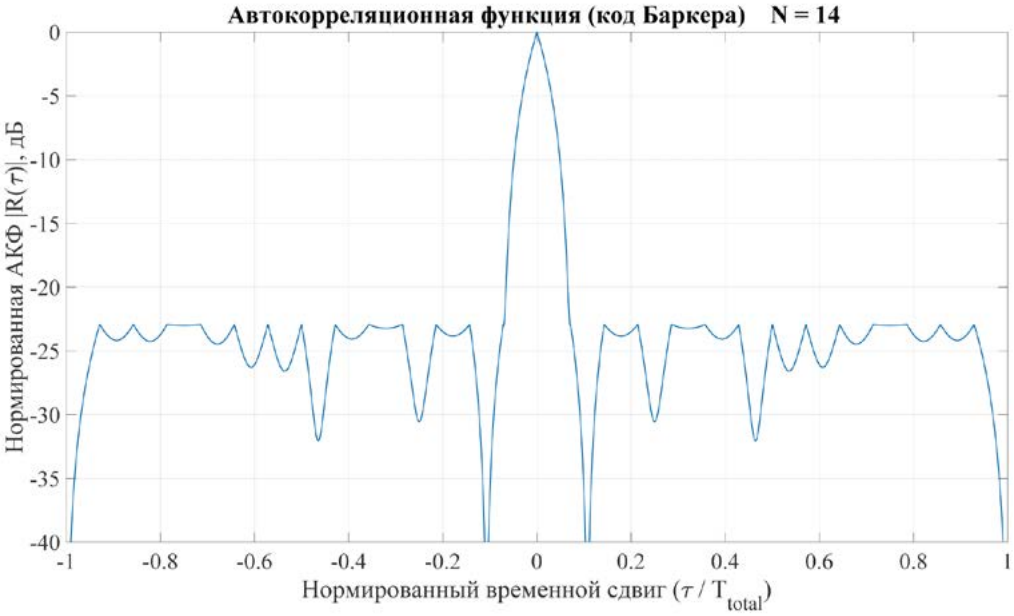


Рис. 5. Нормированная АКФ сигнала (14 элементов многофазного кода Баркера) в логарифмическом масштабе

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

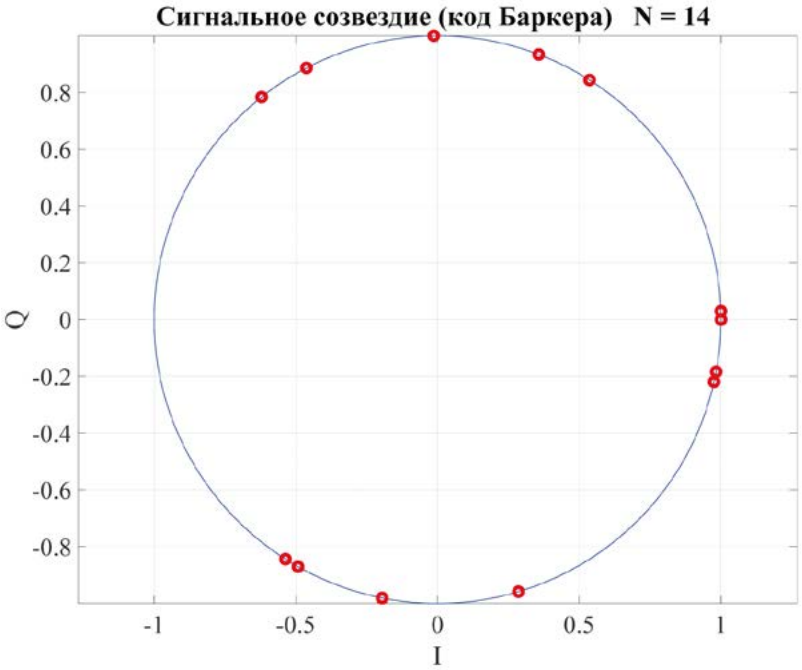


Рис. 6. Сигнальное созвездие сигнала (14 элементов многофазного кода Баркера)

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

на 2,18 дБ относительно расчетного (1), для семи фазовращателей (минимальное значение фазового сдвига 2,8125°) УБЛ возрастает на 0,64 дБ относительно расчетного, а для восьми фазовращателей (минимальное значение фазового сдвига 1,40625°) УБЛ возрастает на 0,58 дБ относительно расчетного. Отсюда следуют практические рекомендации (в зависимости от требований к УБЛ и разрядности памяти для хранения кодов фазы) по практическому использованию сигналов на основе кодов Баркера. При уменьшении числа дискретных фазовращателей сигнальное созвездие становится более регулярным.

© Дёмко А. И., 2025

На рис. 7 изображен спектр сигнала на основе бинарного кода Баркера из 13 элементов.

На рис. 8 изображен спектр сигнала на основе многофазного кода Баркера из 13 элементов.

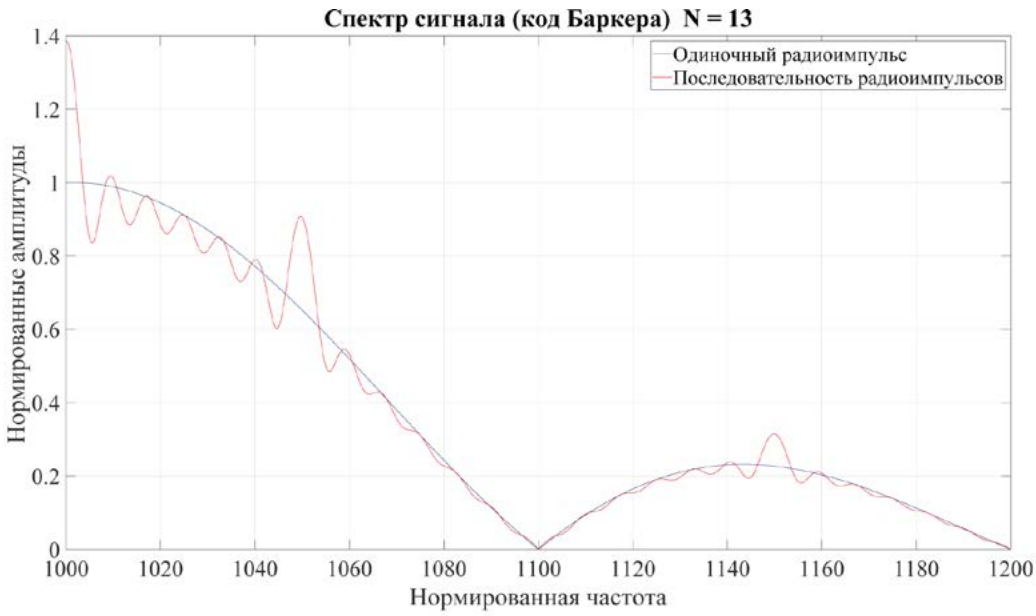


Рис. 7. Амплитудный спектр сигнала на основе бинарного кода Баркера для последовательности из 13 элементов

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

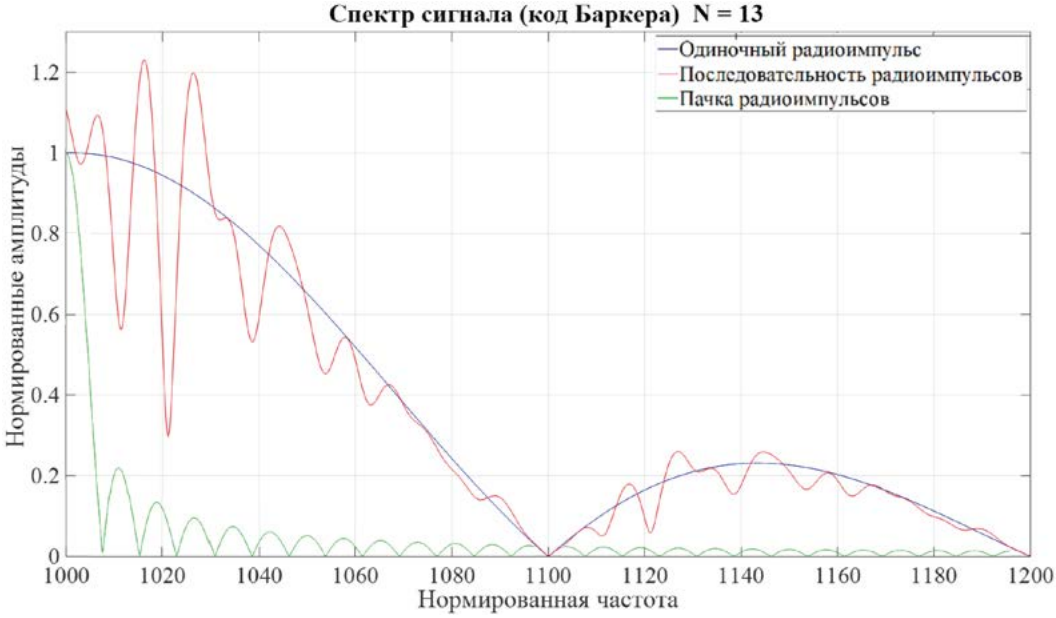


Рис. 8. Амплитудный спектр многофазного кода Баркера для последовательности из 13 элементов

Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

На этом же рисунке приведен спектр одиночного импульса и спектр пачки из 13 радиоимпульсов с одинаковыми начальными фазами. Основная энергия спектральных составляющих сосредоточена в пределах участка, отстоящего от несущей частоты на обратную величину длительности радиоимпульса $1/\tau_и$. Спектр пачки радиоимпульсов намного сильнее сгруппирован около несущей частоты, что наглядно иллюстрирует сложный сигнал на основе кода Баркера: фазовая модуляция (изменение начальной фазы от импульса

© Дёмко А. И., 2025

к импульсу) расширяет спектр по сравнению со спектром пачки радиоимпульсов.

Сравнение спектров фазоманипулированного (рис. 7) и многофазного (рис. 8) сигналов на основе кода Баркера для последовательности из 13 элементов показывает, что для сигнала с более регулярной структурой АКФ (рис. 1) огибающая спектра получается более регулярной (рис. 7).

На рис. 9 изображен спектр многофазного кода Баркера из 52 элементов. Огибающая спектра имеет нерегулярную структуру, в среднем приближаясь к огибающей одиночного радиоимпульса.

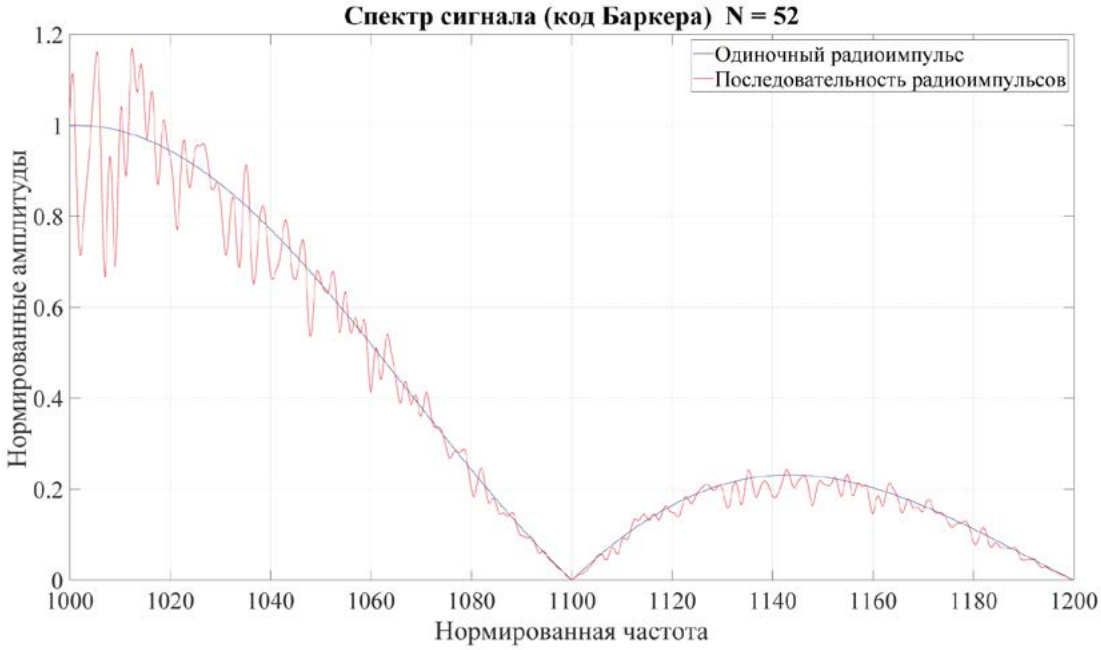


Рис. 9. Амплитудный спектр многофазного кода Баркера для последовательности из 52 элементов
Примечание: составлено автором на основании данных, полученных в исследовании.

С учетом сложного вида огибающей спектра сигнала на основе кода Баркера реализовать оптимальную обработку на основе согласованного фильтра для такого сигнала практически невозможно, следовательно, остается вариант корреляционной (одноканальной или многоканальной) обработки. При увеличении числа элементов в последовательности огибающая спектра сигнала на основе кода Баркера становится более нерегулярной, приближаясь к огибающей спектра одиночного радиоимпульса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью представленного исследования является анализ автокорреляционных функций и спектральных свойств кодов Баркера с акцентом на влияние длины последовательности и типа фазовых параметров на их корреляционные характеристики. Показано, что многофазные коды Баркера, хотя и имеют идеальные корреляционные свойства, очень сложны при практической реализации из-за высоких требований к точности задания фазовых сдвигов. Обоснована количественная оценка влияния квантования фазы на уровень боковых лепестков автокорреляционных функций и даны практические рекомендации по числу необходимых дискретных фазовращателей для достижения приемлемых характеристик. Данная работа восполняет существующий пробел между теоретическими свойствами кодов Баркера и ограничениями их практической реализации. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка схем фазовращателей с повышенной точностью для более полного использования идеальных свойств кодов Баркера в практических приложениях.

© Дёмко А. И., 2025

Список источников

1. Фрэнк Р. Л. Многофазные коды с хорошими непериодическими корреляционными свойствами // Зарубежная радиоэлектроника. 1963. Т. 17, № 12. С. 39–44.
2. Chu D. Polyphase codes with good periodic correlation properties // IEEE Transactions on Information Theory. Vol. 18, no. 4. P. 531–532. https://doi.org/10.1109/TIT.1972.1054840.
3. Дёмко А. И., Алмазова Е. Г. Оценка минимального достижимого уровня боковых лепестков функции неопределенности радиоимпульсных последовательностей // Вестник кибернетики. 2024. Т. 23, № 3. С. 96–102.
4. Дворников С. В., Дворников С. С., Марков Е. В. Модифицированные импульсные последовательности на основе кодов Баркера // Труды учебных заведений связи. 2022. Т. 8, № 1. С. 8–14.
5. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. Теория и применение / пер. с англ. под ред. В. С. Кельзона. М. : Советское радио, 1971. 567 с.
6. Потехин Е. Н., Шувалов А. С., Леухин А. Н. Методы и результаты синтеза апериодических бинарных последовательностей и многофазных последовательностей Баркера // Цифровая Обработка Сигналов. 2013. № 4. С. 45–54.
7. Леухин А. Н., Парсаев Н. В. Бесконечные множества фазокодированных последовательностей с одноуровневой периодической автокорреляционной функцией // Радиотехника. 2009. № 12. С. 6–11.
8. Сьянов В. А. Подавление боковых лепестков составных фазокодомодулированных сигналов на основе кодов Баркера // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2017. № 2. С. 53–56.
9. Алмазова Е. Г., Дёмко А. И. Цифровые формирователи многофазных сигналов // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России : сб. науч. тр. III Всерос. с междунар. уч. науч.-практ. конф., 21–22 апреля 2022 г., г. Сургут. М. : Знание-М, 2022. С. 414–419.
10. Дёмко А. И. Дискретный фазовращатель : патент № 225903 ; заявл. 02.08.2023 ; опубл. 13.05.2024. URL: https://patentimages.storage.googleapis.com/ab/ca/1d/6ec3be39120d21/RU225903U1.pdf (дата обращения: 17.03.2025).

References

1. Frank R. L. Mnogofaznye kody s khoroshimi neperiodicheskimi korrelyatsionnymi svoistvami. *Zarubezhnaya radioelektronika*. 1963;17(12):39–44. (In Russ.).
2. Chu D. Polyphase codes with good periodic correlation properties. *IEEE Transactions on Information Theory.* 1972;18(4):531–532. https://doi.org/10.1109/TIT.1972.1054840.
3. Dyomko A. I., Almazova E. G. Assessment of minimum achievable sidelobes level of ambiguity function for radio pulse sequences. *Proceedings in Cybernetics*. 2024;23(3):96–102. (In Russ.).
4. Dvornikov S. V., Dvornikov S. S., Markov E. V. Modified pulse sequences based on Barker codes. *Proceedings of Telecommunication Universities.* 2022;8(1):8–14. (In Russ.).
5. Cook C., Bernfeld M. Radiolokatsionnye signaly. Teoriya i primenenie. Kelzon V. S., trans. and ed. Moscow: Sovetskoe radio; 1971. 567 p. (In Russ.).
6. Potekhin E. N., Shuvalov A. S., Leukhin A. N. Methods and results synthesis of aperiodic binary sequences and polyphase Barker sequences. *Digital Signal Processing*. 2013;(4):45–54. (In Russ.).
7. Leukhin A. N., Parsaev N. V. Beskonechnye mnozhestva fazokodirovannykh posledovatelnostei s odnourovnevoi periodicheskoi avtokorreliatsionnoi funktsiei. *Radiotekhnika*. 2009;(12):6–11. (In Russ.).
8. Syanov V. A. Suppression of side lobe signals based on compound Barker codes. *Journal of the Russian Universities. Radioelectronics.* 2017;(2):53–56. (In Russ.).
9. Almazova E. G., Demko A. I. Tsifrovye formirovateli mnogofaznykh signalov. In: *Collection of scientific articles of the 3d All-Russian Research-to-Practice conference "Problemy elektroenergetiki i telekommunikatsii Severa Rossii";* April 21–22, 2022, Surgut. Moscow: Znanie-M; 2022. p. 414–419. (In Russ.).
10. Demko A. I. Discrete phase shifter: RU Patent No. 225903, filed August 2, 2023, issued May 13, 2024. URL: https://patentimages.storage.googleapis.com/ab/ca/1d/6ec3be39120d21/RU225903U1.pdf (accessed: 17.03.2025). (In Russ.).

Информация об авторе

А. И. Дёмко – кандидат технических наук, доцент, почетный работник высшего образования РФ;
https://orcid.org/0000-0003-0747-0294,
dai321@mail.ru

About the author

A. I. Dyomko – Candidate of Sciences (Engineering), Docent, Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation;
https://orcid.org/0000-0003-0747-0294,
dai321@mail.ru

© Дёмко А. И., 2025

Научная статья
УДК 330.567.28:004
https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-3

CC BY 4.0

Разработка информационно-аналитической системы учета, контроля и анализа финансов семьи

Артемий Иванович Добрынин✉, Виолетта Вячеславовна Григоренко
Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

Аннотация. В статье проведен анализ современных подходов к управлению семейными финансами в условиях экономической нестабильности. Представлен проект информационно-аналитической системы, ориентированной на учет, контроль и анализ финансовых ресурсов семьи. Проведен анализ существующих аналогов, определены ключевые требования для дальнейшей разработки. Представленная в исследованиях система предоставляет пользователям инструменты для управления бюджетом, постановки финансовых целей и анализа расходов, что способствует повышению финансовой грамотности и оптимизации распределения средств в семье.

Ключевые слова: финансовый учет, семейный бюджет, мобильное приложение, финансовая грамотность, управление финансами, контроль расходов, экономия средств

Для цитирования: Добрынин А. И., Григоренко В. В. Разработка информационно-аналитической системы учета, контроля и анализа финансов семьи // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 2. С. 23–29. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-3.

Original article

Development of information-analytical system for accounting, control, and analysis of family finances

Artemy I. Dobrynin✉, Violetta V. Grigorenko
Surgut State University, Surgut, Russia

Abstract. The article analyzes modern approaches to managing family finances in economic instability. The development of an information-analytical system focused on accounting, control, and analysis of family financial resources is presented. An analysis of existing systems is conducted, and key requirements are identified. The developed system provides users with tools for budget management, setting financial goals, and analyzing expenses, which contribute to improving financial literacy and optimizing resource allocation within the family.

Keywords: financial accounting, family budget, mobile application, financial literacy, financial management, expense control, cost savings

For citation: Dobrynin A. I., Grigorenko V. V. Development of information-analytical system for accounting, control, and analysis of family finances. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(2):23–29. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-3.

ВВЕДЕНИЕ

Современная экономическая ситуация заставляет людей (в том числе семьи) уделять повышенное внимание управлению финансовыми ресурсами. Это особенно актуально в условиях экономической нестабильности, когда важно не только учитывать доходы и расходы, но и планировать бюджет с учетом долгосрочных целей. Согласно исследованиям [1–4], значительная часть российских

© Добрынин А. И., Григоренко В. В., 2025

семей сталкивается с нехваткой накоплений и высоким уровнем закредитованности. Это свидетельствует о потребности в создании инструментов, которые помогут домохозяйствам справляться с финансовыми трудностями и добиваться устойчивости своих трат в определенные моменты времени (день, месяц, квартал, год и т. д.).

Объектом исследования является информационно-аналитическая система учета, контроля и анализа финансов семьи «Расходы семьи», способная удовлетворить запросы различных категорий пользователей. Предметом исследования выступают процессы управления семейными финансами, включая учет доходов, расходов и анализ финансовых показателей.

Анализ существующих аналогов информационных систем учета и планирования финансов (в том числе мобильных приложений) показал, что большинство решений ориентированы на индивидуальные финансы, предоставляющие пользователям базовые функции для учета доходов и расходов. Однако такие системы часто не учитывают потребности семей, где управление бюджетом требует совместного подхода, согласования финансовых целей и планирования [5–7].

Среди наиболее известных зарубежных решений можно выделить программу YNAB (You Need a Budget – «Вы нуждаетесь в бюджете»). Интерфейс мобильного приложения YNAB представлен на рис. 1. Данное приложение позволяет отслеживать доходы, расходы, а также планировать бюджет, но только вручную. Также можно выделить следующие ограничения: приложение не поддерживает полноценный семейный доступ, отсутствует русский язык, платная подписка, отсутствует аналитика, синхронизация только с зарубежными банками и, как следствие, необходимость ручного ввода всех операций.

Еще одним косвенным аналогом системы учета, контроля и анализа финансов семьи является Microsoft Excel. Благодаря своей гибкости его используют в качестве инструмента для учета и анализа финансов. Однако Excel

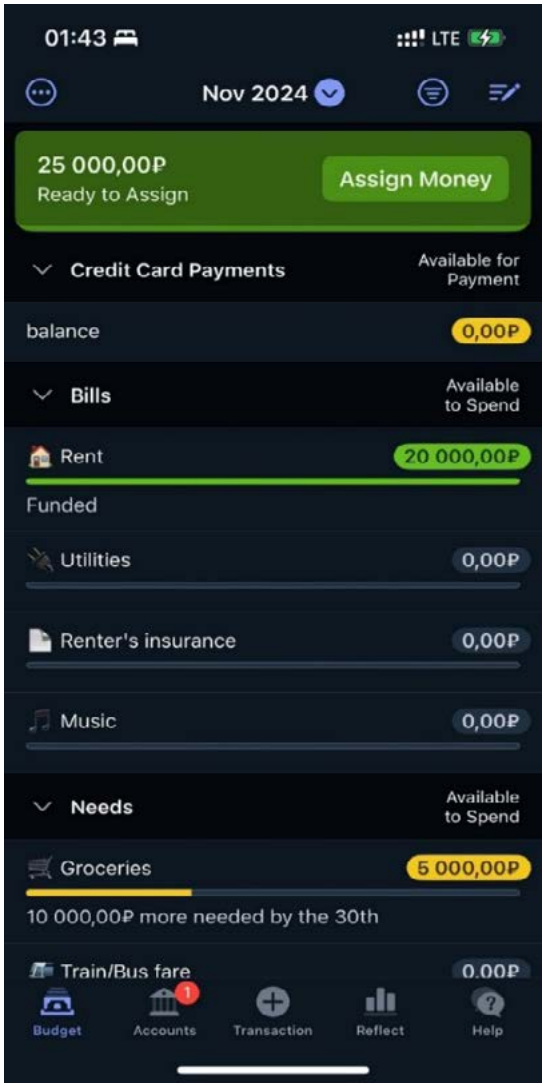


Рис. 1. Интерфейс мобильного приложения YNAB
Примечание: составлено авторами.

имеет ряд ограничений ввиду чрезмерного разнообразия возможностей настройки под личные нужды: в Excel отсутствует возможность автоматической синхронизации с банками, отсутствие уже готовых функций для учета – это требует от пользователя дополнительного времени на изучение информации и проектирование собственных таблиц и графиков. Особенно со сложностями столкнутся пользователи, не имеющие опыта работы с табличными редакторами. Также возникают риски, связанные с возможными ошибками при вводе данных, что приведет к неточностям в расчетах. Помимо всего прочего, в данный момент пользователи Excel в Российской Федерации вынуждены использовать нелицензированные версии программы, поэтому

© Добрынин А. И., Григоренко В. В., 2025

высока вероятность потери данных. Приобретение официальных лицензий у розничных ретейлеров в России в данный момент затруднено. Таким образом, Excel нельзя назвать оптимальным решением для ведения семейного бюджета, учитывая все вышеперечисленные особенности.

Прямым российским аналогом подобных информационных систем является «Дзен-мани» (рис. 2). Данная информационная система представляет собой мобильное приложение с бесплатными базовыми функциями учета финансов и автоматической синхронизацией с некоторыми банками. Весь прочий функционал уже является платным: аналитика и большая часть функций, например планирование, прогнозирование, генерация отчетов по расходам и доходам, сканирование чеков по QR-кодам.

Поиск аналогов разрабатываемой информационно-аналитической системы учета, контроля и анализа финансов семьи «Расходы семьи» позволил сделать вывод, что в настоящее время данная система будет востребована, так как она лишена недостатков, присущих приложениям-аналогам. Также сравнительный анализ показал, что на IT-рынке отсутствуют российские мобильные приложения с бесплатным совместным доступом всех членов семьи (табл. 1–2). Этот пробел открывает перспективы для разработки информационно-аналитической системы, которая обеспечит не только учет и контроль финансов, но и поддержку семейных финансовых целей, а также повышение уровня финансовой грамотности пользователей. Главное отличие проектируемой информационно-аналитической системы учета, контроля и анализа состоит в том, что это российское мобильное приложение с бесплатным совместным доступом всех членов семьи.

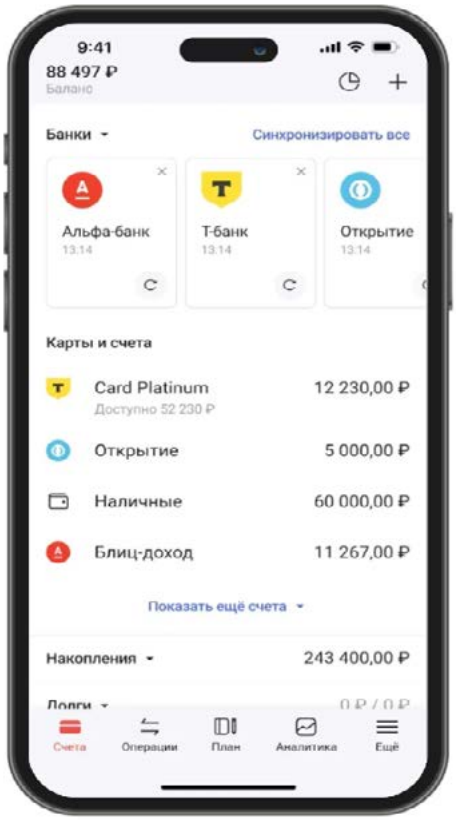


Рис. 2. Интерфейс мобильного приложения «Дзен-мани»
Примечание: составлено авторами.

Таблица 1

Сравнение функционала аналогов и информационно-аналитической системы «Расходы семьи»

Возможность/Функция	YNAB	Excel	«Дзен-мани»	«Расходы семьи»
Бесплатный совместный (семейный) доступ	-	+	-	+
Персонализированные советы	-	-	-	+
Загрузка данных	-	+	+	+
Выгрузка данных	-	+	+	+
Система целей	+	-	+	+
Синхронизация с банками	-	-	+	+
Анализ данных	-	+	+	+
Награды за достижения	-	-	-	+
Уведомления о платежах	+	+	+	+
Контроль бюджета	+	+	+	+

Примечание: составлено авторами.

© Добрынин А. И., Григоренко В. В., 2025

Таблица 2

Сравнение аналогов и информационно-аналитической системы «Расходы семьи»

Возможность/Функция	YNAB	Excel	«Дзен-мани»	«Расходы семьи»
Русский язык	-	+	+	+
Отсутствие платной подписки	-	+	-	+
Отсутствие рекламы	+	+	+	+
Российское приложение	-	-	+	+
Удобный интерфейс	+	+	+	+
Мобильное приложение	+	-	+	+

Примечание: составлено авторами.

В современных условиях активной цифровизации и роста популярности мобильных приложений наблюдается увеличение спроса на решения, которые помогают эффективно управлять финансами. Согласно исследованиям, многие пользователи стремятся оптимизировать свои расходы и планировать бюджет с помощью специализированных инструментов [8]. В этой связи предложенная информационно-аналитическая система учета, контроля и анализа финансов семьи «Расходы семьи» сможет удовлетворить запросы семей, студентов и других пользователей, желающих оптимизировать управление своими ресурсами.

Для наглядного представления логики работы информационно-аналитической системы учета, контроля и анализа финансов семьи была разработана блок-схема, изображенная на рис. 3.

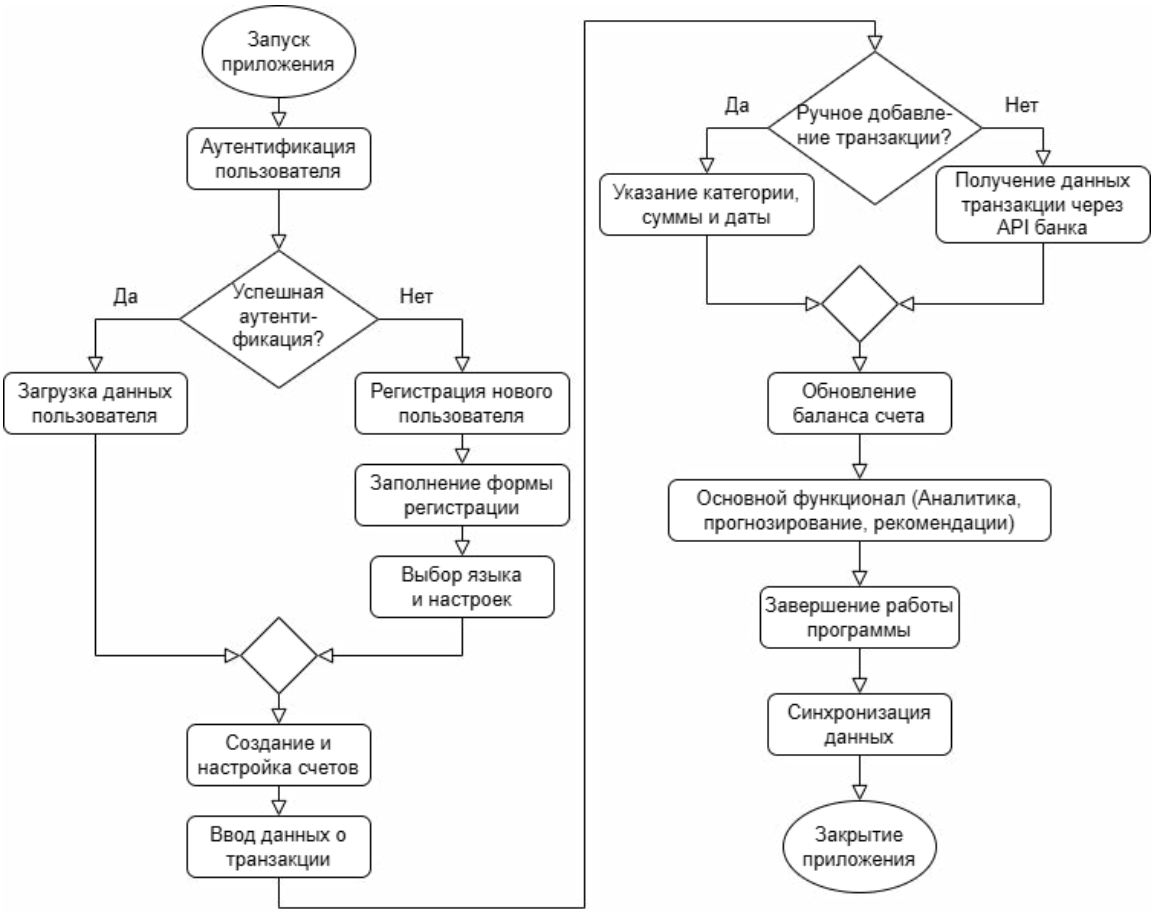


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы информационно-аналитической системой учета, контроля и анализа финансов семьи

Примечание: составлено авторами.

© Добрынин А. И., Григоренко В. В., 2025

Данная блок-схема описывает этапы взаимодействия пользователя с информационно-аналитической системой учета, контроля и анализа финансов семьи «Расходы семьи», среди которых можно выделить:

– аутентификацию пользователя: проверку данных пользователя и переход к основному функционалу при успешной авторизации;

– регистрацию нового пользователя: заполнение формы регистрации, выбор языковых настроек и валюты, создание и настройка счетов;

– управление счетами: добавление счетов с указанием параметров (название, тип, валюта, баланс);

– ввод данных о транзакции: ручное добавление транзакций или автоматическое получение данных через API банка;

– обновление баланса счета: автоматическое изменение баланса после добавления транзакции;

– основной функционал: просмотр аналитических отчетов, возможность прогнозирования и предоставление системой рекомендаций и уведомлений;

– синхронизацию данных: завершение работы с сохранением и синхронизацией данных.

Алгоритм работы информационной системы учета, контроля и анализа финансов семьи «Расходы семьи» заключается в следующих этапах, необходимых для эффективного управления семейным бюджетом.

Для более детального описания взаимодействия пользователя с системой «Расходы семьи» была разработана диаграмма состояний, изображенная на рис. 4, отражающая возможные сценарии использования приложения:

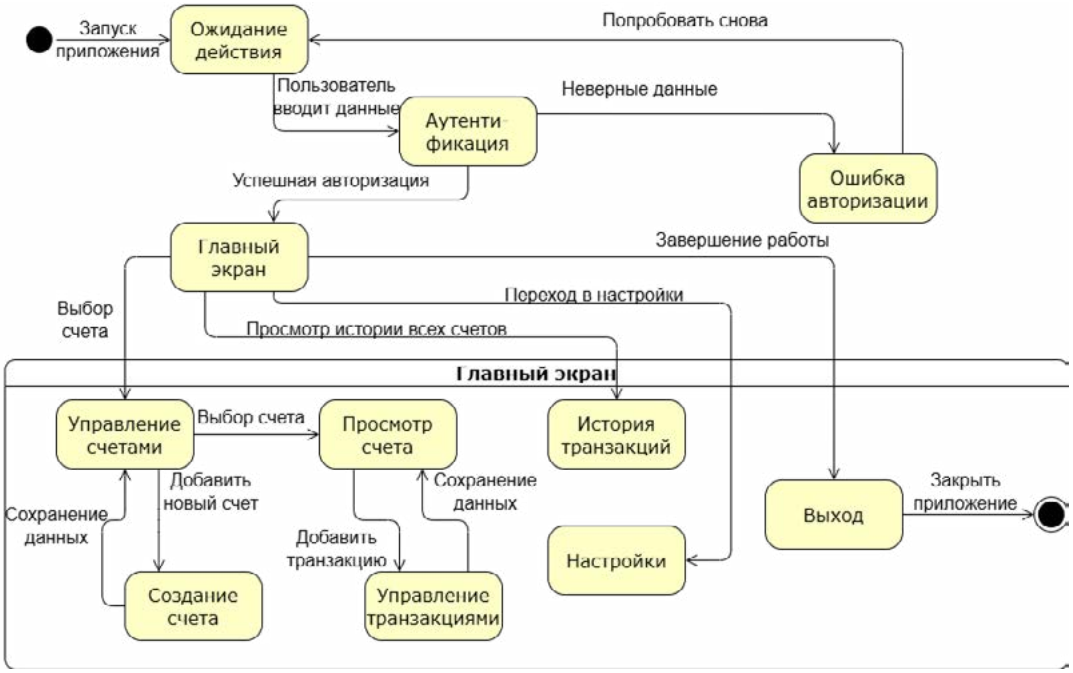


Рис. 4. UML-диаграмма состояний взаимодействия пользователя с информационно-аналитической системой учета, контроля и анализа финансов семьи «Расходы семьи»
Примечание: составлено авторами.

– ожидание действия: начальное состояние системы после запуска приложения;

– аутентификация: процесс ввода данных пользователя и переход к главному экрану при успешной авторизации;

– главный экран: центральный узел системы, откуда пользователь может перейти к управлению счетами, просмотру истории транзакций, настройкам или завершению работы;

– управление счетами: создание новых счетов или просмотр существующих, а также добавление транзакций;

– история транзакций: просмотр операций и возврат на главный экран;

© Добрынин А. И., Григоренко В. В., 2025

– настройки: изменение параметров системы с последующим сохранением;

– выход: завершение работы приложения.

Диаграмма состояний наглядно демонстрирует взаимосвязь действий пользователя и системы и то, что система предоставляет пользователю интуитивно понятный интерфейс и логичную последовательность действий. Это способствует удобству использования.

Информационно-аналитическая система учета, контроля и анализа финансов семьи «Расходы семьи» включает в себя функции управления бюджетом, учета расходов, анализа финансовых показателей, прогнозирования расходов на будущие периоды, синхронизации с банковскими программными интерфейсами и постановки финансовых целей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты исследования демонстрируют актуальность разработки информационно-аналитической системы учета, контроля и анализа финансов семьи «Расходы семьи». Предложенное решение не только восполнит пробелы существующих аналогов, но и создаст дополнительный инструмент для пользователей, использующих совместный подход к управлению финансами семьи в виде мобильного приложения. Внедрение предложенной системы в реальных условиях позволит пользователям достигать большей финансовой устойчивости, оптимизировать бюджет, строить долгосрочный прогноз расходов, а, следовательно, и планировать бюджет семьи в определенные моменты времени (месяц, квартал, год).

Список источников

1. Беляева Е. С. Роль семейного бюджета в современной России при управлении личными финансами // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 12–8. С. 84–87.
2. Пастухова О. Н., Попова А. В. Семейный бюджет, как основа благосостояния всего государства // Стратегирование регионального развития в новых экономических реалиях : материалы Всерос. экономического онлайн-форума с междунар. участием, приуроченного к празднованию 55-летия Липецкого филиала Финуниверситета, 16–17 декабря 2020 г., г. Липецк / отв. ред. О. Ю. Смыслова. Тамбов : Изд. дом «Державинский», 2021. С. 178–182.
3. Маркова А. В. Проблемы формирования семейного бюджета в современной России // Научный диалог: Экономика и менеджмент : сб. науч. тр. по материалам XXX Междунар. науч. конф., 08 июля 2020 г., г. Санкт-Петербург. СПб. : Центр Научных Публикаций Международной Объединенной Академии Наук, 2020. С. 20–21.
4. Grigorenko V. V., Bashkatova Yu. V., Shakirova L. S. et al. New information technologies in the estimation of stationary modes of the third type systems // 2nd International Conference "MIP: Engineering-2020: Modernization, Innovations, Progress: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering", April 16–18, 2020, Krasnoyarsk, Russia. Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 52034. http://doi.org.10.1088/1757-899X/862/5/052034.
5. Егоров А. А., Логинов С. И., Шенцев И. В. и др. Информационная система интеллектуального ана-

References

1. Belyaeva E. S. The role of the family budget in modern Russia in personal finance management. *Aktualnye nauchnye issledovaniia v sovremennom mire.* 2021;(12–8):84–87. (In Russ.).
2. Pastukhova O. N., Popova A. V. Family budget is the basis of the whole state's welfare. In: *Smyslova O. Yu.*, *ed. Proceedings of the All-Russian Online Economic Forum with International Participation, dedicated to the Celebration of the 55th anniversary of the Lipetsk Branch of the Financial University "Regional Development Strategy in the New Economic Realities",* December 16–17, 2020, Lipetsk. Tambov: Izd. dom "Derzhavinskii"; 2021. p. 178–182. (In Russ.).
3. Markova A. V. Problemy formirovaniya semeinogo biudzheta v sovremennoi Rossii. In: *Collection of scientific articles of the 30th international scientific conference: "Nauchnyi dialog: Ekonomika i menedzhment"*, Saint Petersburg, July 8, 2020. St. Petersburg: Tsentr Nauchnykh Publikatsii Mezhdunarodnoi Obieedinennoi Akademii Nauk; 2020. p. 20–21. (In Russ.).
4. Grigorenko V. V., Bashkatova Yu. V., Shakirova L. S. et al. New information technologies in the estimation of stationary modes of the third type systems. In: *2nd International Conference "MIP: Engineering-2020: Modernization, Innovations, Progress: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering",* April 16–18, 2020, Krasnoyarsk, Russia. Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited; 2020. p. 52034. http://doi.org.10.1088/1757-899X/862/5/052034.
5. Egorov A. A., Loginov S. I., Shentsev I. V. et al. Informatsionnaya sistema intellektualnogo analiza dan-

© Добрынин А. И., Григоренко В. В., 2025

лиза данных в спорте // Перспективные исследования в физической культуре, спорте и туризме : Материалы Междунар. науч.-практ. конф., 11–13 декабря 2014 г., г. Челябинск. Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ. С. 28–32.
6. Шереметьева Е. Н., Черкасов Д. Ю. Информационно-аналитическая система обеспечения стартапов // Экономика и предпринимательство. 2023. № 2. С. 819–823.
7. Елизарова В. А. Информационно-аналитическая система контроля качества работы персонала в организации // Наука XXI века: актуальные направления развития. 2023. № 1–2. С. 224–228.
8. Логинова С. В., Амирова Д. М. Финансовая грамотность школьников – основа финансовой грамотности населения // Студенческие инновации : сб. ст. Междунар. науч.-исследоват. конкурса, 30 октября 2024 г., г. Пенза. Пенза : МЦНС Наука и Просвещение, 2024. С. 44–46.

nykh v sporte. In: *Proceedings of the International Research-to-Practice conference "Perspektivnye issledovaniya v fizicheskoi kulture, sporte i turizme",* December 11–13, 2014, Chelyabinsk. Chelyabinsk: South Ural State University. p. 28–32. (In Russ.).
6. Sheremeteva E. N., Cherkasov D. Yu. Informatsionno-analiticheskaya sistema obespecheniia startapov. *Ekonomika i predprinimatelstvo*. 2023;(2):819–823. (In Russ.).
7. Elizarova V. A. Informatsionno-analiticheskaya sistema kontrolya kachestva raboty personala v organizatsii. *Nauka XXI veka: aktualnye napravleniya razvitiya*. 2023;(1–2):224–228. (In Russ.).
8. Loginova S. V., Amirova D. M. Finansovaya gramotnost shkolnikov – osnova finansovoi gramotnosti naseleniya. In: *Collection of articles of the International scientific research competition "Studencheskie innovatsii"*, October 30, 2024, Penza. Penza: MTsNS Nauka i Prosveshchenie; 2024. p. 44–46. (In Russ.).

Информация об авторах

В. В. Григоренко – кандидат технических наук, доцент;
https://orcid.org/0000-0002-9073-4184,
grigv_84@mail.ru
А. И. Добрынин – студент;
https://orcid.org/0009-0008-1280-4539,
dobrolygin@xmail.ru✉

About the authors

V. V. Grigorenko – Candidate of Sciences (Engineering), Docent;
https://orcid.org/0000-0002-9073-4184,
grigv_84@mail.ru
A. I. Dobrynin – Student;
https://orcid.org/0009-0008-1280-4539,
dobrolygin@xmail.ru✉

© Добрынин А. И., Григоренко В. В., 2025

Научная статья
УДК 656.7.052.4
https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-4

CC BY 4.0

Методика оценки натренированности пилотов с учетом показателей качества техники пилотирования

Виктор Владимирович Кашковский[1], Владимир Валентинович Устинов[2]✉
[1]Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия
[2]Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, Иркутск, Россия

Аннотация. Целью работы является снижение трудозатрат и исключение субъективизма оценки уровня натренированности летного состава с учетом качества техники пилотирования при выполнении упражнений, заданных программами летной подготовки и учетом перерывов в полетах по заданному упражнению. Автоматизация процессов построения плановых таблиц полетов и оценки качества техники пилотирования воздушного судна летчиками, позволит исключить ошибки планирования летной подготовки и достоверно проводить оценивание качества выполнения полетного задания. Автоматизация также позволит создавать прогнозные модели для оптимизации летной подготовки и, как следствие, повысить безопасность полетов и исключить выпуск в очередной полет неподготовленного летчика. В данной работе представлен анализ предметной области, концепция ее дальнейшего развития и результаты применения разработанных программных модулей для оценки уровня подготовки пилотов. Практика показала, что комплексы объективно и достоверно выявляют летчиков, которым необходимы дополнительные тренировочные или контрольные полеты, а также тренажерная подготовка. Предложенные решения могут быть реализованы в качестве отдельных программных модулей для наземных устройств обработки полетной информации и внедрены в эксплуатацию.

Ключевые слова: безопасность полетов, статистика, техника пилотирования, натренированность, программы подготовки, критерии оценивания, планирование летной подготовки

Для цитирования: Кашковский В. В., Устинов В. В. Методика оценки натренированности пилотов с учетом показателей качества техники пилотирования // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 2. С. 30–37. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-4.

Original article

Assessment methods for pilot proficiency considering quality indicators of flight technique

Viktor V. Kashkovsky[1], Vladimir V. Ustinov[2]✉
[1]Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia
[2]Irkutsk Branch of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, Irkutsk, Russia

Abstract. The aim of the study is to reduce workload and exclude subjectivity in assessing the level of flight crew's proficiency. Assessment is based on the quality of flight technique while performing exercises specified by flight training programs and with consideration of pauses in flights for a given exercise. Automation of flight schedule and flight technique quality assessment processes allows to exclude errors in flight training planning and reliably assess the quality of flight task execution. Automation also enables the creation of predictive models to optimize flight training and, consequently to enhance flight safety and to prevent sending an untrained pilot on the next flight. This article presents an analysis of the subject area, the concept of its further development and the results of the developed software modules' implementation for pilot proficiency assessment. Practice proved that the complexes objectively and reliably identify pilots who need additional training

© Кашковский В. В., Устинов В. В., 2025

or check flights, as well as simulator training. The proposed solutions can be implemented as separate software modules for ground-based flight data processing devices and put into practice.

Keywords: flight safety, statistics, flight technique, proficiency, training programs, evaluation criteria, flight training planning

For citation: Kashkovsky V. V., Ustinov V. V. Assessment methods for pilot proficiency considering quality indicators of flight technique. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(2):30–37. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-4.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее важных и сложных задач является подготовка летного состава. От решения этой задачи напрямую зависит безопасность полетов. Непрерывное повышение квалификации летного персонала поможет предупредить и исключить появление ошибок в технике пилотирования, предотвратить допуск к выполнению очередного полетного задания неподготовленного пилота, построить объективные и оптимальные планы подготовок.

Для повышения оперативности, достоверности, снижения трудозатрат и исключения субъективизма оценивания уровня натренированности пилотов с учетом качества выполнения полетных заданий явно напрашивается вывод об автоматизации этого процесса путем разработки программных модулей, которые могут быть использованы как отдельные модули в наземных устройствах обработки полетной информации, например, «RRJ-Экспресс», «Топаз-ГА», «Монстр-2012» и др. [1–3].

Работа посвящена разработке математического и программного обеспечения, определения уровня натренированности летного состава с учетом качества техники пилотирования, что позволит руководителю (инструктору летного обучения) качественно и объективно планировать летную подготовку, проводить коррекцию программ подготовки, дополнительно назначать тренировочные и контрольные полеты или тренажерную подготовку.

Для решения поставленной цели необходимо последовательно решить целый ряд задач, которые образуют комплексную систему: сбор статистики по реализациям конкретных маневров или фигур пилотажа; разработку методики, алгоритма и критерия оценивания качества техники пилотирования; разработку методики и алгоритма оценивания уровня натренированности летного состава; разработку программных комплексов для практической реализации предложенных методик.

Степень натренированности определяется по отработанным упражнениям, входящим в программу подготовки [4]. Максимальные перерывы между полетами при обучении (переучивании) летчиков определяются решением руководителя (инструктора) и не должны превышать предельного периода, определенного в руководствах по летной подготовке.

Для апробации работы по оценке техники пилотирования были выбраны 200 реализаций выполнения предпосадочного маневра и посадки среднемагистрального воздушного судна (ВС). Описание алгоритмов и критериев оценки техники пилотирования представлены в работах [5, 6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе предлагаются к рассмотрению два основных подхода для решения задачи оценки уровня натренированности летного состава. Выбор методики остается за командиром (инструктором летного обучения).

Для решения первой задачи оценки уровня натренированности наиболее приемлемым является экспоненциальный закон, заданный в виде функции распределения случайной величины [4, 7]:

$$K_н = 1 - e^{-aQn}, \quad (1)$$

где:

$K_н$ – коэффициент уровня натренированности;

Q – балльные оценки за качество выполнения заданного упражнения;

© Кашковский В. В., Устинов В. В., 2025

n – количество повторов заданного упражнения по программе летной подготовки;

a – масштабный коэффициент, который рассчитывается по количеству повторов заданного упражнения, выполненных на оценку «отлично». Методика расчета коэффициента a подробно описана в работе [8].

Данная методика может быть использована только для начинающих летчиков (курсантов летных училищ), не имеющих первичных навыков летной подготовки.

Для летчиков, ранее проходивших летную подготовку, например в летном училище или при переучивании на другой тип ВС, дополнительно в формулу (1) вводится поправочный коэффициент начальной подготовки K_0. Тогда формула (1) примет вид (2):

$$K_н = K_0 + e^{-aQn}. \qquad (2)$$

В этом случае производится пересчет коэффициента a в зависимости от повторов выполняемого упражнения.

При оценке натренированности необходимо учитывать также потерю навыков при перерывах в летной подготовке. Тогда значение уровня натренированности будет снижаться по следующему алгоритму (3) [4]:

$$K_н(t) = K_н(t_0)e^{-b(t-t_0)}, \qquad (3)$$

где:

$t - t_0$ – время перерыва между вылетами при выполнении заданного упражнения;

$K_н(t_0)$ – уровень натренированности на время выполнения очередного вылета, вычисленный по формуле (2);

b – масштабный коэффициент, рассчитываемый от максимально допустимых перерывов между вылетами по заданному упражнению [4].

В данной работе также предложен альтернативный программный комплекс оценки уровня натренированности, который позволяет выставлять интегрированную оценку и зависит от количества повторов выполненного упражнения, оценок за их выполнение, перерывов в летной подготовке и начальной натренированности. Использованы не относительные, а абсолютные значения уровня натренированности и учета балльных оценок за технику пилотирования, что позволит более наглядно отслеживать изменение коэффициента натренированности, который примет вид (4):

$$K_н = K_{нн} + \sum_{i=1}^{n}(AK_{Б_i}e^{-\frac{t_i}{T}} + BK_{Б_i} + C), \qquad (4)$$

где:

$K_{нн}$ – начальная натренированность с учетом имеющегося у летчика опыта летной работы и тренажерной подготовки;

A – весовой коэффициент натренированности за один балл оценки, отражающий способность летчика сохранять полученные навыки в течение короткого отрезка времени;

B – весовой коэффициент остатка натренированности за один балл оценки, отражающий способность летчика сохранять полученные навыки в течение долгого времени;

C – нерасходуемый остаток натренированности, используемый для оценки уровня натренированности летчиков, которые проходят переподготовку и у которых имеется опыт полетов;

$K_{Б_i}$ – оценка за i-й полет;

t_i – текущее значение перерыва в летной подготовке (сутки);

T – максимально допустимое значение перерыва в летной подготовке для заданного упражнения (сутки).

Весовой коэффициент натренированности за один балл оценки A – это кратковременная память, способность мозга хранить информацию в течение короткого отрезка времени.

Весовой коэффициент остатка натренированности за один балл оценки B – долговременная память.

Нерасходуемый остаток натренированности C используется для летчиков, которые проходят переподготовку и имеют опыт полетов.

Значения коэффициентов A, B и остаточного уровня коэффициента натренированности C задаются оператором с учетом мнений опытных инструкторов по летной подготовке.

© Кашковский В. В., Устинов В. В., 2025

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В работе были разработаны методики, алгоритмы и программные модули для решения поставленных выше задач [4].

Для реализации алгоритма оценивания уровня натренированности летного состава по относительным показателям (формулы (1)–(3)) была разработана программа, фрагмент результатов работы которой показан на рис. 1.

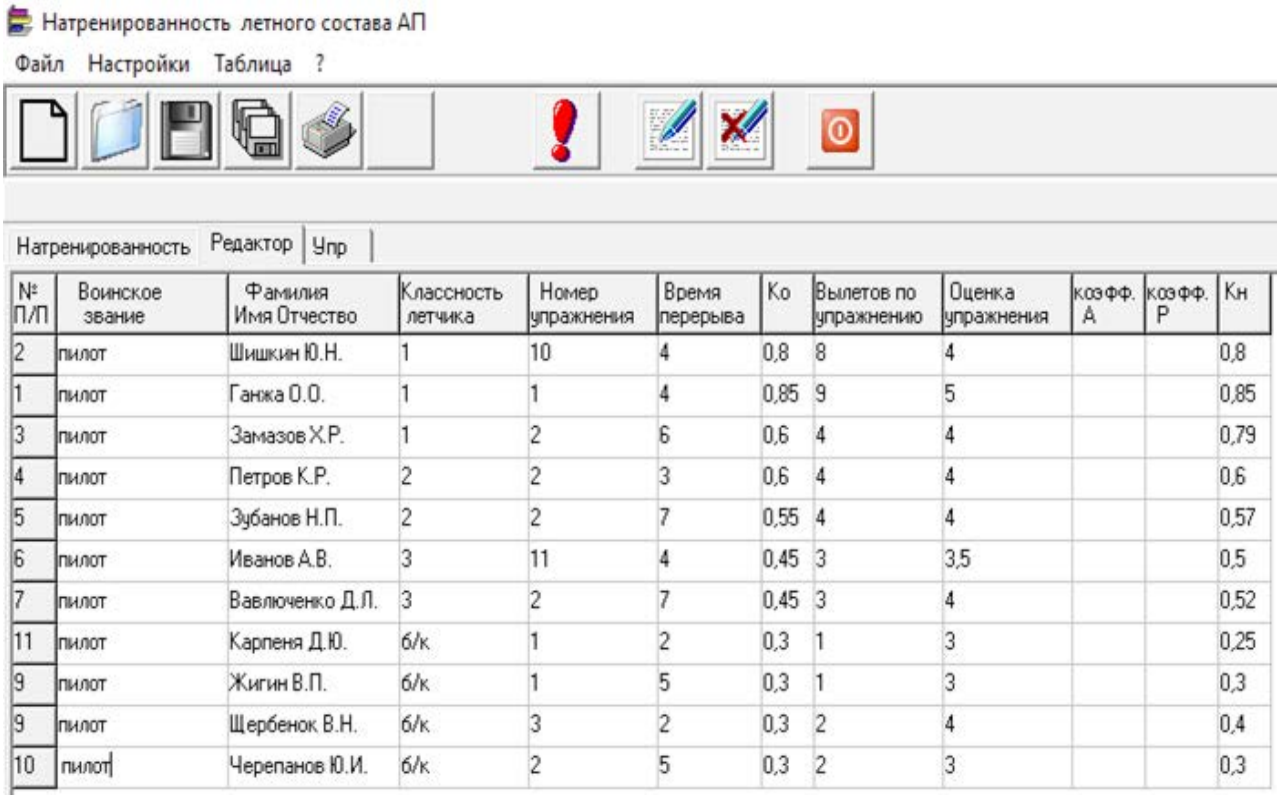
В программном комплексе для наглядного представления уровня подготовки летчиков результаты можно выводить в графическом виде, показанном на рис. 2 в их относительном представлении от значений: 0 – нулевой уровень подготовки, 1 – полное освоение программы по заданному упражнению программы подготовки. Черными полосами выделены претенденты на первоочередное планирование выполнения заданного упражнения.

В работе также был предложен альтернативный вариант решения задачи оценки уровня натренированности пилотов по алгоритму формулы (4).

В программе предусмотрена опция просмотра полетного задания (содержание, цель, последовательность элементов, условия выполнения и количество повторов для полного усвоения летных навыков).

Для решения второй задачи разработан программный модуль, позволяющий оператору провести анализ оценки уровня натренированности для построения объективных плановых таблиц прохождения программ подготовки. Фрагмент результатов вычислений оценки уровня натренированности представлен на рис. 3.

Для более удобного просмотра информации по программе прохождения летной подготовки целесообразно представить графическое изображение результатов расчетов.



№ П/П	Воинское звание	Фамилия Имя Отчество	Классность летчика	Номер упражнения	Время перерыва	Ко	Вылетов по упражнению	Оценка упражнения	коэфф. А	коэфф. Р	Кн
2	пилот	Шишкин Ю.Н.	1	10	4	0,8	8	4			0,8
1	пилот	Ганжа О.О.	1	1	4	0,85	9	5			0,85
3	пилот	Замазов Х.Р.	1	2	6	0,6	4	4			0,79
4	пилот	Петров К.Р.	2	2	3	0,6	4	4			0,6
5	пилот	Зубанов Н.П.	2	2	7	0,55	4	4			0,57
6	пилот	Иванов А.В.	3	11	4	0,45	3	3,5			0,5
7	пилот	Вавлюченко Д.Л.	3	2	7	0,45	3	4			0,52
11	пилот	Карпеня Д.Ю.	б/к	1	2	0,3	1	3			0,25
9	пилот	Жигин В.П.	б/к	1	5	0,3	1	3			0,3
9	пилот	Щербенок В.Н.	б/к	3	2	0,3	2	4			0,4
10	пилот	Черепанов Ю.И.	б/к	2	5	0,3	2	3			0,3

Рис. 1. Фрагмент результатов расчета оценки уровня натренированности
Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследованиях.

© Кашковский В. В., Устинов В. В., 2025

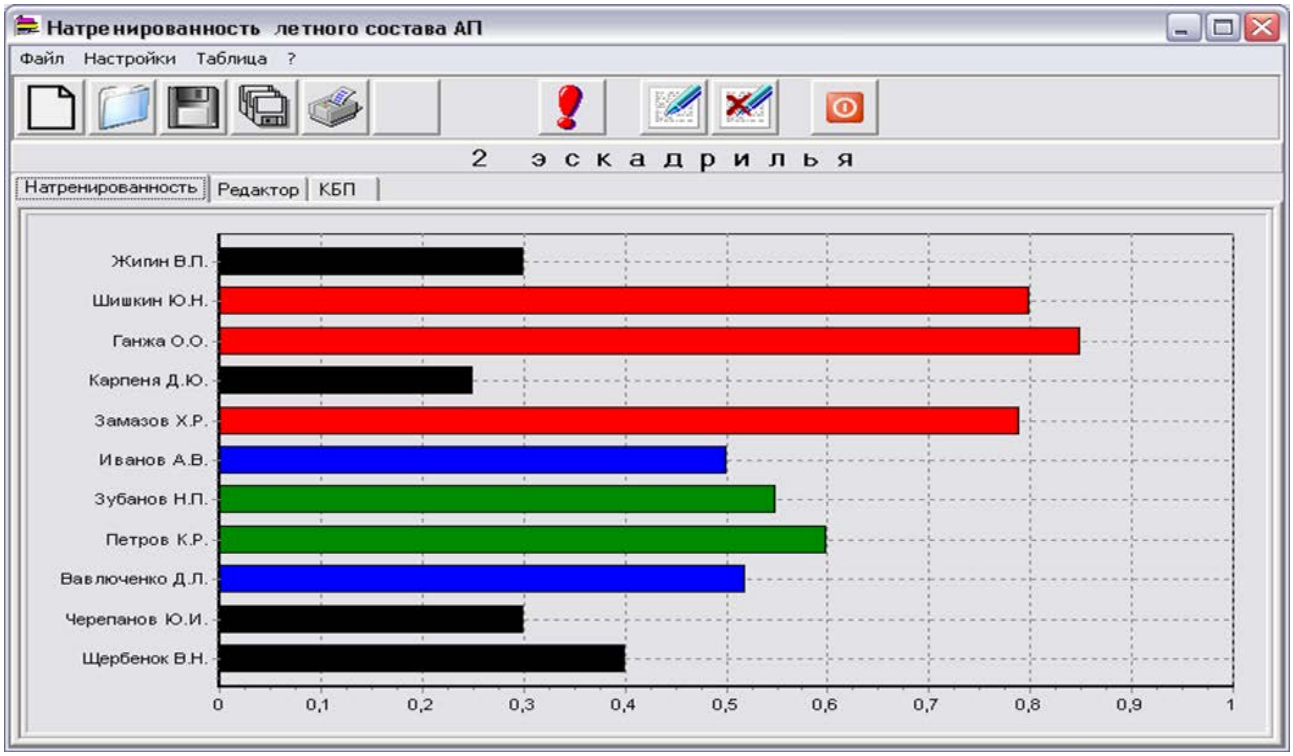
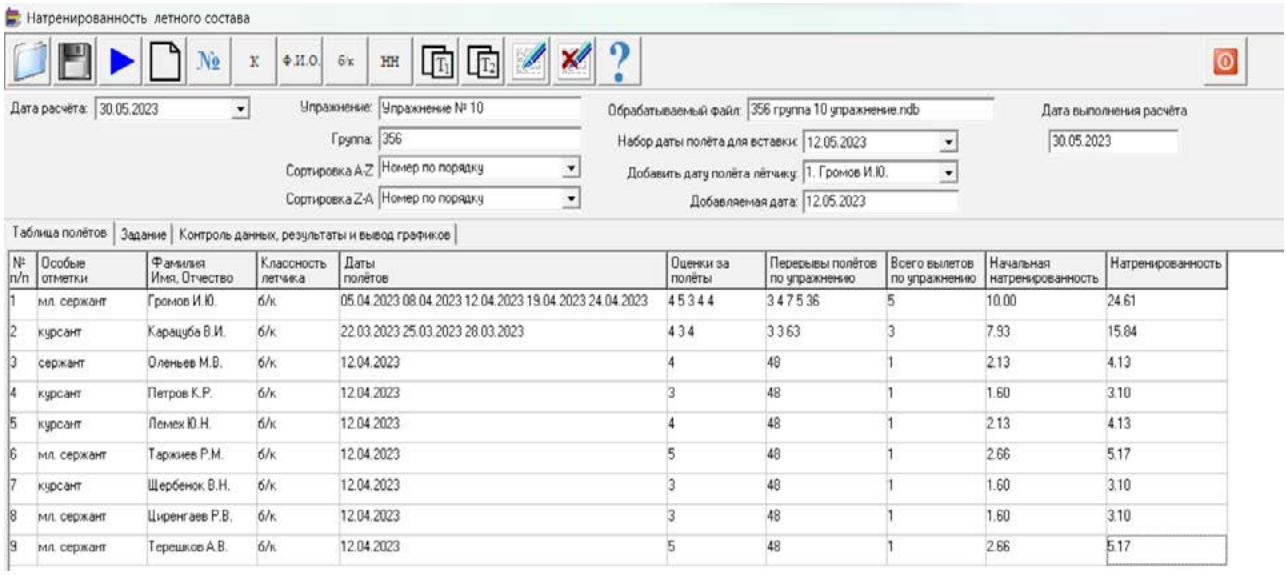


Рис. 2. Графический пример оценки значения уровня натренированности
Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследованиях.



№ п/п	Особые отметки	Фамилия Имя, Отчество	Классность летчика	Даты полётов	Оценки за полёты	Перерывы полётов по упражнению	Всего вылетов по упражнению	Начальная натренированность	Натренированность
1	мл. сержант	Громов И.Ю.	б/к	05.04.2023 08.04.2023 12.04.2023 19.04.2023 24.04.2023	4 5 3 4 4	3 4 7 5 36	5	10.00	24.61
2	курсант	Карацуба В.И.	б/к	22.03.2023 25.03.2023 28.03.2023	4 3 4	3 3 63	3	7.93	15.84
3	сержант	Оленьев М.В.	б/к	12.04.2023	4	48	1	2.13	4.13
4	курсант	Петров К.Р.	б/к	12.04.2023	3	48	1	1.60	3.10
5	курсант	Лемех Ю.Н.	б/к	12.04.2023	4	48	1	2.13	4.13
6	мл. сержант	Таржиев Р.М.	б/к	12.04.2023	5	48	1	2.66	5.17
7	курсант	Щербенок В.Н.	б/к	12.04.2023	3	48	1	1.60	3.10
8	мл. сержант	Цирингаев Р.В.	б/к	12.04.2023	3	48	1	1.60	3.10
9	мл. сержант	Терешков А.В.	б/к	12.04.2023	5	48	1	2.66	5.17

Рис. 3. Расчетные значения показателя натренированности
Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследованиях.

Результаты работы программы представлены на рис. 4, 5.

На данных рисунках вертикальными линиями показаны балльные оценки за качество выполнения заданного упражнения, а по горизонтали отложено спадание уровня натренированности в зависимости от сроков перерывов в летной подготовке.

Таким образом, в работе предложены два альтернативных варианта оценки уровня натренированности пилотов и отслеживания программы их летной подготовки.

Разница в предложенных методиках заключается в том, что использованы либо относительные показатели, либо абсолютные показатели оценки, а также во второй задаче

© Кашковский В. В., Устинов В. В., 2025

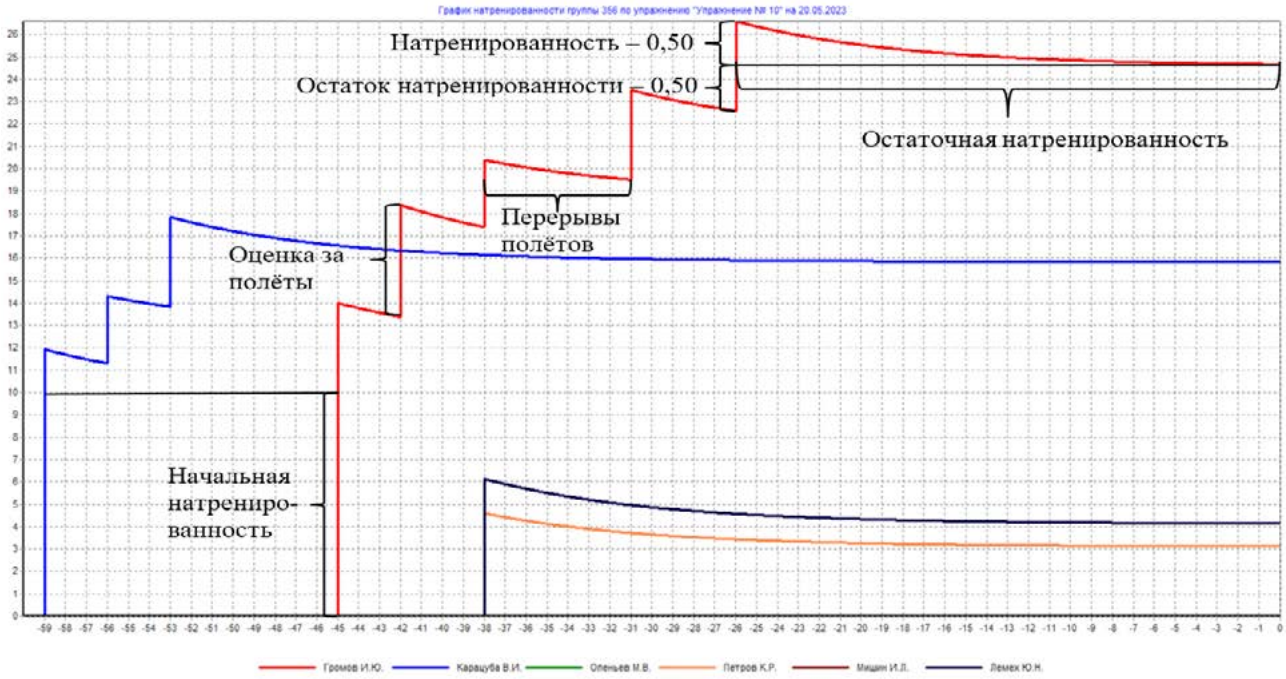


Рис. 4. График расчетных значений показателя натренированности
Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследованиях.

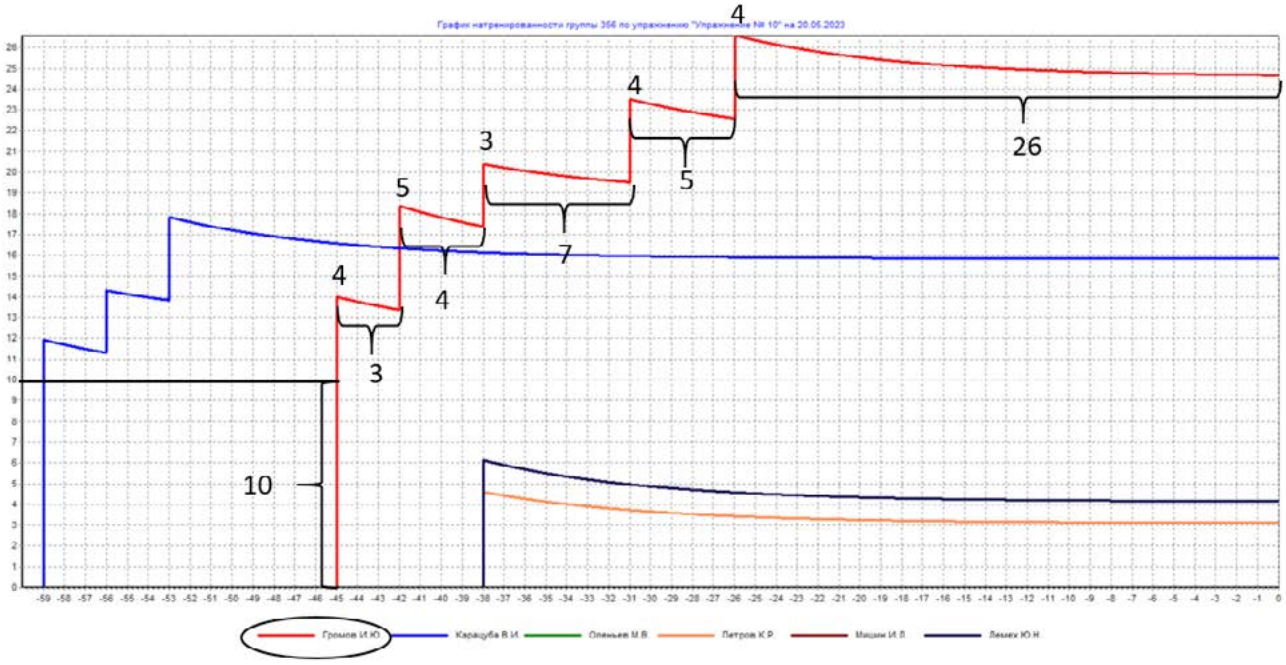


Рис. 5. График оценки уровня натренированности с количественными показателями оценки за полет и перерывов в подготовке
Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследованиях.

учитывается степень снижения натренированности с учетом постоянной и оперативной памяти.

В настоящее время авторами был проведен глубокий анализ существующих методик оценки качества техники пилотирования ВС летчиками, определены их недостатки [9], [10] и предложены новые оригинальные решения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующая методика оценки уровня натренированности летного состава содержит

© Кашковский В. В., Устинов В. В., 2025

много факторов, которые трудно или невозможно учесть при ручной обработке данных для расчета. Например, вручную практически невозможно учесть текущий экспоненциальный уровень потерь навыков, отложившихся в кратковременной памяти.

Предлагаемый программный продукт позволяет вычислить оценку уровня натренированности летного состава с учетом всех составляющих навыков с весовыми коэффициентами *A*, *B* и *C*. Возможен прогноз уровня натренированности на заданную дату. Это позволяет оптимизировать программу летной подготовки для каждой группы летчиков с максимальным учетом их индивидуальности.

Предлагаемые методики и алгоритмы в отличие от существующих методов позволят перейти к другому, более высокому уровню оценивания качества пилотирования летчиком и повысить его объективность для широкого класса воздушных судов; автоматизировать оценку уровня натренированности с учетом качества техники пилотирования; строить прогнозные модели для оптимизации летной подготовки.

Предложенные методики оценивания уровня натренированности и качества техники пилотирования не противоречат друг другу, а, наоборот, дополняют материал и дают право выбора руководителю на принятие решения о выборе.

В результате выполнения работы разработаны алгоритмическое и программное обеспечение для обработки полетной информации, регистрируемой штатными устройствами на борту воздушного судна, дополняющее и повышающее эффективность существующей системы объективного контроля действий летчика. Результаты могут быть использованы для разработки и внедрения отдельного программного модуля для наземных комплексов обработки полетной информации.

Список источников

1. Руководство по организации сбора, обработки и использования полетной информации в авиапредприятиях гражданской авиации Российской Федерации (утв. Росавиацией 30.04.2020). Доступ из СПС «КонсультантПлюс».
2. Специальное программное обеспечение «RRJ-Экспресс» RRJ0000-IN-055-180 rev. F : руководство пользователя. М. : Региональные самолеты, 2021. 123 с.
3. Устинов В. В., Кашковский В. В. Методика построения программ летной подготовки с учетом количественных показателей оценки уровня натренированности // Актуальные вопросы обеспечения комплексной безопасности на транспорте : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 12–15 ноября 2024 г., г. Санкт-Петербург. СПб. : Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. главного маршала авиации А. А. Новикова, 2025. С. 127–132.
4. Устинов В. В. Назаров П. С. Один из подходов к планированию подготовки курсантов летных училищ с учетом уровня натренированности и качества выполнения полетного задания // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2020. № 1. С. 74–88.
5. Вставский С. А., Гайсенок А. В., Устинов В. В. Методика автоматизации процесса разработки планов подготовки летного состава с учетом количественных показателей уровня натренированности и балльного оценивания качества техники пилотирования // Актуальные проблемы развития авиационной

References

1. Guidelines for the organization of collection, processing and use of flight information in civil aviation enterprises of the Russian Federation (approved by Rosaviatsia on April 30, 2020). Accessed through Law assistance system “Consultant Plus”. (In Russ.).
2. Spetsialnoe programmnoe obespechenie “RRJ-Ekspress” RRJ0000-IN-055-180 rev. F: user manual. Moscow: Regionalnye samolety; 2021. 123 p. (In Russ.).
3. Ustinov V. V., Kashkovsky V. V. Method of constructing flight training programs taking into account quantitative indicators for assessing the level of training. In: *Proceedings of International Research-to-Practice Conference “Aktualnye voprosy obespecheniya kompleksnoy bezopasnosti na transporte”*, November 12–15, 2024, Saint Petersburg. St. Petersburg: Saint-Petersburg State University of Civil Aviation named in honor of Air Chief Marshal A. A. Novikov; 2025. p. 127–132. (In Russ.).
4. Ustinov V. V., Nazarov P. S. One of the approaches to designing training for flight students based on the proficiency level and the performance of the flight task. *Crede Experto: Transport, Society, Education, Language*. 2020;(1):74–88. (In Russ.).
5. Vstavskiy S. A., Gaisenok A. V., Ustinov V. V. Metodika avtomatizatsii protsessa razrabotki planov podgotovki letnogo sostava s uchyotom kolichestvennykh pokazateley urovnya natrenirovannosti i ballnogo otsenivaniya kachestva tekhniki pilotirovaniya. In: *Proceedings of All-Russian Research-to-Practice Conference of Students and Postgraduates “Aktualnye problem razvitiya*

© Кашковский В. В., Устинов В. В., 2025

техники и методов ее эксплуатации – 2024 : сб. тр. XVII Всерос. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов, 05–06 декабря 2024 г., г. Иркутск. Иркутск : Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МГТУ ГА», 2025. Т. 1. С. 127–134.

6. Чобанян Л. Г., Назаров П. С. Методика, алгоритм и критерий количественного оценивания качества выполнения маневров и фигур пилотажа по данным средств объективного контроля // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2021 : сб тр. XIV Всерос. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов, 09–10 февраля 2022 г., г. Иркутск. Иркутск : Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2022. Т. 1. С. 51–72.
7. Устинов В. В., Кашковский В. В., Чобанян Л. Г. Методика, алгоритм и критерий количественного оценивания качества выполнения маневра захода на посадку и посадки среднемагистрального воздушного судна по данным средств объективного контроля // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2022. № 1. С. 51–72.
8. Назаров П. С., Устинов В. В. Методика расчета весовых коэффициентов при реализации алгоритмов оценки уровня натренированности курсантов летных училищ // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2020. № 4. С. 80–92.
9. Бутырин О. А., Клещенко С. В. Методика количественной оценки качества техники пилотирования летчика в рейсовых условиях // Проблемы безопасности полетов. 2008. № 9. С. 17–30.
10. Бутырин О. А., Клещенко С. В. Методика оптимального полета // Проблемы безопасности полетов. 2008. № 10. С. 23–30.

aviatsionnoy tekhniki i metodov yeyo ekspluatatsii", December 5–6, 2024, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation; 2025. Vol. 1. p. 127–134. (In Russ.).

6. Chobanyan L. G., Nazarov P. S. Metodika, algoritm i kriterii kolichestvennogo otsenivaniya kachestva vypolneniya manevrov i figur pilotazha po dannym sredstv obieektivnogo kontrolya. In: *Collection of articles of the 14th All-Russian Research-to-Practice conference of students and postgraduates "Aktualnye problemy razvitiia aviatsionnoi tekhniki i metodov ee ekspluatatsii-2021"*, February 9–10, 2022, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk branch of the Moscow State Technical University of Civil Aviation; 2022. Vol. 1. p. 51–72. (In Russ.).
7. Ustinov V. V., Kashkovsky V. V., Chobanyan L. G. The methodology, algorithm and criterion of quantitative evaluation of the quality of the landing approach maneuver and landing of a medium-haul aircraft according to the data of objective control means. *Crede Experto: Transport, Society, Education, Language*. 2022;(1):51–72. (In Russ.).
8. Nazarov P. S., Ustinov V. V. Methods of calculation of weight coefficients at implementation of level estimation algorithms of flight school cadets training. *Crede Experto: Transport, Society, Education, Language*. 2020;(4):80–92. (In Russ.).
9. Butyrin O. A., Kleshchenko S. V. Metodika kolichestvennoi otsenki kachestva tekhniki pilotirovaniya letchika v reisovykh usloviyakh. *Problemy bezopasnosti poletov*. 2008;(9):17–30. (In Russ.).
10. Butyrin O. A., Kleshchenko S. V. Metodika optimalnogo poleta. *Problemy bezopasnosti poletov*. 2008;(10):23–30. (In Russ.).

Информация об авторах

В. В. Кашковский – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Академии инженерных наук имени А. Н. Прохорова;
https://orcid.org/0000-0002-2865-2129,
viktor.kashkovskij@mail.ru
В. В. Устинов – старший преподаватель, аспирант;
https://orcid.org/0000-0002-3399-6671,
ustinov_1956@mail.ru✉

About the authors

V. V. Kashkovsky – Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of Academy of Engineering Sciences named after A. N. Prokhorov;
https://orcid.org/0000-0002-2865-2129,
viktor.kashkovskij@mail.ru
V. V. Ustinov – Senior Lecturer, Postgraduate;
https://orcid.org/0000-0002-3399-6671,
ustinov_1956@mail.ru✉

© Кашковский В. В., Устинов В. В., 2025

Научная статья
УДК 621.313.84: 519.85
https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-5

CC BY 4.0

Построение математической модели активной системы компенсации веса для проведения модальных испытаний слабодемпфированных аэрокосмических конструкций

Валентин Николаевич Максимов✉, Кирилл Валерьевич Кондратьев, Николай Васильевич Матюха, Павел Николаевич Максимов
АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва, Железногорск, Россия

Аннотация. В настоящей работе описана математическая модель системы, способной компенсировать вес конструкции при проведении модальных испытаний. Данная модель включает в себя электротехническую и механическую подсистемы, поведение которых описывается вторым правилом Кирхгофа и вторым законом Ньютона соответственно. В среде Ansys Maxwell выполнено моделирование и расчет параметров постоянного магнита. Для экспериментального определения индуктивности катушки была собрана электрическая схема, а полученные данные аппроксимированы в программной среде MATLAB. В результате проведенного исследования сформирована система дифференциальных уравнений, описывающая динамику электромагнитной системы компенсации веса.

Ключевые слова: электромагнитная система компенсации веса, MATLAB Simulink, второе правило Кирхгофа, Ansys Maxwell

Для цитирования: Максимов В. Н., Кондратьев К. В., Матюха Н. В., Максимов П. Н. Построение математической модели активной системы компенсации веса для проведения модальных испытаний слабодемпфированных аэрокосмических конструкций // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 2. С. 38–46. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-5.

Original article

Mathematical model building of active weight compensation system for conducting modal tests of lightly damped aerospace structures

Valentin N. Maksimov✉, Kirill V. Kondratyev, Nikolai V. Matyukha, Pavel N. Maksimov
JSC "Information Satellite Systems" Academician M. F. Reshetnev Company, Zheleznogorsk, Russia

Abstract. The paper describes a mathematical model of a system capable of compensating for the weight of a structure during modal tests. Kirchhoff's second law and Newton's second law describe the behavior of the electrical and mechanical subsystems, respectively, within this model. The Ansys Maxwell software is used to simulate and calculate the parameters of a permanent magnet. We assembled an electrical circuit to experimentally determine the coil's inductance, and we approximated the obtained data in the MATLAB software environment. As a result of the study, a system of differential equations is formed that describes the dynamics of the electromagnetic weight compensation system.

Keywords: electromagnetic weight compensation system, MATLAB Simulink, Kirchhoff's second law, Ansys Maxwell

For citation: Maksimov V. N., Kondratyev K. V., Matyukha N. V., Maksimov P. N. Mathematical model building of active weight compensation system for conducting modal tests of lightly damped aerospace structures. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(2):38–46. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-5.

© Максимов В. Н., Кондратьев К. В., Матюха Н. В., Максимов П. Н., 2025

ВВЕДЕНИЕ

Модальные испытания – это метод экспериментального исследования динамических характеристик механических систем. Основная цель таких испытаний – определение собственных частот, форм колебаний и коэффициентов демпфирования системы. Эти параметры важны для анализа динамического поведения объекта и его устойчивости к внешним воздействиям, например, вибрациям или ударам. При подготовке объекта к модальным испытаниям необходимо минимизировать нежелательные ограничения и демпфирования, а также исключить внешние воздействия, способные исказить результаты.

Одним из наиболее нежелательных внешних факторов при испытаниях аэрокосмической техники является влияние гравитации. Для исключения последней используются как пассивные, так и активные системы компенсации веса [1–4].

Пассивные системы компенсации веса работают без активного управления или внешнего источника энергии (например, электроприводов). Они используют механические свойства материалов и конструкций для уравновешивания веса объекта. Как правило пассивные системы строятся на пружинных или противовесных механизмах, которые имеют ряд минусов:

1. Требуют точной предварительной настройки для конкретного веса.
2. Пружинные системы могут иметь нелинейные характеристики, что приводит к неточной компенсации веса.
3. Для тяжелых объектов механические пружины или противовесы могут стать громоздкими.

Для устранения данных недостатков используют активные системы компенсации веса.

В данной работе рассматривается электромагнитная система компенсации веса, изображенная на рис. 1.

Она включает в себя четыре основных элемента: магнитопроводы 1 и 3, изготовленные из электротехнической стали, мощный постоянный магнит 2, соленоид 4, представляющий собой медную обмотку из сплава М1. Функция постоянного магнита состоит в генерации магнитного поля, которое при взаимодействии с токами, протекающими в соленоиде, создает силу Ампера, выполняющую компенсирующую роль [5–7]. Поскольку вес конструкции компенсируется действием силы Ампера, необходимо, чтобы постоянный магнит создавал достаточно сильное магнитное поле, что позволяет избежать необходимости пропускания через соленоид токов большой величины при обезвешивании массивных объектов. В связи с этим в качестве постоянного магнита был выбран неодимовый магнит, обладающий остаточной магнитной индукцией, примерно втрое превышающей аналогичный параметр у ферритовых магнитов.

Работа системы основывается на электродинамических принципах взаимодействия проводника с магнитным полем. Ток, протекающий в соленоиде, при взаимодействии с магнитным полем в зазоре создает силу. Направление вектора силы определяется направлением тока. При протекании тока по часовой стрелке сила действует вертикально вверх, в противном случае – вертикально вниз. Данная сила способна компенсировать массу как соленоида, так и груза, который будет к нему прикреплен. Индуктивность соленоида в данной системе зависит от его положения.

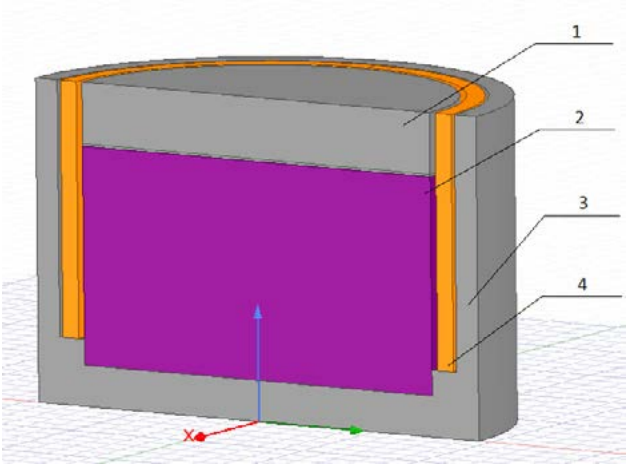


Рис. 1. Электромагнитная система
Примечание: составлено авторами.

© Максимов В. Н., Кондратьев К. В., Матюха Н. В., Максимов П. Н., 2025

В случае если соленоид полностью в зазоре, его индуктивность максимальна и магнитное сопротивление системы минимально, в обратном случае индуктивность минимальна, а магнитное сопротивление системы максимально [8].

Для полного понимания работы данной системы необходимо получить математическую модель, представляющую собой систему из дифференциальных уравнений, которая способна в полной мере описать электродинамические принципы, обеспечивающие компенсацию веса соленоида и груза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Математическая модель. Математическая модель включает в себя две взаимосвязанные подсистемы: механическую и электротехническую. Последняя из них по второму правилу Кирхгофа [9] является алгебраической суммой падения напряжения на активном сопротивлении системы, соленоиде и ЭДС самоиндукции, возникающей при движении соленоида:

$$U = RI + \frac{d(L(x)I)}{dt} + B \cdot l_{\text{ср}} \cdot \frac{dx}{dt},$$

где $l_{\text{ср}}$ – усредненная длина одного витка соленоида, B – магнитная индукция неодимового магнита.

Если расписать производную произведения, уравнение, описывающее электротехническую подсистему, примет следующий вид:

$$U = RI + L(x)\frac{dI}{dt} + I\frac{dL(x)}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} + B \cdot l_{\text{ср}} \cdot \frac{dx}{dt}.$$

В целях упрощения записи при дальнейшем моделировании перепишем данное уравнение следующим образом:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{1}{L(x)}\left(U - RI - I\frac{dL(x)}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} - B \cdot l_{\text{ср}} \cdot \frac{dx}{dt}\right).$$

Подсистему, описывающую механическое взаимодействие элементов системы, можно записать как дифференциальное уравнение движения:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = F_{\text{амп}} - F_{\text{вязкая}} - mg - F_{\text{маг}}.$$

В данное уравнение входят четыре силы. Основными из них являются:

1. Сила Ампера, перемещающая соленоид по вертикальной оси.
2. Сила вязкого трения, пропорциональная скорости и описывающая сопротивление среды движению.
3. Магнитная сила, являющаяся результатом взаимодействия магнитных индукций постоянного магнита и соленоида.

Расписав данные силы и записав все относительно ускорения системы, уравнение движения примет следующий вид:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \left(I \cdot l_{\text{пр}} \cdot c - A \cdot \frac{dx}{dt} - mg - \frac{I^2}{2} \cdot \frac{dL(x)}{dx}\right) \cdot \frac{1}{m}.$$

Для анализа величины B воспользуемся уравнением Максвелла о циркуляции магнитного поля [10], которое для постоянного магнита имеет следующий вид (1):

$$\oint_l Hdl = I + \frac{d}{dt}\int_S Dds, \qquad (1)$$

где D – электрическая индукция.

Через постоянный магнит не течет ток, следовательно, все, что находится в правой части уравнения (1), равно нулю. Таким образом, уравнение примет следующий вид:

$$\oint_l Hdl = H_{\text{ст}} \cdot l_{\text{ст}} + H_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}} = 0,$$

где $H_{\text{ст}}$ и $H_{\text{в}}$ – напряженности магнитного поля в стали и воздухе соответственно, $l_{\text{ст}}$ и $l_{\text{в}}$ – участок циркуляции магнитного поля в стали:

$$H_{\text{ст}} = -\frac{H_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}}}{l_{\text{ст}}} = -\frac{B_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}\mu_0 \cdot l_{\text{ст}}}.$$

Ввиду высокой магнитной проницаемости стали вектор индукции внутри материала преимущественно ориентирован вдоль направления наименьшего магнитного сопротивления. Следовательно, при выходе в зазор, обладающий значительно меньшей магнитной проницаемостью, ориентация вектора не претерпевает изменений, оставаясь перпендикулярной поверхности границы. Таким образом, вектор не изменяется – $B_{\text{ст}} = B_{\text{в}}$:

$$B_{\text{ст}} = -\frac{H_{\text{ст}} \cdot \mu_{\text{в}}\mu_0 \cdot l_{\text{ст}}}{l_{\text{в}}}.$$

© Максимов В. Н., Кондратьев К. В., Матюха Н. В., Максимов П. Н., 2025

Для определения магнитной индукции в стали необходимо обратиться к петле гистерезиса, где отрицательной напряженности магнитного поля соответствует положительное значение индукции [11–13]. Этот подход позволяет учесть нелинейные свойства ферромагнитного материала и правильно интерпретировать его магнитное состояние.

Программный комплекс Ansys Maxwell оснащен встроенной библиотекой гистерезисных кривых для различных материалов, что позволяет учитывать их магнитные характеристики с высокой точностью. Благодаря этому в среде моделирования возможно воспроизвести поведение неодимового магнита и провести численный расчет создаваемой им магнитной индукции как в стальном магнитопроводе, учитывая сложные нелинейные зависимости материала, так и в воздушном зазоре.

На рис. 2 изображена расчетная модель, магнитная индукция в рабочей области воздушного зазора находится в диапазоне от 0,7908 до 0,6326.

Для более точного расчета определения магнитной индукции определим магнитный поток, создаваемый магнитом. Для расчетной модели на рис. 2 он равен 0,031 Вб.

Отношением магнитного потока к площади сечения вычисляется магнитная индукция в зазоре:

$$B_{\text{в}} = B_{\text{ст}} = \frac{\Phi_{\text{ст}}}{S_{\text{ст}}} = \frac{0,0031}{0,0044} = 0,704 \text{ Тл.}$$

Для определения длины проволоки $l_{\text{пр}}$ воспользуемся следующим уравнением (2):

$$l_{\text{пр}} = l_{\text{ср}} \cdot N = 2\pi N\left(4R_1 + 6d_{\text{пр}}\right), \qquad (2)$$

где R_1 – радиус первого слоя обмотки, $d_{\text{пр}}$ – диаметр проволоки, N – число витков, пересекающих магнитный поток,

$$N = \frac{b_{\min} + x}{d_{\text{пр}}},$$

где $b_{\min}$ – минимальная ширина катушки, пересекающая магнитный поток.

Как показано на рис. 3, основная часть магнитного потока сосредоточена в области зазора, однако некоторая его доля рассеивается за пределы зазора. В начальный момент времени катушка полностью размещена внутри зазора и, соответственно, пересекает только магнитный поток, сконцентрированный

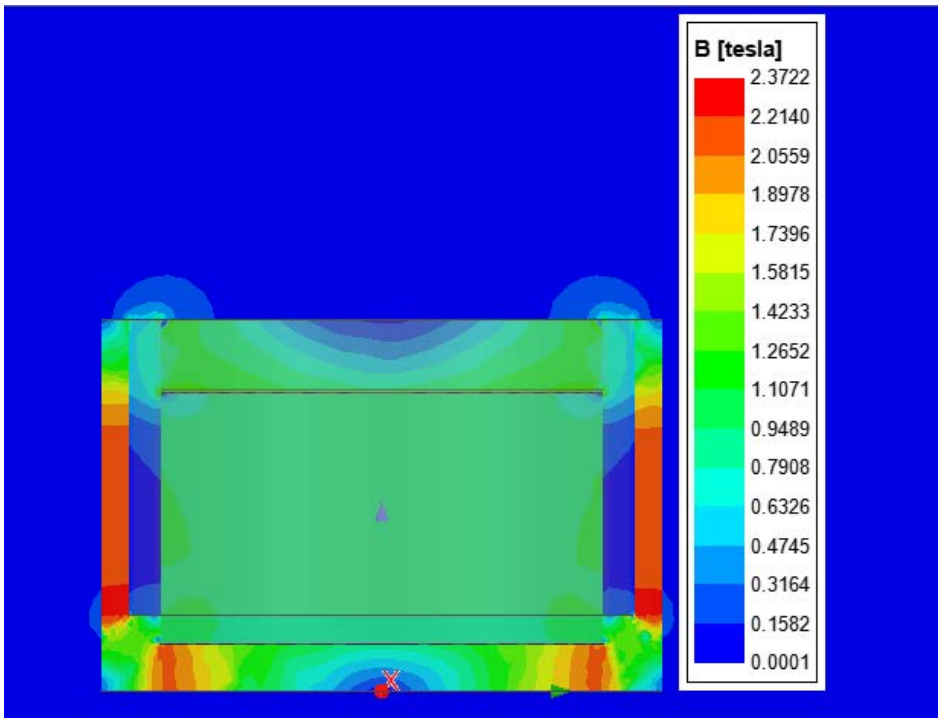


Рис. 2. Расчет постоянного магнита
Примечание: составлено авторами.

© Максимов В. Н., Кондратьев К. В., Матюха Н. В., Максимов П. Н., 2025

в нем. По мере выхода катушки за пределы зазора она начинает взаимодействовать с полным магнитным потоком, включая рассеянную его часть, вследствие чего увеличивается число витков, участвующих в работе обезвешивания.

Согласно рис. 3 можно определить максимальное число витков, пересекаемых магнитным потоком $\Phi_{ст}$:

$$N_{\max} = \frac{b_{\max}}{d_{пр}},$$

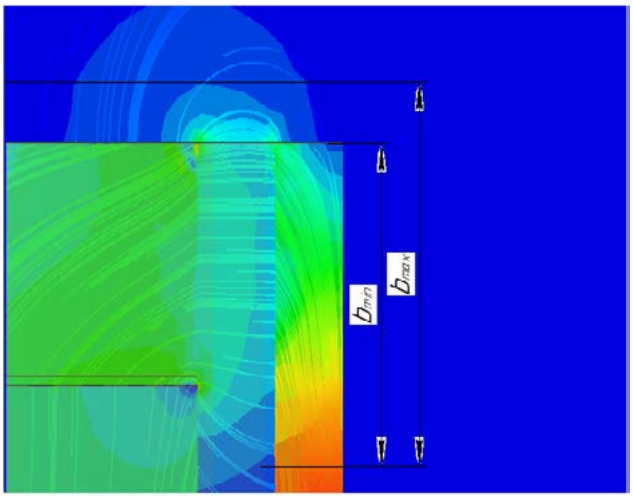


Рис. 3. Магнитное поле в зазоре
Примечание: составлено авторами.

где $b_{\max}$ – максимальная ширина катушки, пересекающая магнитный поток.

Следующим этапом определим индуктивность медной обмотки, которая представляет собой сложную нелинейную величину. Наличие данного факта делает аналитический расчет указанной величины весьма затруднительным, поэтому было принято решение провести экспериментальные замеры с последующим выведением эмпирической формулы. Для проведения измерений была составлена электрическая цепь, которая представлена на рис. 4.

Данная цепь включает в себя источник переменного тока, сопротивления проводов R_1 и R_2, катушку индуктивности с индуктивностью L и активным сопротивлением R_L, а также резистор с сопротивлением R.

Составленная электрическая схема позволяет замерить напряжения на резисторе и медной обмотке, которые, в свою очередь, выражаются следующими уравнениями:

$$u_R(t) = R \cdot i(t),$$

$$u_L(t) = R_L \cdot i(t) + L\frac{di}{dt},$$

где R – сопротивление резистора, RL – сопротивление медной обмотки, L – индуктивность медной обмотки.

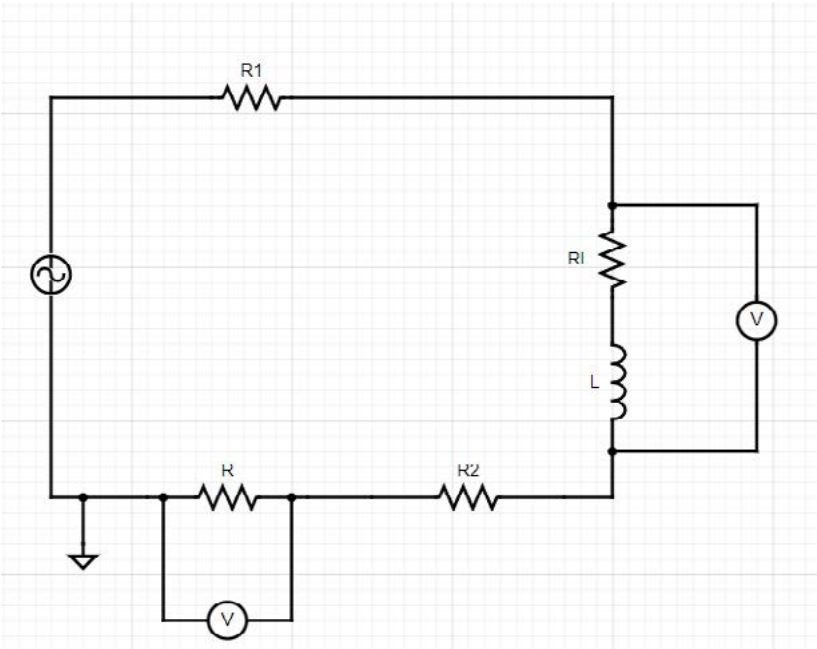


Рис. 4. Электрическая схема
Примечание: составлено авторами.

© Максимов В. Н., Кондратьев К. В., Матюха Н. В., Максимов П. Н., 2025

Применив преобразование Фурье, получим следующие уравнения:

$$U_R(i\omega) = R \cdot I(i\omega),$$

$$U_L(i\omega) = R_L \cdot I(i\omega) + LI(i\omega) \cdot i\omega.$$

Данные зависимости позволяют составить следующую передаточную функцию:

$$\frac{U_L(i\omega)}{U_R(i\omega)} = \frac{R_L \cdot I(i\omega) + LI(i\omega) \cdot i\omega}{R \cdot I(i\omega)} = \frac{R_L + L \cdot i\omega}{R} = \frac{Z}{R},$$

где Z – импеданс медной обмотки.

Выведенная передаточная функция позволяет определить импеданс медной обмотки, что выражает ее полное сопротивление в области комплексных чисел, где реальная и мнимая части представляют собой активное и реактивное сопротивления медной обмотки соответственно:

$$\mathrm{Re}(Z) = R_L,$$

$$\mathrm{Im}(Z) = L\omega.$$

В итоге индуктивность можно получить, поделив мнимую часть импеданса на частоту ω.

Основной сложностью определения индуктивности медной обмотки является использование стального диска (рис. 1), поскольку он является областью индуцирования токов, оказывающего воздействие на внешнее магнитное поле, генерируемое соленоидом. Поэтому для проведения замеров была выбрана частота тока, подводимого к соленоиду, в 0,1 Гц.

Влияние изменения положения соленоида на его индуктивность демонстрируется на рис. 5.

Учитывая нелинейное поведение индуктивности при изменении положения соленоида, для получения соответствующего уравнения была проведена полиномиальная аппроксимация (3):

$$L(x) = 883{,}33x^4 - 104{,}36x^3 + 3{,}24x^2 - 0{,}035x + 0{,}0056. \quad (3)$$

Продифференцировав данную функцию по перемещению, получим следующие уравнение (4):

$$\frac{dL(x)}{dx} = 3{,}53 \cdot 10^3 x^3 - 313{,}10x^2 + 6{,}49x - 0{,}0358. \quad (4)$$

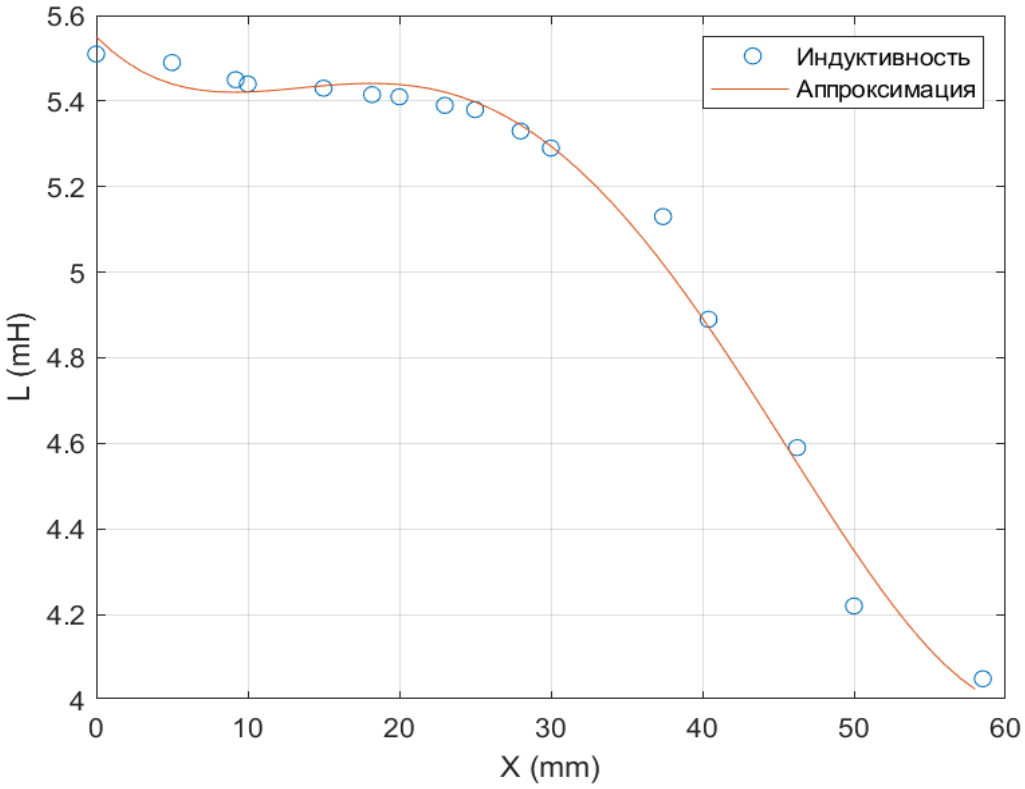


Рис. 5. Зависимость индуктивности от перемещения
Примечание: составлено авторами.

© Максимов В. Н., Кондратьев К. В., Матюха Н. В., Максимов П. Н., 2025

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В итоге электромагнитная система компенсации веса описывается двумя нелинейными дифференциальными уравнениями:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{1}{L(x)}\left(U - RI - I\frac{dL(x)}{dx}\cdot\frac{dx}{dt} - B\cdot l_{\text{ср}}\cdot\frac{dx}{dt}\right),$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \left(I\cdot l_{\text{пр}}\cdot B - c\cdot\frac{dx}{dt} - mg - \frac{I^2}{2}\cdot\frac{dL(x)}{dx}\right)\cdot\frac{1}{m},$$

в которых магнитная индукция постоянного магнита B, рассчитанная в программе Ansys Maxwell, равна 0,704 Тл, индуктивность катушки $L\ (x)$ и ее производная по перемещению $dL\ (x)/dx$ являются сложными функциями, которые были экспериментально замерены и аппроксимированы уравнениями (3) и (4) соответственно. Среднюю длину одного витка соленоида $l_{\text{ср}}$ и длину проволоки, пересекающую магнитный поток $l_{\text{пр}}$, можно найти из уравнения (2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная математическая модель активной системы обезвешивания с использованием постоянного магнита и соленоида предназначена для компенсации веса при проведении модальных испытаний слабодемпфированных аэрокосмических конструкций. Определены характеристики постоянного магнита и получены зависимости индуктивности и ее производной от перемещения. Составлена система дифференциальных уравнений, включающая в себя механическую и электротехническую подсистемы. Полученные соотношения описывают поведение системы в зависимости от силы тока, подаваемого на медную обмотку, что позволяет провести компьютерное моделирование системы с использованием программного обеспечения MATLAB [14–20].

Список источников

1. Иванов А. В., Зоммер С. А. Анализ процесса раскрытия зонтичного рефлектора на стенде с активной системой обезвешивания // Космические аппараты и технологии. 2021. Т. 5, № 4. С. 208–216.
2. Беляев А. С., Филипас А. А., Цавнин А. В. и др. Методика расчета системы обезвешивания крупногабаритных трансформируемых элементов космических аппаратов при наземных испытаниях // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22, № 1. С. 106–120.
3. Беляев А. С., Филипас А. А., Курганов В. В. и др. Четырехтросовая система обезвешивания с управлением по вектору силы // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2022. Т. 18, № 2. С. 98–106.
4. Гайдукова А. О., Белянин Н. А. Обзор систем обезвешивания // Решетневские чтения. 2016. Т. 1. С. 93–95.
5. Schulte Westhoff B., Maas J. Design of an electromagnetic linear drive with permanent magnetic weight compensation // Actuators. 2024. Vol. 13, no. 3. P. 107. https://doi.org/10.3390/act13030107.
6. Janssen J. L. G., Paulides J. J. H., Lomonova E. A. et al. Design study on a magnetic gravity compensator with unequal magnet arrays // Mechatronics. 2013. Vol. 23. P. 197–203.
7. Pechhacker A., Wertjanz D., Csencsics E. et al. Integrated electromagnetic actuator with adaptable zero power gravity compensation // IEEE Transactions on

References

1. Ivanov A. V., Zommer S. A. Analysis of the umbrella-type reflector opening process on a stand with an active gravity compensation system. *Spacecraft and Technologies*. 2021;5(4):208–216. (In Russ.).
2. Belyaev A. S., Filipas A. A., Tsavnin A. V. et al. Methodology for calculating the deweighting system of large-sized transformable elements of space vehicles for ground tests. *Siberian Aerospace Journal*. 2021;22(1):106–120. (In Russ.).
3. Belyaev A. S., Filipas A. A., Kurganov V. V. et al. Four-rope suspension system with force vector control. *Data Processing Facilities and Systems*. 2022;18(2):98–106. (In Russ.).
4. Gaidukova A. O., Belyanin N. A. Overviewing offloading (zero-g) system. *Reshetnevskie chteniya*. 2016;1:93–95. (In Russ.).
5. Schulte Westhoff B., Maas. J. Design of an electromagnetic linear drive with permanent magnetic weight compensation. *Actuators*. 2024;13(3):107. https://doi.org/10.3390/act13030107.
6. Janssen J. L. G., Paulides J. J. H., Lomonova E. A. et al. Design study on a magnetic gravity compensator with unequal magnet arrays. *Mechatronics*. 2013;23:197–203.
7. Pechhacker A., Wertjanz D., Csencsics E. et al. Integrated electromagnetic actuator with adaptable zero power gravity compensation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2024;71(5):5055–5062. https://doi.org/10.1109/TIE.2023.3288176.

© Максимов В. Н., Кондратьев К. В., Матюха Н. В., Максимов П. Н., 2025

Industrial Electronics. 2024. Vol. 71, no. 5. P. 5055–5062. https://doi.org/10.1109/TIE.2023.3288176.
8. Лысенков Я. А., Иванов Н. Н. Построение имитационной модели соленоида с использованием среды MATLAB Simulink // Вестник науки. 2023. Т. 4, № 5. С. 806–814.
9. Хоровиц П., Хилл У., Искусство схемотехники; в 3-х т. 4-е изд., перераб. и доп. / пер. с англ. Бронина Б. Н., Коротова А. И., Микшиса М. Н. и др. М. : Мир, 1993. Т. 1. 413 с.
10. Parker R. J. Advances in Permanent Magnetism. New York: By John Wiley & Sons, 1990. 352 p.
11. Монк С., Шерц П. Электроника. Теория и практика : практич. руководство. СПб. : БХВ-Петербург, 2018. 1168 с.
12. Альтман А. Б., Верниковский Э. Е., Герберг А. Н. и др. Постоянные магниты. Справочник. 2-е изд. перераб., доп. М. : Энергия, 1980. 488 с.
13. Арнольд Р. Р. Расчет и проектирование магнитных систем с постоянными магнитами. М. : Энергия, 1969. 184 с.
14. Brezak D., Kovač A., Firak M. MATLAB/Simulink simulation of low-pressure PEM electrolyzer stack // International Journal of Hydrogen Energy. 2023. Vol. 48, no. 16. P. 6158–6173. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.03.092.
15. Taha Z., Aydın K., Arafah D. et al. Comparative simulation analysis of electric vehicle powertrains with different configurations using AVL cruise and MATLAB Simulink // New Energy Exploitation and Application. 2024. Vol. 3, no. 1. P. 171–184. https://doi.org/10.54963/neea.v3i1.276.
16. Naz F. Closed loop buck & boost converter mathematical modeling, analysis and simulation using MATLAB // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2021. Vol. 10, no. 4. P. 263–271. https://doi.org/10.35940/ijeat.D2525.0410421.
17. Красинский А. Я., Ильина А. Н., Красинская Э. М. и др. Математическое и компьютерное моделирование динамики планетохода с радиально деформируемыми колесами // Труды МАИ. 2017. № 95. С. 30.
18. Гавва Л. М. Параметрический анализ в операционной среде MATLAB напряжённо-деформированного состояния конструктивно-анизотропных панелей из композиционных материалов с учётом технологии изготовления // Труды МАИ. 2017. № 93. С. 27.
19. Фадин Д. А. Использование среды MATLAB-Simulink для реализации вычислительных алгоритмов в целочисленных микропроцессорных системах // Труды МАИ. 2015. № 80. С. 22.
20. Абдали Л. М. А., Аль-Малики М. Н. К., Кувшинов В. В. и др. Математическое моделирование с использованием алгоритма контроля точки максимальной мощности для фотоэлектрической системы // Труды МАИ. 2023. № 130. С. 20.

8. Lysenkov Ya. A., Ivanov N. N. Building a simulation model of a solenoid using the MATLAB Simulink environment. *Vestnik nauki*. 2023;4(5):806–814. (In Russ.).
9. Khorovits P., Khill U., Iskusstvo skhemotekhniki. In 3 vols.: 4th ed., rev. Bronin B. N., Korotov A. I., Mikshis M. N. et al., trans. Moscow: Mir; 1993. Vol. 1. 413 p. (In Russ.).
10. Parker R. J. Advances in Permanent Magnetism. New York: By John Wiley & Sons; 1990. 352 p.
11. Monk S., Scherz P. Practical electronics for inventors. St. Petersburg: BKhV-Peterburg; 2018 p. 1168 p. (In Russ.).
12. Altman A. B., Vernikovskiy E. E., Gerberg A. N. et al. Postoiannye magnity. Guide. 2nd ed., rev. Moscow: Energiya; 1980. 488 p. (In Russ.).
13. Arnold R. R. Raschet i proektirovanie magnitnykh sistem s postoyannymi magnitami. Moscow: Energiya; 1969. 184 p. (In Russ.).
14. Brezak D., Kovač A., Firak M. MATLAB/Simulink simulation of low-pressure PEM electrolyzer stack. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2023;48(16):6158–6173. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.03.092.
15. Taha Z., Aydın K., Arafah D. et al. Comparative simulation analysis of electric vehicle powertrains with different configurations using AVL cruise and MATLAB Simulink. *New Energy Exploitation and Application*. 2024;3(1):171–184. https://doi.org/10.54963/neea.v3i1.276.
16. Naz F. Closed loop buck & boost converter mathematical modeling, analysis and simulation using MATLAB. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT).* 2021;10(4):263–271. https://doi.org/10.35940/ijeat.D2525.0410421.
17. Krasinsky A. Y., Ilyina A. N., Krasinskaya E. M. et al. Mathematical and computer modeling of rover with elastic suspension longitudinal dynamics. *Trudy MAI.* 2017;(95):30. (In Russ.).
18. Gavva L. M. Strain-stress parametric analysis of structurally anisotropic panels of composite materials with account for manufacturing technology in MATLAB. *Trudy MAI.* 2017;(93):27. (In Russ.).
19. Fadin D. A. Realizing computational algorithms on integer microprocessor systems using MATLAB Simulink. *Trudy MAI.* 2015;(80):22. (In Russ.).
20. Abdali L. M. A., Al-Maliki M. N. K., Kuvshinov V. V. et al. Mathematical technique modeling using the algorithm for control of the maximum power point for a photoelectric system. *Trudy MAI.* 2023;(130):20. (In Russ.).

© Максимов В. Н., Кондратьев К. В., Матюха Н. В., Максимов П. Н., 2025

Информация об авторах

В. Н. Максимов – аспирант, инженер;
https://orcid.org/0009-0003-5187-0874,
1928d@mail.ru✉
К. В. Кондратьев – кандидат технических наук, начальник группы отработки новых методов испытаний;
kondratevkv@iss-reshetnev.ru
П. Н. Максимов – аспирант, инженер;
https://orcid.org/0009-0004-6637-1442,
maksimovpn@iss-reshetnev.ru
Н. В. Матюха – ведущий инженер;
1528d@mail.ru

About the authors

V. N. Maksimov – Postgraduate, Engineer;
https://orcid.org/0009-0003-5187-0874,
1928d@mail.ru✉
K. V. Kondratyev – Candidate of Sciences (Engineering), Head of the Group for Developing New Testing Methods;
kondratevkv@iss-reshetnev.ru
P. N. Maksimov – Postgraduate, Engineer;
https://orcid.org/0009-0004-6637-1442,
maksimovpn@iss-reshetnev.ru
N. V. Matyukha – Leading Engineer;
1528d@mail.ru

© Максимов В. Н., Кондратьев К. В., Матюха Н. В., Максимов П. Н., 2025

Научная статья
УДК 621.3.049.75
https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-6

CC BY 4.0

Анализ обеспечения целостности сигнала на печатной плате при проектировании высокопроизводительных вычислительных устройств

Александр Александрович Пирогов[1], Марина Владимировна Хорошайлова[1], Николай Григорьевич Назаренко[1], Элеонора Викторовна Сёмка[2]✉
[1]Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия
[2]Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия

Аннотация. Проведен всесторонний анализ перекрестных помех между различными микрополосковыми структурами на печатных платах. В качестве метода анализа использовался метод конечных разностей во временной области, обеспечивающий точное моделирование распространения электромагнитных волн и, как следствие, перекрестных помех. Диапазон частот, охваченный моделированием, составлял до 10 ГГц. Этот широкий диапазон критически важен для оценки влияния перекрестных помех на высокоскоростные цифровые и аналоговые схемы, где паразитные эффекты могут существенно влиять на производительность.

Моделирование показало, что микрополосковые линии с двойным выступом снижают перекрестные помехи на дальнем конце более чем на 35 % по сравнению с параллельными линиями, но при этом увеличивают перекрестные помехи на ближнем конце более чем на 12 %. Линии с чередующимися выступами показали хорошие результаты в снижении на дальнем конце. Параллельные змеевидные микрополосковые линии уменьшили на дальнем конце более чем на 10 дБ и на ближнем конце примерно на 2 дБ, чем другие структуры. На основе параметров индуктивности и емкости проанализированы вносимые потери (100 МГц – 20 ГГц), на ближнем конце, собственное сопротивление в частотной и передача во временной области, с последующим сравнением трассировок с выступами и без них.

Разработан метод моделирования эквивалентной схемы трассировки с трапециевидными отрезками, основанный на сегментации. Предложенная модель верифицирована посредством 3D-электромагнитного моделирования и измерений в частотной области.

Ключевые слова: целостность сигнала, электромагнитные помехи, микрополосковые линии, перекрестные помехи, печатная плата, усеченные трапециевидные отрезки, метод конечных разностей во временной области

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания «Молодежная лаборатория» № FZGM-2024-0003.

Для цитирования: Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В. Анализ обеспечения целостности сигнала на печатной плате при проектировании высокопроизводительных вычислительных устройств // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 2. С. 47–57. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-6.

© Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В., 2025

Original article

Signal integrity control analysis on printed circuit board in design of high-performance computing devices

Aleksandr A. Pirogov[1], Marina V. Khoroshailova[1], Nikolay G. Nazarenko[1], Eleonora V. Syomka[2]✉
[1]Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia
[2]Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia

Abstract. Crosstalk between different microstrip structures on printed circuit boards has been comprehensively analyzed. The finite difference time domain (FDTD) was used as the analysis method, providing an accurate simulation of electromagnetic wave propagation and, consequently, crosstalk. The frequency range covered by the modelling was up to 10 GHz. This wide range is critical for assessing the impact of crosstalk on high-speed digital and analogue circuits, where parasitic effects can significantly affect performance.

Simulations revealed that microstrip lines with double protrusions reduce far end crosstalk (FEXT) by more than 35% compared to parallel lines, but increase near end crosstalk (NEXT) by more than 12%. Lines with alternating protrusions showed good results in reducing FEXT. Parallel serpentine microstrip lines reduced FEXT by more than 10 dB and NEXT by about 2 dB than other structures. The insertion loss (100 MHz – 20 GHz), FEXT, intrinsic resistance in the frequency domain and transmission in the time domain were analyzed based on inductance and capacity parameters, followed by a comparison of traces with and without protrusions.

Segmentation-based method for modelling an equivalent trace pattern with trapezoid segments is developed. The proposed model is validated by means of 3D electromagnetic modelling and measurements in the frequency domain.

Keywords: signal integrity, electromagnetic interference, microstrip lines, crosstalk, printed circuit board, truncated trapezoid segments, finite difference time domain method

Funding: the work is supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the state assignment “Youth laboratory” No. FZGM-2024-0003.

For citation: Pirogov A. A., Khoroshailova M. V., Nazarenko N. G., Syomka E. V. Signal integrity control analysis on printed circuit board in design of high-performance computing devices. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(2):47–57. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-6.

ВВЕДЕНИЕ

Современные печатные платы сталкиваются с вызовами в области целостности сигналов, что требует применения специализированных методов компоновки и трассировки. Основная задача заключается в минимизации искажений сигнала при его передаче от источника к приемнику.

Для достижения этой цели применяются ключевые стратегии, включая разработку многослойной структуры, которая включает оптимизацию распределения питания, заземляющих проводников и сигнальных цепей. Кроме того, важной является грамотная подборка компонентов, что включает выбор конденсаторов, расчет импеданса, а также учет ограничений для цепей и дифференциальных пар.

При работе с высокоскоростными сигналами критически важно точно рассчитать импеданс для предотвращения отражений, снижения потерь и дисперсии, устранения перекрестных помех, минимизации излучательных потерь и обеспечения корректного уровня цифровых сигналов. Необходимо также учитывать влияние высокочастотных эффектов, вызванных паразитными компонентами и потерями, обусловленными шероховатостью меди.

Надежное заземление и его правильное размещение вблизи сигнальных проводников

© Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В., 2025

играют ключевую роль. Правильная организация слоев и оптимальный выбор конфигурации слоев питания и заземления позволяют эффективно решать множество проблем, связанных с электромагнитной совместимостью и целостностью передаваемых сигналов.

Обеспечение целостности сигнала (ЦС) на печатной плате (ПП) критически важно для проектирования высокопроизводительных вычислительных устройств. С ростом частот и плотности компонентов, проблемы, такие как отражения, перекрестные помехи и потери мощности, оказывают существенное влияние на функциональность и надежность системы.

Анализ ЦС включает моделирование поведения сигналов, используя такие методы, как анализ во временной и частотной областях. Необходимо учитывать импеданс трасс, согласование нагрузок, развязку питания и заземления. Особое внимание уделяется проектированию дифференциальных пар, расположению компонентов и выбору материалов ПП с низкими диэлектрическими потерями.

Для минимизации проблем ЦС используются специализированные программные средства для моделирования и верификации. Валидация физического прототипа с помощью измерений параметров S-параметров, временной области (ВО) и анализа электрического поля подтверждает соответствие требованиям. Правильный анализ и проектирование ЦС гарантируют оптимальную производительность и надежность вычислительного устройства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Моделирование перекрестных помех (Crosstalk) на ближнем конце NEXT (Near-End Crosstalk) и дальнем конце FEXT (Far-End Crosstalk) на печатной плате (ПП) является критически важным этапом при проектировании высокопроизводительных вычислительных устройств. Метод конечных разностей во временной области (КРВО) предоставляет эффективный инструмент для анализа и уменьшения этих помех. В процессе моделирования учитываются геометрия проводников, диэлектрические свойства материала ПП и характеристики сигналов [1–3].

Применение КРВО позволяет точно оценить амплитуду и форму импульсов NEXT и FEXT, возникающих из-за емкостной и индуктивной связи между линиями передачи. Результаты моделирования используются для оптимизации трассировки, добавления экранирующих слоев и подбора импеданса с целью минимизации перекрестных помех и обеспечения целостности сигнала. Валидация модели КРВО осуществляется путем сравнения результатов симуляции с измерениями на тестовых платах. Снижение уровня перекрестных помех улучшает производительность и надежность вычислительных устройств.

На рис. 1 представлены параллельные микрополосковые линии на печатной плате. В данном случае первая линия функционирует как источник помех (агрессор), а вторая линия подвергается воздействию этих помех (жертва), на которой возникают перекрестные интерференции.

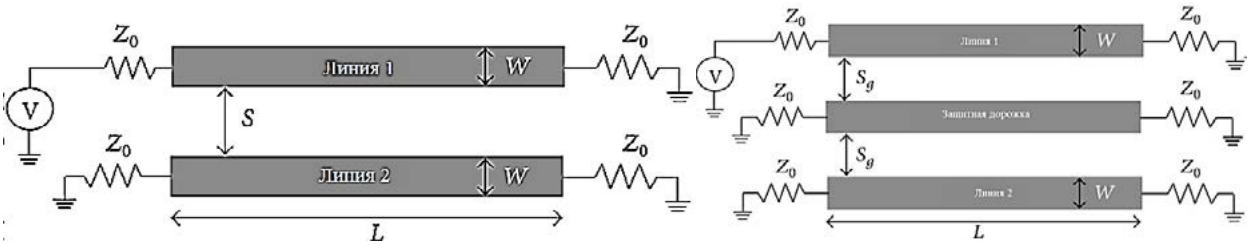
Рис. 1. Параллельные линии проводников на печатной плате
Примечание: составлено авторами.

В описанных линиях источник сигнала находится на одном конце агрессора, в то время как его противоположный конец соединен с нагрузкой модулем 50 Ом. Перекрестные помехи NEXT и FEXT можно представить в виде различных индуктивных и емкостных связей.

Рис. 2 демонстрирует дорожки на печатных платах, одна сторона микрополосковой линии которой касается воздуха.

На диэлектрическом слое формируются дорожки, а заземление располагается на нижней стороне этого слоя. Линии имеют одинаковую ширину (W) и равную длину (L), при этом подложка характеризуется диэлектриче-

© Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В., 2025



а) б)

Рис. 2. Дорожки на печатных платах:
а) параллельные линии проводников на печатной плате;
б) линии проводников на печатной плате с защитной дорожкой
Примечание: составлено авторами.

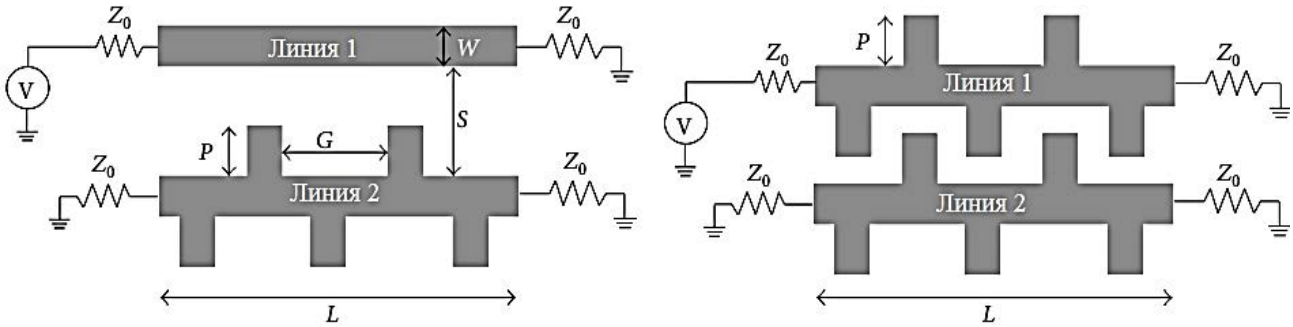
ской проницаемостью ε_r и толщиной H, а проводник – толщиной t и шириной W. Расстояние между линиями обозначается буквой S.

На рис. 2а представлены стандартные параллельные микрополоски, расположенные с интервалом S, при этом индуктивная связь между ними значительно превышает емкостную. Один из способов уменьшить перекрестные помехи – увеличить расстояние между линиями агрессора и жертвы, но это снижает плотность упаковки. Другой метод – вставка защитной трассы между этими линиями на расстоянии Sg (рис. 2б), что помогает уменьшить помехи. Защитная трасса имеет те же размеры, что и линии агрессора и жертвы, чтобы минимизировать сложности, однако может привести к несбалансированности импеданса. Альтернативным решением может быть использование сквозной защитной трассировки, но это не всегда подходит при общей плате.

Чередующаяся микрополосковая линия представляет собой альтернативную маршрутизацию для снижения перекрестных помех, где трассы приближены к пропорциональным линиям, что видно на рис. 3а. На рис. 3б представлена микрополосковая линия с переменными выступами, прикрепленными вертикально как к линиям агрессора, так и к линиям жертвы.

Использование КРВО открывает возможности для решения электромагнитных задач в одномерных, двумерных и трехмерных пространствах. Этот подход основан на модифицированных уравнениях Максвелла, применяемых с центральными разностями для получения приближенных решений.

В отличие от частотной области, где уравнения Максвелла решаются для конкретных частот, КРВО решает их непосредственно во временной области, предоставляя решения, изменяющиеся во времени, для электромагнитных полей. Этот подход особенно полезен для анализа широкополосных сигналов и переходных процессов, когда частотный анализ может быть громоздким.



а) б)

Рис. 3. Микрополосковая линия с переменными выступами:
а) конфигурация с одним выступом; б) конфигурация с двойным выступом
Примечание: составлено авторами.

© Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В., 2025

Ключевыми уравнениями, используемыми в методе КРВО, являются закон Ампера и закон Фарадея, представленные в дифференциальной форме. Эти уравнения устанавливают взаимосвязь между изменениями электрического поля и магнитного поля и наоборот. В КРВО пространство и время дискретизируются, что позволяет заменить дифференциальные операторы на централизованные разностные аппроксимации, тем самым обеспечивая численное решение уравнений Максвелла.

Приведенные ниже уравнения Максвелла применяются для анализа электрических и магнитных полей во временной области (1)–(3):

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\nabla \times E = \frac{\partial D}{\partial t} + J, \quad (2)$$

где D – напряженность электрического поля, а B – плотность магнитного потока, которые могут быть записаны через E и H как

$$D = \varepsilon E, \quad B = \mu H, \quad (3)$$

где μ обозначает проницаемость, а ε – диэлектрическую проницаемость. Структура предполагалась без потерь, среда изотропная и однородная.

Эта дискретизация приводит к набору алгебраических уравнений, которые могут быть решены итеративно для вычисления значений электрического и магнитного полей в каждой точке сетки в каждый момент времени. Для обеспечения точности и стабильности решения необходимо соблюдать критерий Куранта – Фридрихса – Леви (CFL), который связывает размер шага по времени с размером ячейки сетки.

На рис. 4 представлена система передачи данных в запоминающем устройстве, которая состоит из центрального процессора (ЦП), ПП и двойного модуля памяти (DIMM). В этом контексте особое внимание уделяется ключевым аспектам ЦС.

В этой системе возникают проблемы с ЦС в высокоскоростном канале передачи данных, которые обусловлены потерями в канале, пересечениями на дальних границах и несовпадением импедансов. Проектирование таких каналов должно принимать во внимание указанные недостатки. Для увеличения ско-

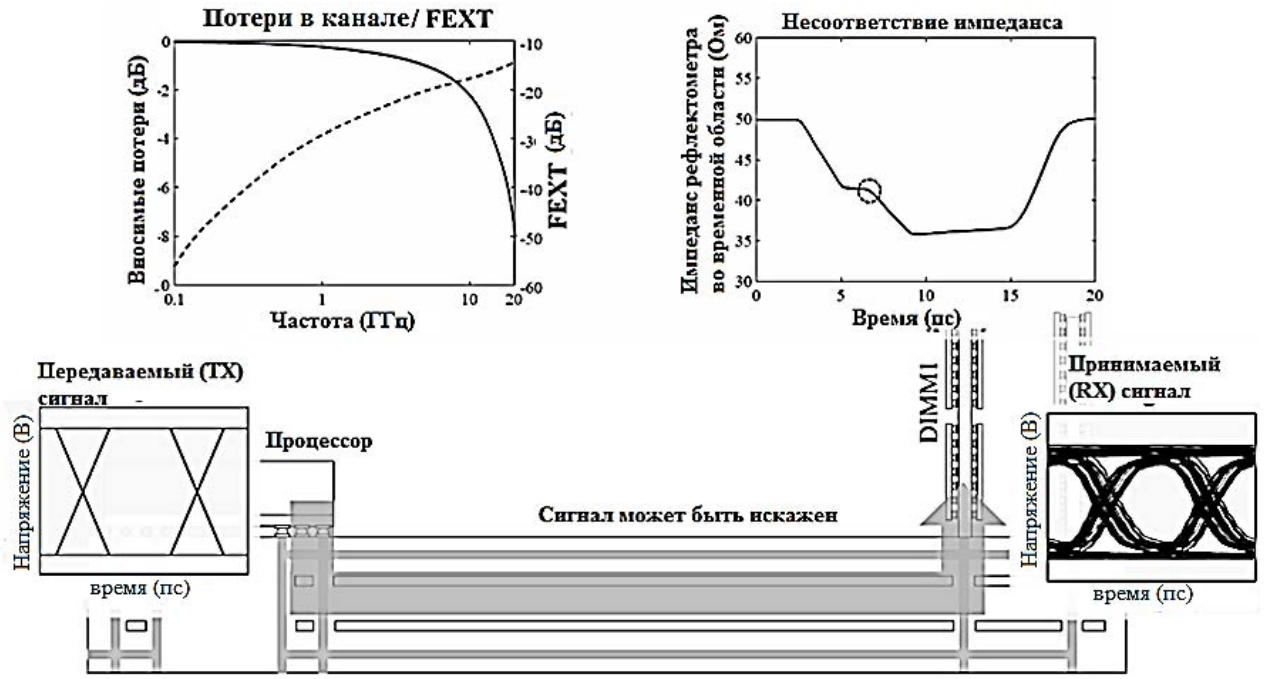


Рис. 4. Нарушение целостности пути передачи сигнала в запоминающем устройстве
Примечание: составлено авторами.

© Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В., 2025

рости передачи в системе памяти необходимо уменьшить задержку в высокоскоростном канале. Кроме того, важно контролировать рефлектометрию во ВО и снизить потери, а также FEXT. В ограниченном пространстве высокая плотность каналов вызывает ухудшение передачи данных. В контексте высокопроизводительных серверных плат, используется конструкция трассировки, известная как tabbed routing, которая представляет собой эффективный метод для оптимизации целостности сигнала. Tabbed routing использует стратегическое размещение проводников, создавая своего рода «вкладки» или ответвления вдоль основной трассы, при таком методе трассировки проводники располагаются слоями и соединяются между собой через межслойные переходы (виа). Это позволяет более эффективно использовать доступное пространство платы, уменьшить перекрестные помехи и минимизировать длину трасс, что критически важно для высокоскоростных сигналов [4].

Ключевым элементом этой конструкции является применение усеченных трапециевидных отрезков. Эти усеченные отрезки выполняют двойную функцию: во-первых, они минимизируют FEXT, эффективно подавляя нежелательные электромагнитные помехи между соседними сигналами. Во-вторых, усеченные трапециевидные отрезки способствуют стабилизации импеданса трассы. Контролируемый импеданс критически важен для предотвращения отражений сигнала, которые могут привести к искажениям и снижению производительности.

В совокупности tabbed routing с использованием усеченных трапециевидных отрезков обеспечивает более чистый и стабильный путь сигнала, что особенно важно в средах, где скорость и надежность передачи данных имеют первостепенное значение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 указаны параметры структуры и их определения.

Таблица 1

Структурные параметры, используемые при проектировании высокоскоростного канала передачи сигналов с использованием усеченных трапециевидных отрезков

Параметр	Определение
wchannel	Ширина канала без выступа
schannel	Расстояние между каналами
lwtab	Длинная ширина на выступе
swtab	Короткая ширина на выступе
ltab	Длина выступа
stab	Расстояние между выступами

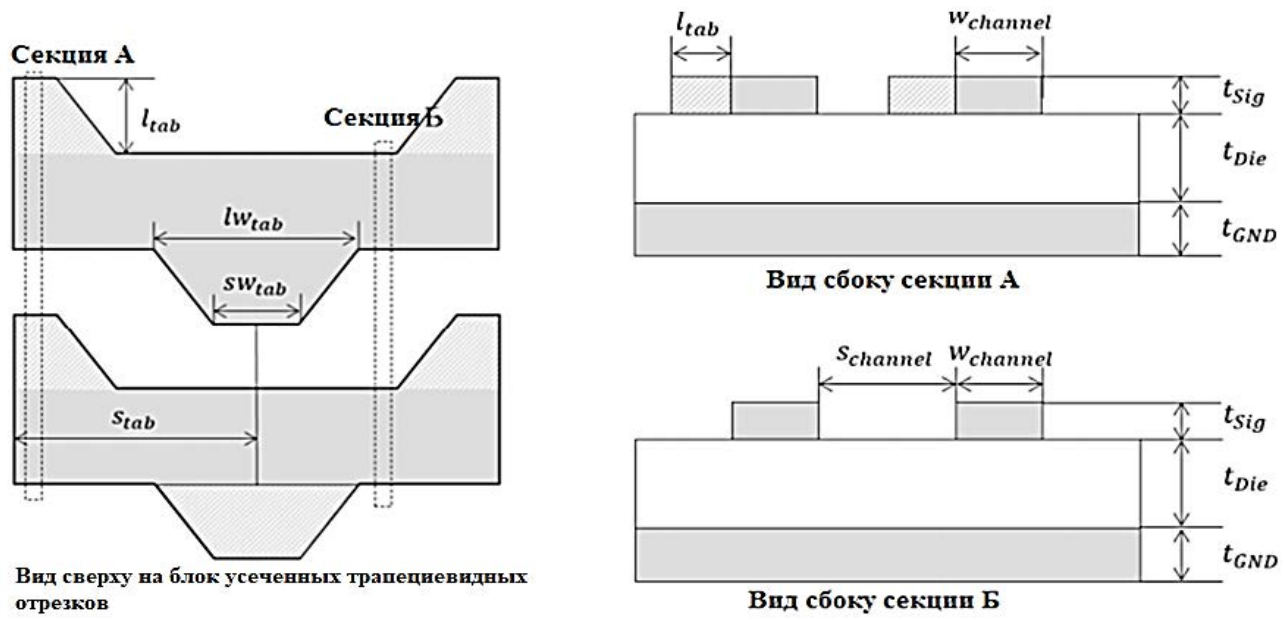
Примечание: составлено авторами.

Рис. 5а демонстрирует верхний и боковой виды маршрутизации с одним блоком трапециевидных отрезков. На рис. 5б в сегментах А и Б ширина канала может варьироваться из-за конструктивных особенностей трапециевидного выступа. В отличие от стандартной линии передачи, маршрутизация с выступами требует моделирования с использованием одноэлементного выступа для оптимального сохранения сигнала.

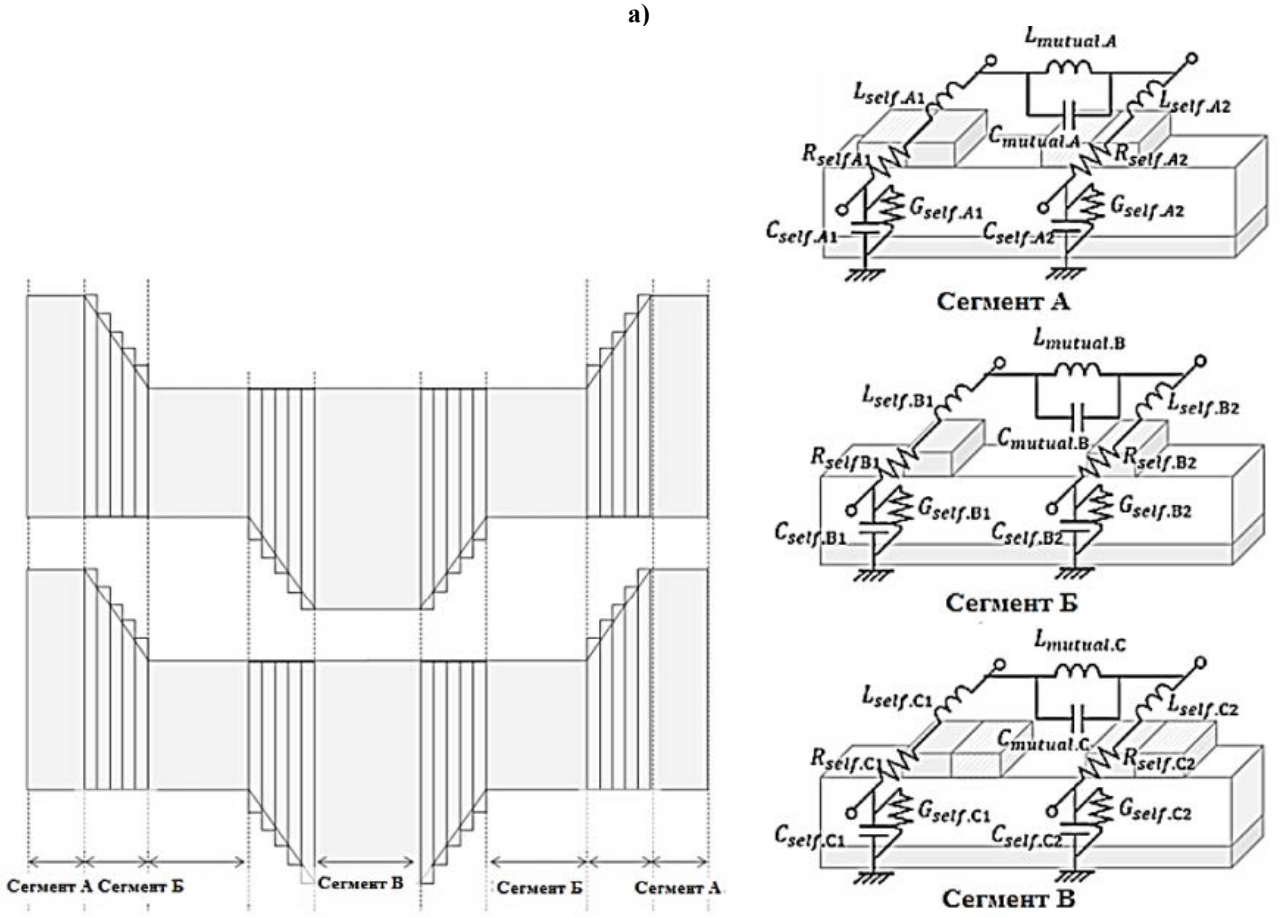
Каждый сегмент представляет собой несимметричные связанные микрополосковые линии с изменяющейся шириной канала. Важные параметры сигнальной трассы, такие как потери, FEXT и ВО, зависят от размеров микрополосковой линии.

В связи с этим выполнение анализа трассировки с трапециевидными выступами оказывается более сложным, что обуславливает необходимость моделирования по методу сегментации, как показано на рис. 5б. Расчет емкости и индуктивности производится с учетом изменения ширины и площади связанной микрополосковой линии. Кроме того, для границы между выступами рассчитывается дополнительная емкость края, которая учитывается в эквивалентной модели.

© Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В., 2025



а)



б)

Рис. 5. Виды маршрутизации с одним блоком трапециевидных отрезков:
а) виды сверху и сбоку одноблочной трассировки с трапециевидными отрезками и структурными параметрами;
б) изображение метода сегментации для моделирования маршрутизации с трапециевидными отрезками с помощью эквивалентной схемы RLC
Примечание: составлено авторами.

© Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В., 2025

Значения матрицы индуктивности определяются в однородной среде на основе емкости для парной микрополосковой линии, исключая влияние границы выступа.

Таким образом, в данной статье представлен усовершенствованный метод моделирования трассировки с использованием трапециевидных отрезков и метода сегментации, приведенный на рис. 6.

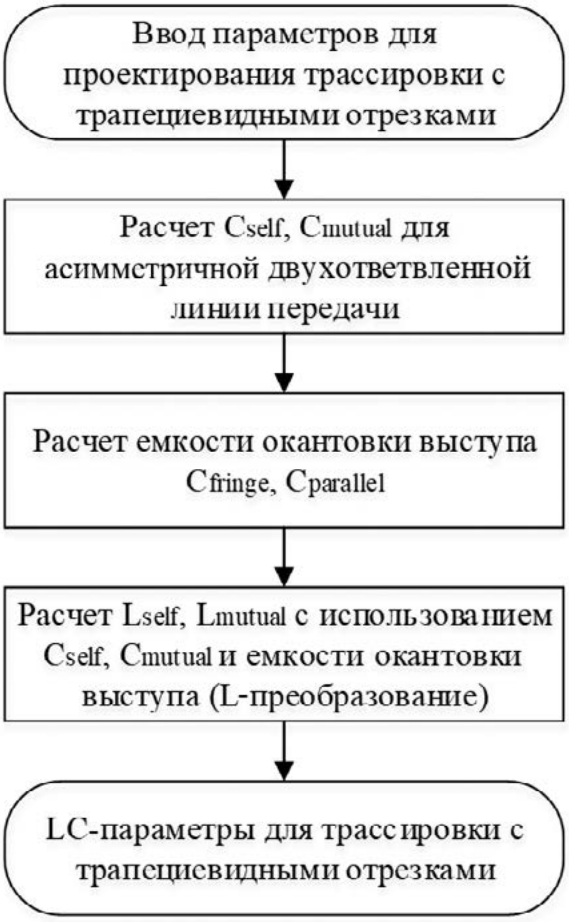


Рис. 6. Блок-схема разработанной методики трассировки с трапециевидными отрезками, основанной на методе сегментации
Примечание: составлено авторами.

Величины собственной и взаимной емкостей несимметрично связанной микрополосковой линии вычисляются на основе эталонного уравнения, полученного из физических параметров проектирования маршрутизации с фиксированными выступами, как указано в табл. 1.

Во-вторых, емкость края C_{fringe} рассчитывается с применением фиксированных физических параметров разработки трассировки с трапециевидными отрезками. На следующем этапе значения собственной и взаимной емкостей определяются путем вычисления матрицы на основе ранее полученных результатов расчета емкостей и емкости края. Также было введено понятие «L-преобразование» для расчетов матрицы индуктивности, которая включает в себя взаимную емкость и емкость, ограниченную выступами. Используя рассчитанные значения индуктивности и емкости наряду с параметрами сопротивления и проводимости, возможно создать одноблочную модель трассировки с трапециевидными отрезками.

Параметры полной емкости представлены на рис. 7 и зависят от конструктивных характеристик асимметричной микрополосковой линии.

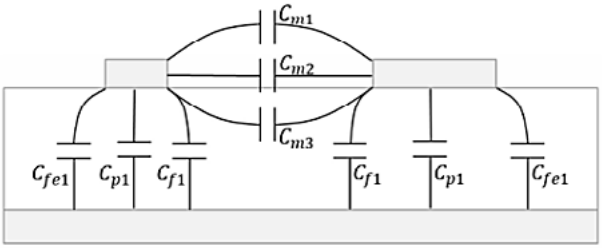


Рис. 7. Вид поперечного сечения соединенных асимметричных микрополосковых линий и параметры емкости
Примечание: составлено авторами.

Матрица емкости C для двухполосной микрополосковой линии имеет вид (4)–(7):

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} + C_m & -C_m \\ -C_m & C_{22} + C_m \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$C_{11} = C_{f1} + C_{p1} + C_{fe1}, \quad (5)$$

$$C_{22} = C_{f2} + C_{p2} + C_{fe2}, \quad (6)$$

$$C_m = C_{m1} + C_{m2} + C_{m3}. \quad (7)$$

Матрица C в (4) представляет собой не зависящее от частоты значение, где C_{11}, C_{22}, C_m показывают значения собственной емкости линии 1 и линии 2 на землю и взаимную емкость между линиями 1 и 2 соответственно.

На втором этапе рассчитывается окаймляющая емкость выступа. Результат распределения электрической трассировки с трапециевидными отрезками представлен на рис. 8.

© Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В., 2025

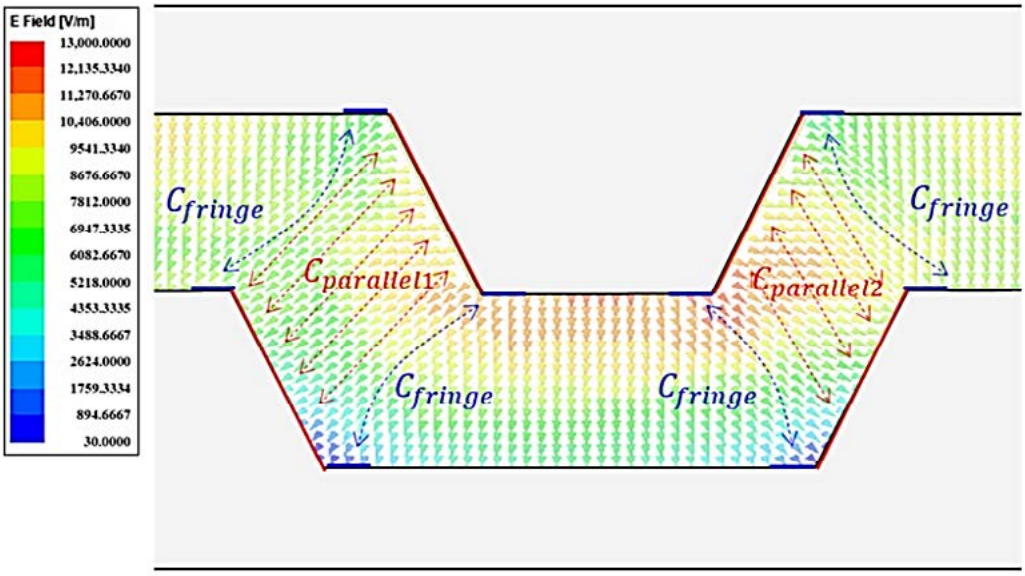


Рис. 8. Моделирование электромагнитного поля для трассировки с трапециевидными отрезками
Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

В общем случае вектор электромагнитного поля микрополосковой линии генерируется в направлении, перпендикулярном направлению электромагнитной волны.

Для косого уклона параллельные поверхности обращены друг к другу, и $C_{parallet}$ можно рассчитать с использованием (8)–(9):

$$C_{parallet} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{t_{sig}}{d_{tab}}, \quad (8)$$

$$d_{tab} = \sqrt{\left(s_{channel} - l_{tab}\right)^2 + \left(s_{tab} - \frac{lw_{tab} + sw_{tab}}{2}\right)^2}. \quad (9)$$

Для учета наклонного электронного поля, которое создается соседними трапециевидными отрезками, можно ввести дополнительные взаимные емкости C_{fringe} и C_{parallel} [5]. Это позволит более точно смоделировать эффект выступов, используя описанные ранее два этапа. Однако для повышения устойчивости моделирования вводится дополнительный шаг. Расчет матрицы индуктивности двухсвязной асимметричной микрополосковой линии L может быть выполнен по (10).

$$L = \begin{bmatrix} L_{11} & L_m \\ L_m & L_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{\nu_s^2} U_{2\times2} C_{air}^{-1}. \quad (10)$$

Эта матрица учитывает как самоиндуктивность каждой полоски, так и взаимную индуктивность между ними. Используя (10), можно рассчитать матрицу емкости C двухсвязной асимметричной микрополосковой линии. Эта матрица включает в себя емкость каждой полоски по отношению к земле и взаимную емкость между полосками.

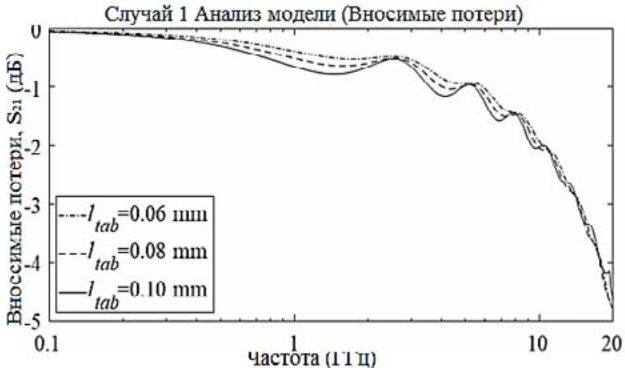
Объединяя матрицы L и C, полученные на предыдущих этапах, можно сформировать матрицу импеданса Z. Эта матрица импеданса учитывает как индуктивные, так и емкостные эффекты микрополосковой линии. Затем матрица импеданса Z используется в моделировании для определения характеристик распространения сигнала по микрополосковой линии, включая потери и задержки [6–8].

Таким образом, предложенный метод моделирования позволяет более точно учитывать влияние выступов на характеристики микрополосковой линии за счет введения дополнительных этапов и использования матриц индуктивности и емкости. Это приводит к более стабильным и надежным результатам моделирования.

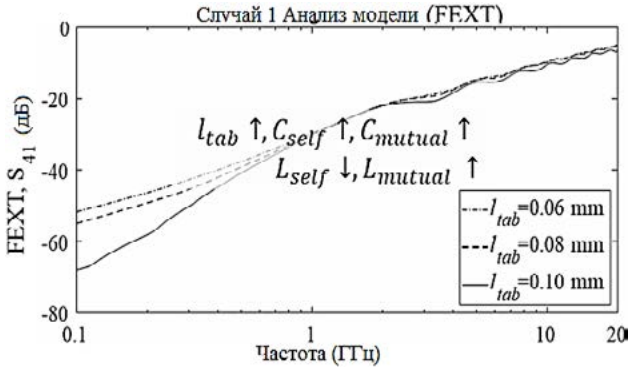
Анализ целостности сигнала при трассировке с трапециевидными отрезками проводился с изменением параметров конструкции при изменении параметра длины выступа l_{tab}, C_{fringe} и C_{parallel}. Результаты вносимых потерь, FEXT и импеданса ВО отображаются и сравниваются на рис. 9.

При изменении параметра l_{tab} параметры C_{fringe} и C_{parallel} изменяются одновременно.

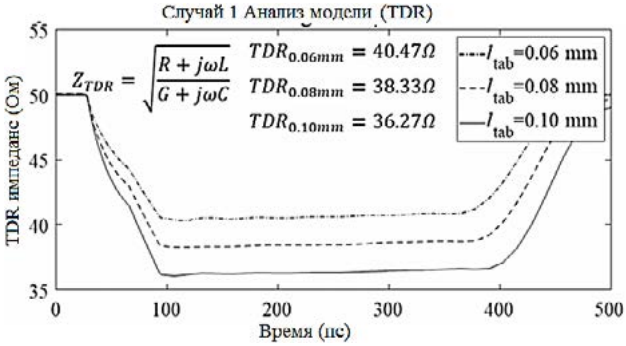
© Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В., 2025



а)



б)



в)

Рис. 9. Анализ вносимых потерь и FEXT в частотной области:
а) вносимые потери; б) FEXT;
в) результаты импеданса ВО для изменения l_{tab}
Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

Таким образом, с увеличением l_{tab} увеличиваются значения взаимной и собственной емкостей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа и моделирования можно сделать вывод о значительном влиянии структуры микрополосковых линий на перекрестные помехи и потерю сигналов в высокочастотных приложениях. Применение трассировки с трапециевидными отрезками направлено на снижение перекрестных помех FEXT. В этом процессе электрическая длина настраивается с помощью рефлектометра и анализа сигналов во временной области. В отличие от традиционных каналов, где ширина и расстояние стабильны, в трассировке с трапециевидными отрезками эти параметры изменяются от сегмента к сегменту, что, в свою очередь, сказывается на значениях емкости и индуктивности.

В представленной работе разработан метод моделирования эквивалентной схемы трассировки на основе сегментационного подхода. Эта модель позволила провести анализ трассировки с трапециевидными отрезками с учетом различных расчетных параметров, основанных на собственной и взаимной емкости и индуктивности.

Учитывая возросший интерес к высокопроизводительным вычислительным системам, возникает необходимость проектирования высокоскоростных каналов передачи сигналов в высокочастотном диапазоне с минимальными потерями, что играет ключевую роль в обеспечении надежной передачи данных.

Список источников

1. Li L., Wu Z., Yang K. et al. A novel miniature single-layer eighthmode siw filter with improved out-of-band rejection // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2018. Vol. 28, no. 5. P. 407–409. https://10.1109/lmwc.2018.2813883.
2. Packianathan R., Srinivasan R. Comparative study of crosstalk reduction techniques in RF printed circuit board using FDTD method // International Journal

References

1. Li L., Wu Z., Yang K. et al. A novel miniature single-layer eighthmode siw filter with improved out-of-band rejection. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. 2018;28(5):407–409. https://10.1109/lmwc.2018.2813883.
2. Packianathan R., Srinivasan R. Comparative study of crosstalk reduction techniques in RF printed circuit board using FDTD method. *International Journal*

© Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В., 2025

of Antennas and Propagation. 2015. 9 p. https://doi.org/10.1155/2015/294590.

3. Турецкий А. В. Хорошайлова М. В., Шамсуддин Н. Х. Обеспечение целостности сигнала в высокоскоростном вычислительном устройстве // Проблемы обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем : сб. науч. тр. Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2023. С. 199–205.
4. Хорошайлова М. В. Архитектура канального кодирования на основе ПЛИС для 5G беспроводной сети с использованием высокоуровневого синтеза // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2018. Т. 14, № 2. С. 99–105.
5. Al-Araji Z. H., Swaikat N. A., Muratov A. et al. Modeling and Experimental Research of Vibration n Properties of A Multi-Layer Printed Circuit Board // Proceedings of 4th Scientific International Conference Najaf (SICN), 2019. IEEE, 2019. P. 43–47.
6. Release 2022 R1 Highlights. Ansys Sherlock & Electronics Reliability. URL: https://www.econengineering.com/wp-content/uploads/2022/01/sherlockandelectronics_2022_ansys_econ_engineering.pdf (дата обращения: 05.04.2025).
7. Ling B., Wei K., Wang Z. et al. Experimentally Program Large Magnitude of Poisson's Ratio in Additively Manufactured Mechanical Metamaterials // International Journal of Mechanical Sciences. 2020. Vol. 173. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2020.105466.
8. Wang C., Gu X., Zhu J. et al. Concurrent Design of Hierarchical Structures with Three-Dimensional Parameterized Lattice Microstructures for Additive Manufacturing // Structural and Multidisciplinary Optimization. 2020. Vol. 61. P. 869–894.

of Antennas and Propagation. 2015. 9 p. https://doi.org/10.1155/2015/294590.

3. Turetskiy A. V., Khoroshailova M. V., Shamsuddin N. Kh. Obespechenie tselostnosti signala v vysokoskorostnom vychislitelnom ustroystve. In: *Collection of Scientific Articles "Problemy obespecheniya nadezhnosti i kachestva priborov, ustroystv i system"*. Voronezh: Voronezh State Technical University; 2023. p. 199–205. (In Russ.).
4. Horoshaylova M. V. Architecture of FPGA based channel coding for 5G wireless network using high-level synthesis. *Bulletin of Voronezh State Technical University*. 2018;14(2):99–105. (In Russ.).
5. Al-Araji Z. H., Swaikat N. A., Muratov A. et al. Modeling and Experimental Research of Vibration n Properties of A Multi-Layer Printed Circuit Board. In: *Proceedings of 4th Scientific International Conference Najaf (SICN)*, 2019. IEEE; 2019. p. 43–47.
6. Release 2022 R1 Highlights. Ansys Sherlock & Electronics Reliability. URL: https://www.econengineering.com/wp-content/uploads/2022/01/sherlockandelectronics_2022_ansys_econ_engineering.pdf (accessed: 05.04.2025).
7. Ling B., Wei K., Wang Z. et al. Experimentally Program Large Magnitude of Poisson's Ratio in Additively Manufactured Mechanical Metamaterials. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2020;173. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2020.105466.
8. Wang C., Gu X., Zhu J. et al. Concurrent Design of Hierarchical Structures with Three-Dimensional Parameterized Lattice Microstructures for Additive Manufacturing. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2020;61:869–894.

Информация об авторах

А. А. Пирогов – кандидат технических наук, доцент;
https://orcid.org/0000-0002-5105-0505,
Pirogov.alx@gmail.com
М. В. Хорошайлова – кандидат технических наук, доцент;
https://orcid.org/0000-0001-9167-9538,
pmv2205@mail.ru
Н. Г. Назаренко – старший преподаватель;
ua3qkc@mail.ru
Э. В. Сёмка – кандидат физико-математических наук, доцент;
https://orcid.org/0000-0002-0194-6979,
semka_elya@mail.ru✉

About the authors

A. A. Pirogov – Candidate of Sciences (Engineering), Docent;
https://orcid.org/0000-0002-5105-0505,
Pirogov.alx@gmail.com
M. V. Khoroshailova – Candidate of Sciences (Engineering), Docent;
https://orcid.org/0000-0001-9167-9538,
pmv2205@mail.ru
N. G. Nazarenko – Senior Lecturer;
ua3qkc@mail.ru
E. V. Syomka – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Docent;
https://orcid.org/0000-0002-0194-6979,
semka_elya@mail.ru✉

© Пирогов А. А., Хорошайлова М. В., Назаренко Н. Г., Сёмка Э. В., 2025

Научная статья
УДК 378.4:004
https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-7

CC BY 4.0

Некоторые аспекты цифровой трансформации университета

Муртазали Хулатаевич Рабаданов, Сабина Рамазановна Магомедова✉, Саид Ахмедханович Ниналалов
Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Аннотация. Важной составляющей развития университетов в настоящее время является их цифровая трансформация, затрагивающая все сферы деятельности вузов и приводящая к доступности образования, гибкости обучения, улучшению его качества.

Цифровая трансформация позволяет обучающимся адаптироваться к современным потребностям рынка труда, обеспечивая их необходимыми навыками и умениями. Кроме того, она повышает эффективность управления образовательным процессом и развивает взаимодействие между всеми участниками образования. В представленной работе приводятся подходы к построению цифрового университета, отображены результаты цифровизации на примере Дагестанского государственного университета. В работе авторы провели исследование термина «цифровой университет», выделили его характерные признаки, особенности. Приведены составляющие части электронной информационно-образовательной среды, ее основные компоненты, а также цифровые сервисы – собственные разработки университета.

Ключевые слова: цифровой университет, электронная информационно-образовательная среда, цифровая образовательная среда, цифровая трансформация образования

Для цитирования: Рабаданов М. Х., Магомедова С. Р., Ниналалов С. А. Некоторые аспекты цифровой трансформации университета // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 2. С. 58–65. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-7.

Original article

Some aspects of university digital transformation

Murtazali Kh. Rabadanov, Sabina R. Magomedova✉, Said A. Ninalalov
Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Abstract. An important component of the universities' development at present is their digital transformation, affecting all areas of their activity and leading to the availability of education, flexibility of training, and improvement of its quality.

Digital transformation allows adapting to the requirements of the labor market, providing students with the necessary skills and abilities. It also affects the efficiency of managing the educational process and administrative resources, improves interaction among participants. The purpose of this work is to study approaches to the digital transformation of universities, present the results of digitalization using the example of Dagestan State University. The authors study the term "digital university", identify its characteristic features. This article describes the university's electronic information and educational environment, covering its constituent parts, main components, and developed digital services.

Keywords: digital university, electronic information and educational environment, digital educational environment, digital transformation of education

For citation: Rabadanov M. Kh., Magomedova S. R., Ninalalov S. A. Some aspects of university digital transformation. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(2):58–65. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-7.

© Рабаданов М. Х., Магомедова С. Р., Ниналалов С. А., 2025

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая трансформация становится неотъемлемой частью образовательного процесса в высших учебных заведениях. В условиях стремительных изменений в технологиях, экономике и обществе необходимость адаптации образовательных учреждений к новым реалиям становится очевидной. Рассмотрим ключевые аспекты роли цифровой трансформации и основные направления ее реализации в вузах.

Цифровые технологии открывают новые возможности для повышения качества образовательного процесса. Интерактивные платформы, виртуальные классы и мультимедийные ресурсы позволяют сделать обучение более доступным и увлекательным для студентов.

Технологии позволяют создавать персонализированные образовательные маршруты для студентов, учитывающие их интересы и уровень подготовки. Это способствует более глубокому усвоению материала и повышению мотивации обучающихся.

Цифровизация процессов управления вузами помогает оптимизировать административные процедуры, снижая затраты времени и ресурсов. Системы управления обучением (LMS) и другие цифровые инструменты позволяют упростить взаимодействие между студентами и преподавателями.

Открытые образовательные ресурсы и Massive Open Online Courses (MOOCs) делают качественное образование доступным для широкой аудитории, независимо от места проживания и финансовых возможностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Первые шаги в автоматизации и цифровизации высших учебных заведений были предприняты еще в 1980–1990 гг. с появлением первых компьютерных классов и электронных библиотек. Именно в этот период появляются первые научные работы, посвященные данному направлению. Бурное развитие информационных технологий в последние десятилетия создало новые возможности для применения цифровых инструментов в сфере образования, создавая безграничные возможности инновации и совершенствования учебного процесса.

В последующие десятилетия цифровизация университетов продолжала развиваться. В университеты активно внедрялись инновационные образовательные технологии, включая создание онлайн-курсов, доступ к электронным журналам, происходило развитие систем дистанционного обучения, обеспечение широкого ассортимента цифровых ресурсов для студентов и преподавателей. Цифровизация деятельности вузов охватывает широкий круг лиц, начиная от обучающихся, выпускников, сотрудников, партнеров и заканчивая руководством вуза.

Современные студенты предпочитают использовать цифровые устройства и онлайн-сервисы в повседневной жизни, что требует соответствующего адаптирования образовательного процесса. Университеты стремятся оставаться конкурентоспособными на мировой арене, что подразумевает активное внедрение цифровых технологий для улучшения качества образования.

В базе цитирования РИНЦ начиная с 2000 г. содержится более 1170 статей, содержащих в аннотации, ключевых словах и названии словосочетание «цифровой университет», из них большая часть (881 статья) приходится на период начиная с 2020 г. Наблюдается рост числа исследований, посвященных вопросам цифровой трансформации сферы образования [1–4].

Для того чтобы понять, как эффективно строить, развивать цифровой университет, важно ознакомиться с предложенными подходами и определениями этого понятия. Следует также изучить предлагаемые модели и структуру его построения, которые представлены в табл. 1.

Из вышеуказанных источников можно обобщить понятие «цифровой университет» и сделать ряд ключевых выводов и тенденций, которые будут отражать трансформацию образовательных учреждений в цифровую эпоху.

© Рабаданов М. Х., Магомедова С. Р., Ниналалов С. А., 2025

Таблица 1

Основные понятия к определению «Цифровой университет»

Авторы	Понятие
Неборский Е. В.	Цифровой университет не заключается в образовательных продуктах, упакованных в цифру, или в наличии сетевой архитектуры. Средством цифровой трансформации вуза является цифровая экосистема, состоящая из следующих элементов: – цифровая среда, в том числе информационно-техническая инфраструктура; – участники взаимодействия, их вовлеченность и система связей между ними; – отраженные в цифре функции университета; – идеи и ценности, в том числе связанные с цифровыми технологиями; – цифровая эффективность, продуктивность и адекватность – применение цифровых решений, разработанных участниками для развития экосистемы
Доржиева С. В., Кидаева Э. Э. Б.	В цифровом университете: – в образовательный процесс постоянно внедряются современные технологии; – применяются онлайн-платформы; – разрабатываются учебные курсы и персонализированные образовательные траектории; – предлагаются новые форматы образовательного пространства
Кузина Г. П.	Классический университет трансформируется в цифровой, если в нем внедрены цифровые сервисы, в том числе: – цифровые библиотека и кампус; – электронные сервисы – студенческий билет, зачетная ведомость, деканат; – «Точка кипения»; – AR и VR, а также виртуальные симуляторы в образовательных дисциплинах; – онлайн-курсы; – «цифровой диплом» на базе блокчейна; – курсы по искусственному интеллекту и обработке больших данных; – искусственный интеллект для создания индивидуальной траектории обучения; – цифровизация профориентации и трудоустройства выпускников
Позднеев Б. М., Сутягин М. В. и соавт.	Цифровой университет включает технологическую архитектуру, информационные системы, автоматизацию управления бизнес-процессами, управление изменениями и стратегическое планирование
Конкин А. А.	Цифровой университет – разработка и внедрение сервисов, удобных для всех участников образовательного процесса, индивидуальные образовательные траектории для обучающихся, контроль процесса обучения и учебного поведения, помощь и отслеживание трудоустройства выпускников, виртуальные лаборатории. Цифровой университет – драйвер социокультурного и экономического развития региона, генератор инноваций, выполняющий третью миссию университета
Григорьев С. Г., Мишота И. Ю.	Концептуальная модель цифрового университета представлена пятью уровнями. 1. Участники цифрового университета – преподаватели, студенты, выпускники и партнеры, внутренние и внешние стейкхолдеры университета. 2. Информационные сервисы, создающие единое информационное пространство внутри университета – видеоэкраны, облачные хранилища и др. 3. Цифровые сервисы, улучшающие жизнь студентов и преподавателей. 4. Услуги цифрового маркетинга, управления исследованиями, закупками и взаимодействием со всеми участниками образовательного процесса. 5. Современные цифровые технологии

Примечание: составлено авторами по данным [5–10].

Современный цифровой университет – это уже не одна цифровая платформа и наличие онлайн-курсов. Это структура, которая включает в себя инфраструктуру университета, его участников и средства взаимодействия. Использование онлайн-платформ, иммерсивных технологий (виртуальная и дополненная реальность) и LMS-систем, персонализированных образовательных ресурсов является отражением современной модели цифрового университета.

Трансформация меняет подходы к обучению, создавая условия для мотивации студен-

© Рабаданов М. Х., Магомедова С. Р., Ниналалов С. А., 2025

тов и преподавателей. Цифровой университет предполагает развитие цифровых библиотек, кампусов, электронных расписаний и ведомостей.

Развитие навыков для работы в цифровой среде также является неотъемлемой частью цифровизации университета. Очень важна подготовка преподавателей к использованию цифровых инструментов. Создание комфортных условий для обучающихся и преподавателей является приоритетной задачей «цифрового университета».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Электронная информационно-образовательная среда (ЭИОС) вуза – важная часть цифрового университета. ЭИОС включает электронные информационные и образовательные ресурсы, совокупность информационных и телекоммуникационных технологий, технологических средств. ЭИОС обеспечивает освоение образовательных программ обучающимися в полном объеме независимо от места их нахождения» [11].

В Дагестанском государственном университете (ДГУ) успешно внедрена ЭИОС, ядром которой является автоматизированная информационная система (АИС) «Электронный Университет». АИС «Электронный университет» является собственной разработкой университета.

АИС «Электронный Университет» включает в себя такие подсистемы, как «электронный деканат», «электронный архив», «студенты», «формирование ведомостей», «воинский учет» и др. «Электронный деканат» представляет собой веб-систему, автоматизирующую управление и организацию учебно-образовательным процессом.

В ЭИОС вуза, помимо АИС «Электронный Университет», сформировались следующие компоненты: личные кабинеты преподавателя и студента, образовательный портал, сайт, электронные библиотечная система и образовательные ресурсы, информационно-коммуникационные сервисы и технологии (рис. 1) [12]. Каждый из компонентов обладает собственным функционалом и предназначен для выполнения определенных задач.

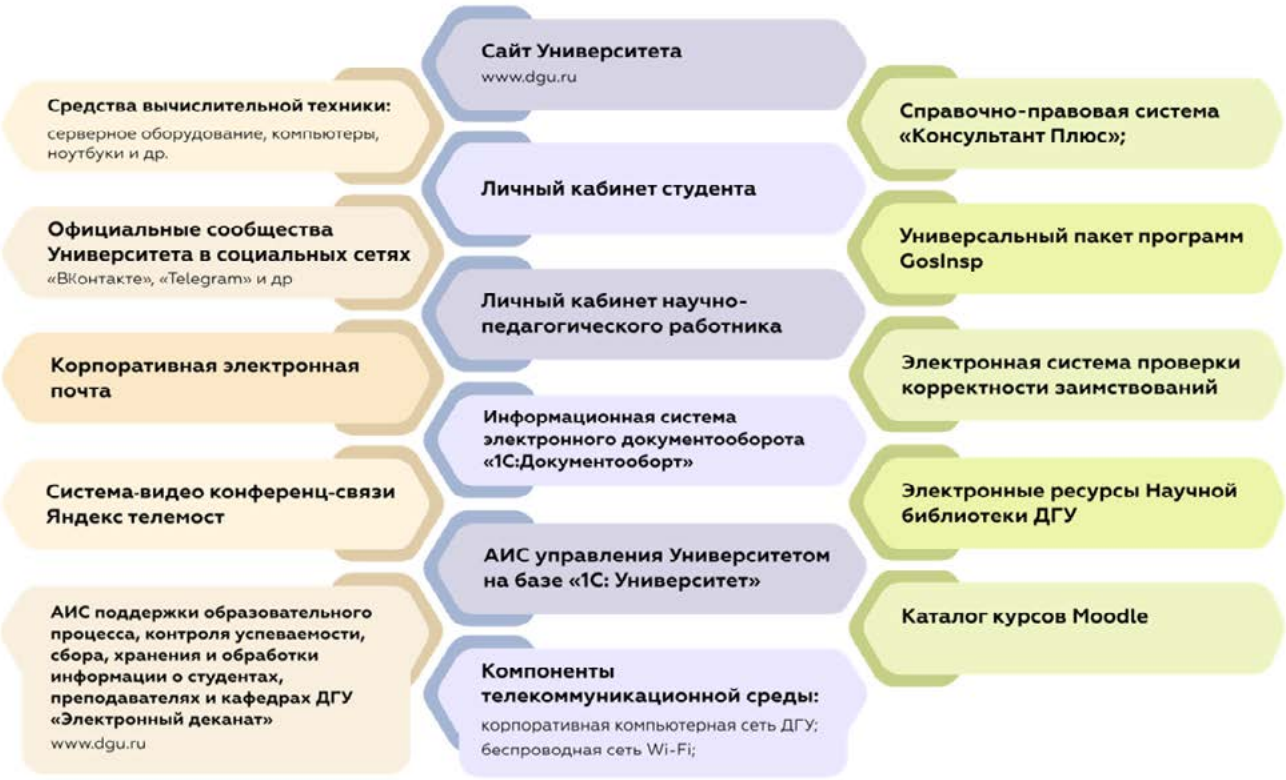


Рис. 1. Структура ЭИОС Дагестанского государственного университета
Примечание: составлено авторами.

© Рабаданов М. Х., Магомедова С. Р., Ниналалов С. А., 2025

Внедрение модели цифрового университета ставит своей задачей разработку и внедрение цифровых сервисов, охватывающих все бизнес-процессы вуза, удовлетворяющих потребности всех участников образовательного процесса. Сервисы ориентированы на формирование ключевых компетенций цифровой экономики, персонализацию обучения и преодоление цифрового разрыва.

Университет в 2022 г. перешел на платформенную систему 1 С-Битрикс «Управление сайтом», что позволило повысить быстродействие официального сайта, обеспечить его надежность и стабильность работы. По версии экспертов рейтинга сайтов университетов, ДГУ вошел в топ-40 высших учебных заведений, у которых наиболее удобный и понятный сайт, что является признанием наших усилий сделать виртуальное пространство университета удобным, информативным и современным [13].

В 2023 г. был разработан и запущен личный кабинет преподавателя, обеспечивающий персонифицированный доступ к информационным и образовательным ресурсам университета посредством средств информационно-коммуникационных технологий. Важным компонентом личного кабинета является система «Рейтинг преподавателя», предназначенная для оценки качества и эффективности работы преподавателей.

В личном кабинете преподавателя и обучающегося появилась возможность в режиме одного окна переходить ко всем информационным ресурсам университета, таким как цифровой сервис «Расписание», образовательный портал, электронные образовательные ресурсы, профессиональные базы данных и др.

Реализована возможность взаимодействия участников образовательного процесса, как асинхронного, так и синхронного, при помощи видео-конференц-связи и системы оповещения участников.

Выполнено размещение учебных планов, профессиональных образовательных и рабочих программ дисциплин, фондов оценочных средств и другой документации, установленной Приказом Рособрнадзора № 1493 от 04.08.2023 [14], разработана информационная система (ИС) «Электронные научно-методические ресурсы», включающая в себя личный кабинет методистов кафедр и личный кабинет сотрудников учебно-методического управления. На основе данных, вводимых через личный кабинет методистов, формируется интерфейс страницы «Реализуемые образовательные программы», которая является частью специального раздела «Сведения об образовательной организации».

Личный кабинет методиста предоставляет возможность интегрировать учебный план из системы GosInsp («Шахтинская программа») и сформировать электронную структуру учебного плана. Он превращает документы в электронную структуру, к которой можно привязать рабочие программы, фонды оценочных средств дисциплин. В личном кабинете учебно-методического управления можно осуществлять мониторинг состояния размещения документации кафедрами.

Система «Компьютерный экзамен» разработана и внедрена для проведения независимой оценки уровня знаний, умений и навыков, сформированности результатов обучения по освоенному модулю, разделу, дисциплине. В основе системы находится логически упорядоченный структурированный набор заданий, позволяющий провести текущий контроль успеваемости студентов, а также набор экзаменационных билетов по дисциплинам, подготовленный профильными кафедрами, курирующими обучение по соответствующим направлениям. Информационная система «Компьютерный экзамен» генерирует методом случайной выборки задание для текущего контроля и экзаменационный билет [15]. Таким образом, система «Компьютерный экзамен» обеспечивает объективную и обоснованную оценку усвоенных знаний и навыков студентов. В ИС разработаны программные модули для трех групп пользователей (ролей): студент, факультет и сотрудник управления качеством. Студент имеет воз-

© Рабаданов М. Х., Магомедова С. Р., Ниналалов С. А., 2025

можность войти по номеру зачетной книжки и пройти экзамен, для роли «факультет» предназначена функция проверки ответов студентов, для роли «УКО» – загрузка экзаменационных билетов и анализ проведения сессии. В системе реализована возможность анализа оценок из системы «деканат» и экзаменационной оценки.

Внедрена система электронного документооборота (СЭД) «1С: Документооборот». С ноября 2023 г. началось поэтапное внедрение СЭД. За полгода были автоматизированы следующие виды процессов:

– регистрация, согласование и рассылка заявлений и приказов по студентам, филиалам и головному вузу;

– регистрация и рассылка входящих документов, внутренних документов;

– выдача поручений и контроль их исполнения.

Следующим элементом ЭИОС являются электронные ресурсы научной библиотеки ДГУ, которые способствуют расширению знаний обучающихся, профессорско-преподавательского состава, облегчая доступ к информации и поддерживая научные исследования.

Важным компонентом ЭИОС является образовательный портал университета на основе LMS Moodle. Образовательный портал предназначен для организации онлайн-обучения, для доступа к электронным информационно-образовательным ресурсам университета.

Внедрение LMS Moodle в университете начиналось еще в 2012 г. В университете параллельно с внедрением на факультеты проводились курсы повышения квалификации преподавателей. Интенсивное применение электронного обучения и дистанционных технологий сопровождалось увеличением числа электронных образовательных курсов (табл. 2).

Таблица 2

Статистика пользователей и образовательных курсов, зарегистрированных на образовательном портале

Год	Количество образовательных курсов	Количество студентов в системе
2019	282	5 063
2020	305	7 860
2021	328	9 005
2022	263	11 000
2023	287	15 338

Примечание: составлено авторами.

В 2023 г. образовательный портал ДГУ прошел аттестацию ГИС «Современная цифровая образовательная среда» – в приоритетном проекте Министерства науки и высшего образования России [16].

Теперь университет может самостоятельно публиковать лучшие онлайн-курсы на платформе «Мое образование» в необходимом объеме и темпе для развития онлайн-обучения.

Основой успешной цифровой трансформации университета является в первую очередь оснащение вуза необходимым для образовательной и научной деятельности современным компьютерным, мультимедийным, проекционным и иным оборудованием. Такой подход формирует предпосылки для успешной цифровизации учебного процесса, создавая благоприятную среду для инновационного развития и повышения качества образования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровая трансформация вузов является многоаспектным процессом, который изменяет образовательную, научную сферы и управление университетом в целом. Внедрение цифровых сервисов, онлайн-обучения позволяет трансформировать традиционные подходы к обучению, создавать новые формы взаимодействия между участниками образовательного процесса.

В обозреваемый период ДГУ проделал значительную работу по цифровой

© Рабаданов М. Х., Магомедова С. Р., Ниналалов С. А., 2025

трансформации, что явилось важным шагом на пути к современному образовательному и научному процессу.

Все инновационные меры подчеркивают стремление университета адаптироваться к требованиям цифровой эпохи, улучшая условия для обучающихся и преподавателей, повышая качество и доступность предоставляемого образования. Университет демонстрирует готовность к дальнейшему развитию в направлении создания благоприятной цифровой среды для обучения и научных исследований.

Список источников

1. Белова Е. Н., Андрюшкина Е. Ю. Этапы цифровой трансформации Университета 4.0 в работах зарубежных учёных // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Психолого-педагогические науки». 2023. Т. 20, № 4. С. 25–36.
2. Новиков С. В. Проект цифровой трансформации университета // Экономика, экология и общество России в 21-м столетии. 2021. Т. 1, № 1. С. 344–356.
3. Скляров К. А., Воротынцева А. В., Воротынцев И. В. и др. Дайджест цифровых преобразований Воронежского опорного университета // Цифровая и отраслевая экономика. 2020. № 2. С. 10–18.
4. Янкелевич С. С., Середович С. В. Цифровая образовательная среда современного университета // Актуальные вопросы образования. 2021. № 1. С. 7–15.
5. Неборский Е. В. Цифровой университет как интегративный методологический конструкт // Мир науки. Педагогика и психология. 2021. Т. 9, № 3. С. 14.
6. Доржиева С. В., Кидаева Э. Э. Б. Цифровой университет: ВСГУТУ в условиях цифровизации общества // Инновационные технологии обучения в вузе в условиях цифровизации и реформирования высшего образования : материалы Всерос. науч.-метод. конф. с междунар. участием, 14–16 февраля 2024 г., г. Улан-Удэ. Улан-Удэ : Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2024. С. 125–130.
7. Кузина Г. П. Концепция цифровой трансформации классического университета в «цифровой университет» // E-Management. 2020. Т. 3, № 2. С. 89–96.
8. Позднеев Б. М., Сутягин М. В., Тихомирова В. Д. и др. Обоснование концептуальной модели и профиля стандартов для создания архитектуры цифрового технологического университета // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2019. № 3. С. 97–102.
9. Конкин А. А. Цифровизация образования: преодоление барьеров и рисков на пути к цифровому университету будущего // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. 2020. № 2. С. 136–140.
10. Grigoriev S. G., Mishota I. Yu. Digital University: An actual paradigm of the education informatization // Proceedings of the 1st International Scientific Conference “Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth” (MTDE 2019), 2019.

References

1. Belova E. N., Andryushkina E. Y. Stages of university digital transformation in studies of foreign researchers. *Vestnik of Samara State Technical University Psychological and Pedagogical Sciences*. 2023;20(4):25–36. (In Russ.).
2. Novikov S. V. Digital transformation project at the university. *Economy, ecology and society of Russia in 21st century*. 2021;1(1):344–356. (In Russ.).
3. Sklyarov K. A., Vorotyntseva A. V., Vorotyntsev I. V. et al. Digest of digital transformations of the Voronezh support university. *Tsifrovaya i otraslevaya ekonomika*. 2020;(2):10–18. (In Russ.).
4. Yankelevich S. S., Seredovich S. V. Digital educational environment of a modern university. *Aktualnye voprosy obrazovaniya*. 2021;(1):7–15. (In Russ.).
5. Neborsky E. V. Digital university as an integrative methodological construct. *World of Science. Pedagogy and psychology*. 2021;9(3):14. (In Russ.).
6. Dorzhieva S. V., Kidaeva E. E. B. Digital university: ESSUTM in a digitalized society. In: *Proceedings of All-Russian Scientific and Methodological International Conference “Innovatsionnye tekhnologii obucheniya v vuze v usloviyakh tsifrovizatsii i reformirovaniya vysshego obrazovaniya”*, February 14–16, 2024, Ulan-Ude. Ulan-Ude: East Siberia State University of Technology and Management; 2024. p. 125–130. (In Russ.).
7. Kuzina G. P. The concept of a digital transformation of a traditional university to a “digital university”. *E-Management*. 2020;3(2):89–96. (In Russ.).
8. Pozdneev B. M., Sutyagin M. V., Tikhomirova V. D. et al. Justification of the conceptual model and profile standards for creating the architecture of a digital technology university. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2019;(3):97–102. (In Russ.).
9. Konkin A. A. Digitalization of education: Overcoming barriers and risks on the way to the digital university of the future. *Review of Omsk State Pedagogical University. Humanitarian research*. 2020;(2):136–140. (In Russ.).
10. Grigoriev S. G., Mishota I. Yu. Digital University: An actual paradigm of the education informatization. In: *Proceedings of the 1st International Scientific Conference “Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth” (MTDE 2019)*, 2019. Atlantis Press; 2019. Vol. 81. p. 635–638. https://doi.org/10.2991/mtde-19.2019.128.
11. Polozhenie ob elektronnoy informatsionno-obrazovatelnoy srede Dagestanskogo gosudarstvennogo uni-

© Рабаданов М. Х., Магомедова С. Р., Ниналалов С. А., 2025

Atlantis Press, 2019. Vol. 81. P. 635–638. https://doi.org/10.2991/mtde-19.2019.128.
11. Положение об электронной информационно-образовательной среде в ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». URL: https://dstu.ru/fileadmin/documents/Polozhenie_ob_EHIOS.pdf (дата обращения: 02.11.2024).
12. Рабаданов М. Х., Ашурбеков Н. А. Информационные технологии в многопрофильном вузе: практический опыт Дагестанского государственного университета : моногр. М. : МАКС Пресс, 2022. С. 150–162.
13. Рейтинг сайтов университетов – 2024. URL: https://edurating.ru/#project (дата обращения: 03.11.2024).
14. Об утверждении Требований к структуре официального сайта образовательной организации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и формату представления информации. URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202311290017 (дата обращения: 03.11.2024).
15. Положение «Об организации и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации в форме компьютерного опроса обучающихся по программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры в Дагестанском государственном университете» от 30.12.2022 № 949-а. URL: https://ndoc.dgu.ru/PDFF/Polojenie_o_KE_2022.pdf (дата обращения: 02.11.2024).
16. О государственной информационной системе «Современная цифровая образовательная среда» : постановление Правительства РФ от 16.11.2020 № 1836. Доступ из СПС «Гарант».

versiteta. URL: https://dgu.ru/eios/Polojenie-ob-EIOS-2023(2).pdf (accessed: 02.11.2024). (In Russ.).
12. Rabadanov M. Kh., Ashurbekov N. A. Information technologies in a multidisciplinary university: practical experience of Dagestan State University. Monograph. Moscow: MAKS Press; 2022. p. 150–162. (In Russ.).
13. Reyting saitov universitetov – 2024. URL: https://edurating.ru/#project (accessed: 03.11.2024). (In Russ.).
14. On approval of the Requirements for the structure of the official website of an educational organization in the information and telecommunications network “Internet” and the format of information presentation. URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202311290017 (accessed: 03.11.2024). (In Russ.).
15. On the organization and procedure for conducting current monitoring of academic performance and midterm assessment in the form of a computer survey of students in higher education programs – bachelor’s programs, specialist programs, master’s programs at Dagestan State University. Regulation No. 949-a dated December 30, 2022. URL: https://ndoc.dgu.ru/PDFF/Polojenie_o_KE_2022.pdf (accessed: 02.11.2024). (In Russ.).
16. On the state information system “Modern digital educational environment”: Decree of the Government of the Russian Federation No. 1836 of November 16, 2020. Accessed through Law assistance system “Garant”. (In Russ.).

Информация об авторах

М. Х. Рабаданов – доктор физико-математических наук, профессор;
https://orcid.org/0000-0003-1857-7652,
rab_mur@mail.ru
С. Р. Магомедова – кандидат экономических наук, доцент;
https://orcid.org /0000-0002-0684-623X,
msabina_1990@mail.ru✉
С. А. Ниналалов – кандидат физико-математических наук;
https://orcid.org/0000-0002-8303-5019,
said2706@gmail.com

About the authors

M. Kh. Rabadanov – Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor;
https://orcid.org/0000-0003-1857-7652,
rab_mur@mail.ru
S. R. Magomedova – Candidate of Sciences (Economics), Docent;
https://orcid.org /0000-0002-0684-623X,
msabina_1990@mail.ru✉
S. A. Ninalalov – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics);
https://orcid.org/0000-0002-8303-5019,
said2706@gmail.com

© Рабаданов М. Х., Магомедова С. Р., Ниналалов С. А., 2025

Научная статья
УДК 621.865.8:004.85
https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-8

CC BY 4.0

Метод захвата движущегося объекта манипулятором на основе обучения с подкреплением

Инь Цао
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация. В статье предлагается метод управления манипулятором с использованием обучения с подкреплением в глубоких нейронных сетях для захвата движущихся объектов на конвейерной ленте. В отличие от задач с захватом статичных объектов, данная проблема требует учета динамических факторов, что существенно усложняет процесс управления. Подробно рассматривается физико-кинематическое моделирование манипулятора, а также интеграция параметров манипулятора и движущихся объектов в структуру нейронной сети. Метод протестирован в среде физического моделирования PyBullet.

Ключевые слова: робот-манипулятор, машинное обучение, обучение с подкреплением, компьютерное зрение, компьютерное моделирование

Для цитирования: Цао И. Метод захвата движущегося объекта манипулятором на основе обучения с подкреплением // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 2. С. 66–73. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-8.

Original article

Reinforcement learning-based method for grasping moving object with robotic manipulator

Y. Cao
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. The paper proposes a method for controlling a robotic manipulator using reinforcement learning with deep neural networks to grasp moving objects on a conveyor belt. Unlike tasks involving static objects, this problem requires the consideration of dynamic factors, which significantly complicates the control process. The paper provides a detailed description of the physical and kinematic modeling of the manipulator, as well as the integration of manipulator and object parameters into the neural network structure. The method is tested in the PyBullet physics simulation environment.

Keywords: robot manipulator, machine learning, reinforcement learning, computer vision, computer simulation

For citation: Cao Y. Reinforcement learning-based method for grasping moving object with robotic manipulator. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(2):66–73. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-8.

© Цао И., 2025

ВВЕДЕНИЕ

С развитием искусственного интеллекта за последние годы эксперты и исследователи активно применяют нейронные сети для решения различных задач в робототехнике и автоматизированном производстве [1]. Одной из актуальных и сложных проблем является захват движущихся объектов, так как он требует от манипулятора способности захватывать объекты с высокой вероятностью успеха, а также выполнять захват за время, соответствующее требованиям производственного процесса. Решение этой задачи имеет огромное значение для оптимизации современных производственных процессов и повышения их эффективности.

Pane и соавт. [2] провели эксперименты на манипуляторе UR5 и показали, что использование алгоритмов обучения с подкреплением (Reinforcement learning, RL) позволяет значительно повысить точность управления, при использовании PD-регулятора погрешность позиционирования конечного эффектора составляла около 2 мм, тогда как при применении RL-методов – около 1 мм.

Sekkat и соавт. [3] продемонстрировали, как алгоритмы глубокого обучения на основе DDPG (Deep Deterministic Policy Gradient) могут повысить эффективность манипулятора при использовании решений на основе YOLO для точного позиционирования объектов. В проведенных экспериментах при захвате статических целей была достигнута вероятность успешного захвата на уровне 95,5 %.

N. Marturi и соавт. [4] предложили метод, использующий решатель обратной кинематики (IK) и анализ ошибки в рабочем пространстве (task space error, разница между текущим положением захвата и целевым положением) для выбора оптимальной траектории захвата движущихся объектов в режиме реального времени. Однако этот подход опирается на несколько камер с фиксированным положением.

Захват объекта – это процесс приближения манипулятора к целевому объекту и его фиксации с помощью захватного устройства. В статье предлагается метод, реализованный с использованием открытых библиотек Stable Baselines3 и PyBullet, основная цель исследования – применение метода обучения с подкреплением для решения задачи захвата движущегося объекта на конвейерной ленте.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе рассматривается управление манипулятором «Franka Emika Panda» [5], обладающим семью степенями свободы. Как показано на рис. 1, каждое из семи сочленений манипулятора с Joint 0…Joint 6 имеет определенный диапазон вращения, обеспечивая высокую гибкость при выполнении задач. Захват манипулятора обладает максимальной шириной раскрытия 8 см, что позволяет работать с объектами различной формы

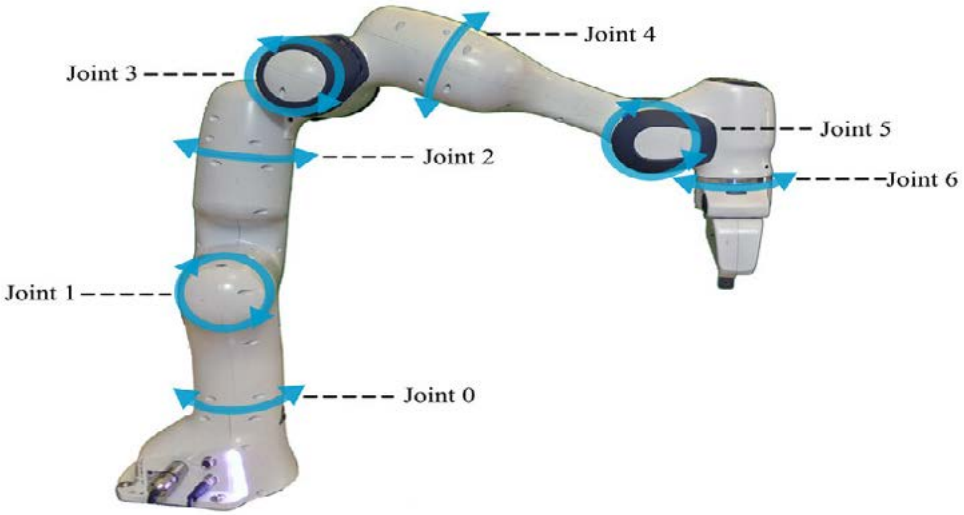


Рис. 1. Манипулятор Franka Emika Panda
Примечание: изображение получено автором по [5].

© Цао И., 2025

и размеров. Максимальное усилие захвата составляет 70 ньютонов, а предельная скорость движения пальцев захвата – до 0,1 м/с.

Постановка задачи. На конвейерной ленте равномерно движется объект цилиндрической формы (диаметр $d = 0{,}04$ м, высота $h = 0{,}17$ м). Требуется использовать манипулятор для захвата объекта в пределах заданной области P (0,7 м × 0,3 м) за время $T = 14$ с, при этом манипулятор не должен соприкасаться с конвейерной лентой, а захват должен контактировать с объектом только в процессе захвата.

Математическая формализация задачи: объект движется равномерно вдоль оси X с постоянной скоростью v_0, что описывается уравнением (1):

$$x_0(t) = x_0 + v_0 \cdot t, \tag{1}$$

где:

x_0 – начальное положение объекта, t – текущее время, а v_0 – постоянная скорость (например, $v_0 = 0{,}05$ м/с);

$t \in [0, T]$ – время (в секундах), в течение которого должен быть выполнен захват;

$T = 14$ с – ограничение по времени выполнения задачи.

Состояние среды и действия агента зависят от времени (2):

$$S_t = f(t), A_t = \pi(S_t), \tag{2}$$

где S_t – 13-мерное наблюдение среды, A_t – 7-мерное управляющее действие. Подробная структура этих векторов будет описана ниже в разделе, посвященном созданию среды обучения.

Таким образом, задача захвата имеет ярко выраженный динамический характер, поскольку координаты объекта x_0 (t), а также состояние среды S_t и действия агента A_t явно зависят от времени, такая зависимость делает задачу динамической, требующей обучения моделей, способных учитывать изменения во времени.

Моделирование манипулятора. PyBullet – это открытая библиотека физического моделирования, которая включает в себя встроенные модели различных современных роботов, манипуляторов и других устройств.

В PyBullet производится моделирование среды и объекта, где зеленый цвет – объект, серый цвет – область захвата, голубой цвет – направление движения, красная, зеленая и синяя линии обозначают оси X, Y и Z (рис. 2).

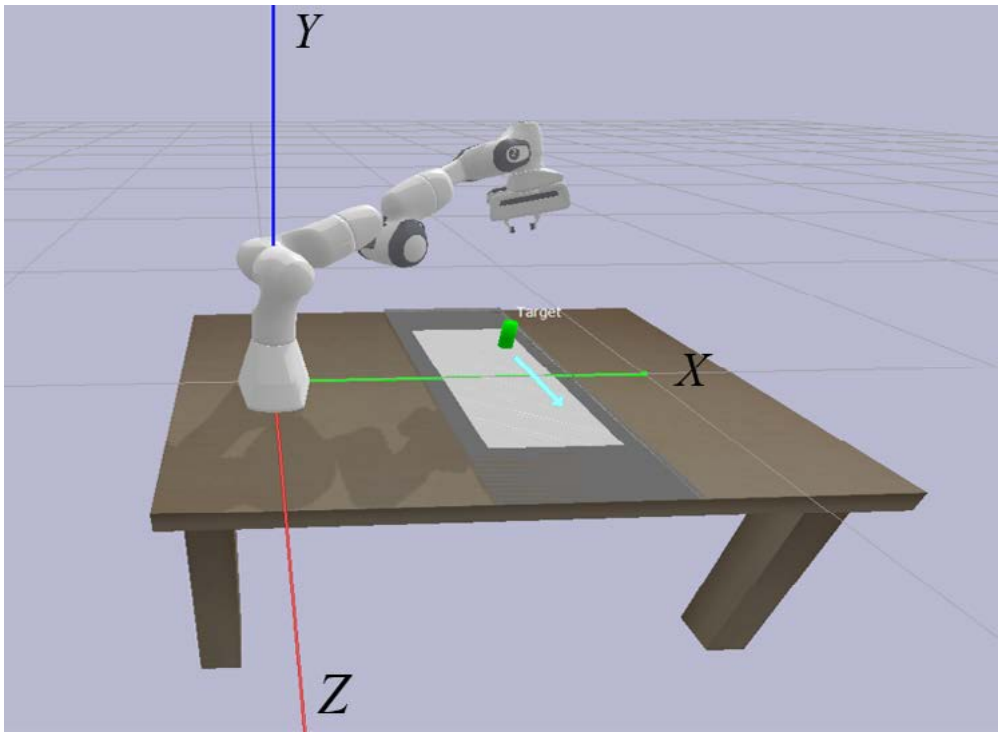


Рис. 2. Симуляционная среда задачи в PyBullet
Примечание: составлено автором.

© Цао И., 2025

Преобразование системы координат камеры в мировую систему координат. Передний план и фон на конвейерной ленте используются в качестве маски, и с помощью сегментирующей нейронной сети можно получить пиксельные координаты объекта (u, v) и соответствующее значение глубины d_{img} из RGBD-камеры. Внутренние параметры камеры представлены матрицей K (3):

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & C_x \\ 0 & f_y & C_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где:

f_x, f_y – фокусное расстояние камеры (в пикселях), вычисляемое по известному углу поля зрения ($f$ov);

c_x, c_y – положение оптического центра камеры (центр изображения).

Формула для преобразования пиксельных координат (u, v) в координаты камеры p_{cam} = (x_cam, y_cam, z_cam) выглядит следующим образом (4):

$$x_{cam} = \frac{(u - C_x)\cdot d}{f_x}, y_{cam} = \frac{(v - C_y)\cdot d}{f_y}, z_{cam} = d, \quad (4)$$

где d – истинная глубина, полученная через камеру. Нормализованное значение глубины d_img денормализуется как (5):

$$d = \frac{z_{near}\cdot z_{far}}{z_{far} - (z_{far} - z_{near})\cdot d_{_img}}, \quad (5)$$

где:

z_near (ближняя плоскость): минимальная глубина, которую может видеть камера; в симуляции установлено значение 0.1 метра;

z_far (дальняя плоскость): максимальная глубина, которую может видеть камера; в симуляции установлено значение 10 метров;

d_img – это нормализованное значение глубины, полученное RGBD-камерой после захвата изображения. Диапазон значений d_img – от 0 до 1 и истинная глубина $d \geq 0$.

Далее строится матрица внешних параметров E (6):

$$E = \begin{bmatrix} R & -R\cdot \mathrm{cam_pos} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где:

cam_pos = координаты камеры, представлены в виде матрицы размером 3×1;

R – матрица поворота, вычисленная для описания вращения координатной системы камеры относительно мировой системы координат. В PyBullet R выражается как (7):

$$R = \begin{bmatrix} Forward_x & Right_x & UP_x \\ Forward_y & Right_y & UP_y \\ Forward_z & Right_z & UP_z \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Матрица поворота R формируется из нормализованных векторов направления *Forward*, *Right* и *Up*, представленных как столбцы.

Здесь: *focus_pos* – координаты фокуса камеры;

вектор $\boldsymbol{Forward} = \dfrac{focus_pos - cam_pos}{focus_pos - cam_pos}$ – направление камеры на фокусе;

вектор $\boldsymbol{Right} = \dfrac{foward \times cam_pos}{focus_pos \times cam_pos}$ – правое направление камеры;

вектор $\boldsymbol{Up} = \boldsymbol{Right} \times \boldsymbol{Forward}$ – верхнее направление камеры.

Наконец, координаты камеры преобразуются в мировую систему координат. Точка в координатной системе камеры P_{world} = (x_w, y_w, z_w, 1) может быть преобразована в точку мировой системы координат с помощью матрицы внешних параметров E (8):

$$P_{world} = \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = E\cdot \begin{bmatrix} x_{cam} \\ y_{cam} \\ z_{cam} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & -R\cdot \mathrm{cam_pos} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{cam} \\ y_{cam} \\ z_{cam} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

За более подробным изложением данного процесса можно обратиться к источнику [6].

Вышеупомянутый процесс обработки от получения изображения до вычисления координат занимает около 50 мс на стандартном настольном компьютере (CPU Intel i7–11800H @ 2,3 ГГц). Таким образом, с помощью приведенных выше вычислений мы можем преобразовать координаты камеры движущегося объекта в координаты мировой системы координат.

Создание среды обучения с подкреплением. Обучение с подкреплением (Reinforcement learning, RL) – метод машинного обучения, при котором агент обучается

© Цао И., 2025

через взаимодействие с окружающей средой, получая вознаграждение за успешные действия. Обучение с подкреплением на основе окружающей среды с целью максимизации получаемого вознаграждения в процессе обучения, основные компоненты среды обучения с подкреплением включают:

1. **Агент** (Робот): манипулятор, взаимодействующий со средой, реализована в PyBullet.

2. **Среда**: симуляционная установка в PyBullet, показанная на рис. 2.

3. **Состояние**: определяется пространством наблюдений. Входные данные нейронной сети S_t определяются следующим:

$$S_t = \left[\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, gripper_{xyz}, P_{world}\right]$$

4. **Действие**: определяется пространством действий. Выходные данные нейронной сети A_t:

$$\mathrm{A}_t = \left[\Delta\theta_0, \Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4, \Delta\theta_5, \Delta\theta_6\right],$$

где $\Delta\theta_i$ – увеличение угла поворота соответствующего сочленения манипулятора относительно предыдущего действия.

Пространство наблюдений – это множество всех возможных состояний среды, в нашем случае оно реализуется в виде 13-мерного вектора признаков, включающего параметры манипулятора и объекта. Аналогично пространство действий – это множество всех допустимых действий, представленных 7-мерным вектором, соответствующим приращениям углов сочленений манипулятора.

5. **Вознаграждение**: функция R обратной связи для оценки действия A.

Захват считается успешным, если манипулятор фиксирует объект с точностью не более 2 см, при этом на всем протяжении движения отсутствуют столкновения сочленений с объектом. Учитывая максимальную скорость закрытия захвата (0,1 м/с), такие условия обеспечивают оптимальный момент захвата.

Обучение с подкреплением включает следующие этапы:

Шаг 1. Инициализация параметров: манипулятор устанавливается в начальное положение, а объект появляется в случайной позиции в пределах рабочей области.

Шаг 2. Наблюдение и действие: на основе текущего состояния сети подается на вход наблюдение S_t, сеть принимает решение об изменении углов сочленений A_t.

Шаг 3. Обновление состояния: новое состояние получается в результате выполнения действия манипулятором и движения объекта по конвейеру.

Шаг 4. Вознаграждение: сеть получает вознаграждение R_t за успешное выполнение задачи захвата или штраф за отклонение от объекта (9),

$$R_t = \left\{ \begin{array}{c} Reward_{collision} = [\text{if } True = -100 \text{ else } 0] \\ Reward_{jud_{success}} = [\text{if } True = 1000 \text{ else } 0] \\ Reward_{distance} = \left\| \left(target_{postion_{xyz}} - gripper_{postion_{xyz}} \right) \right\| \times 1000 \\ Reward_{time_{left}} - [\text{if } True \ -0.5 * time_{left} \text{ else } -0] \end{array} \right\}, \quad (9)$$

где:

$Reward_{collision}$ – штраф за столкновения, направленный на то, чтобы манипулятор избегал ударов;

$Reward_{jud_{success}}$ – дополнительное вознаграждение за выполнение задания;

$Reward_{distance}$ – вознаграждение, поощряющее сближение захвата с целью;

$Reward_{time_{left}}$ – вознаграждение, основанное на оставшемся времени после выполнения задачи, стимулирующее более быстрое выполнение.

Шаг 5. Корректировка параметров: обновление параметров нейронной сети.

Шаг 6. Повторить Шаг 1–5.

Процесс показан на рис. 3.

В этой реализации были протестированы различные алгоритмы обучения с подкреплением, представленные в библиотеке Stable Baselines3, включая DDPG [10], TD3 (Twin Delayed Deep Deterministic Policy Gradient) [11], SAC (Soft Actor-Critic) [12] и PPO (Proximal Policy Optimization) [13].

© Цао И., 2025

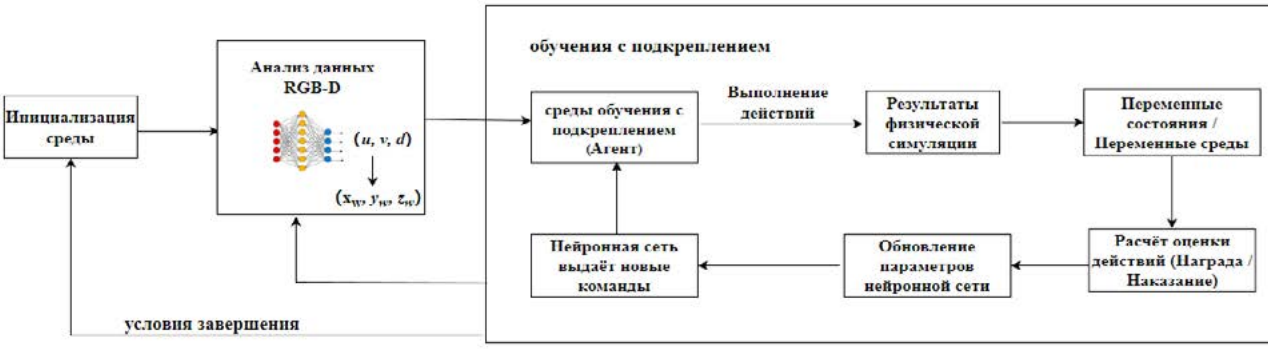


Рис. 3. Схема работы системы управления манипулятора
Примечание: составлено автором.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе экспериментов были протестированы 800 эпизодов на стандартном настольном компьютере с процессором Intel Core i7–11800H. Каждый эпизод содержал 30 000 временных шагов, общий шаг обучения составляет 24 миллиона раз. Для оценки предложенного метода управления манипулятором на основе нейронных сетей мы провели тестирование с использованием четырех современных и популярных алгоритмов обучения с подкреплением: DDPG, TD3, SAC и PPO. Результаты процесса обучения задачи были записаны в TensorBoard (рис. 4):

На рис. 4 представлено изменение уровня успешности в зависимости от числа шагов обучения (ось абсцисс, млн). По оси ординат отложен средний уровень успешности, полученный в результате оценки текущей стратегии в течение 10 эпизодов. Эти данные записываются как eval/success_rate и отображаются в TensorBoard. Можно сделать следующие выводы: алгоритм PPO демонстрирует высокий уровень успешности выполнения задачи. По мере увеличения количества шагов обучения увеличивается и диапазон, в котором достигается 100 % успешности. Алгоритмы SAC и TD3 показывают средние результаты – в пределах 40–60 %, а DDPG демонстрирует наименьший уровень успешности – менее 10 %.

Рис. 5 иллюстрирует производительность различных алгоритмов в условиях случайного тестирования. Можно увидеть, что при случайном тестировании PPO завершает захват еще до прохождения половины серой области, тогда как SAC и TD3, по сравнению с PPO, требуют преодоления дополнительного расстояния, а DDPG выходит за пределы серой области.

Обобщение результатов различных алгоритмов приведено в таблице. Чем выше среднее вознаграждение, тем быстрее выполняется задача захвата и тем лучше общая производительность.

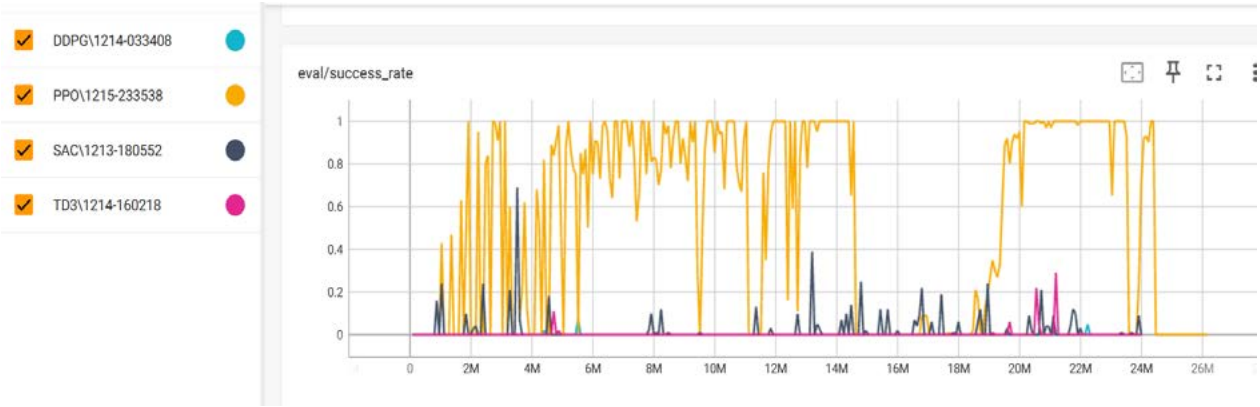


Рис. 4. Процент успеха за итерации
Примечание: составлено автором.

© Цао И., 2025

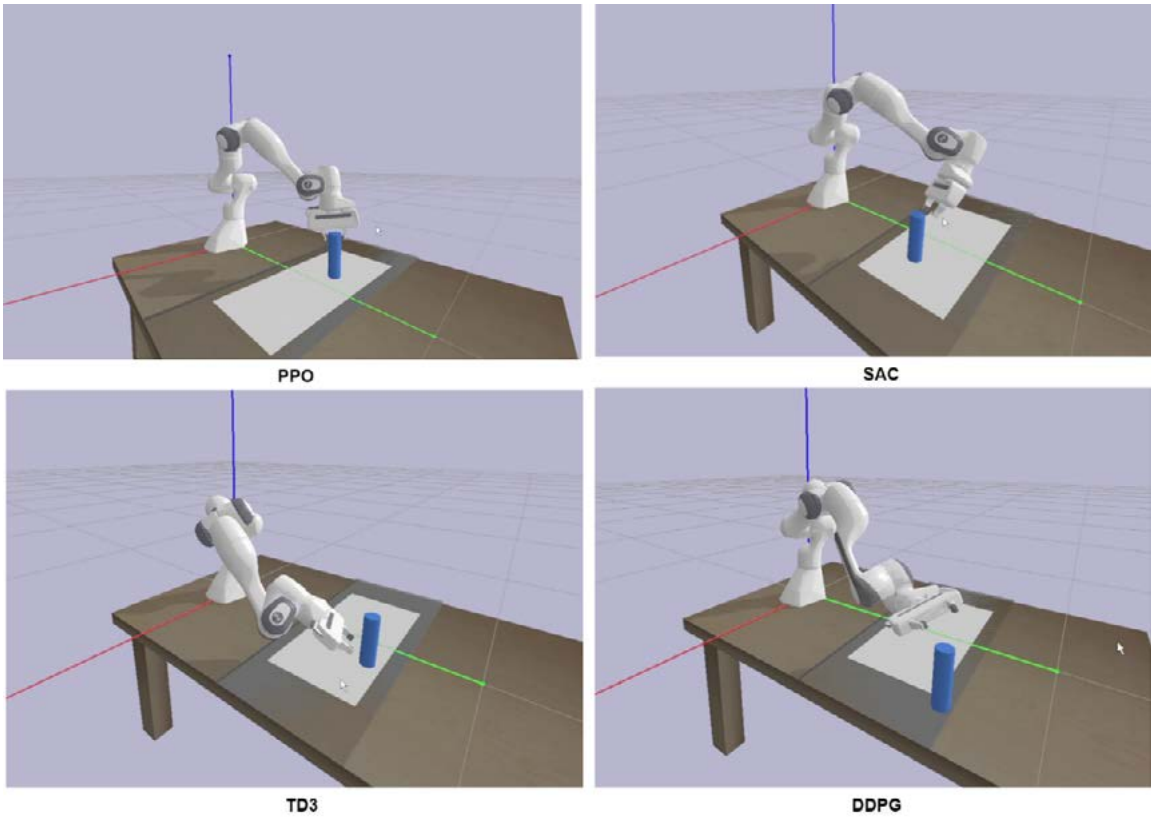


Рис. 5. Результаты различных алгоритмов при случайном тестировании
Примечание: составлено автором.

Таблица

Сравнение производительности различных алгоритмов

Предобученные алгоритмы	Скорость рассуждения сети (мс)	Количество временных шагов	Процент успеха на 1000 раз тестов (%)	Среднее награждение *Rt*	Время обучения (чч.мм)
DDPG	< 2	213,8	3,1	660,5	9 ч 15 м
TD3	< 2	164,1	36,3	1188,6	8 ч 51 м
SAC	< 2	269,1	68,1	1397,2	9 ч 21 м
PPO	< 2	120,5	100	2239,9	3 ч 39 м

Примечание: составлено авторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлено применение нейронных сетей для обучения с подкреплением для решения задачи захвата манипулятором объектов, равномерно движущихся по поверхности, аналогичной конвейерной ленте. Проверка метода проводилась на виртуальной платформе физического моделирования, что подтвердило его применимость и эффективность. В качестве предобученных нейронных сетей были использованы популярные модели PPO, DDPG, SAC и TD3, а также детально описаны этапы решения данной задачи с использованием открытых нейросетевых моделей. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований.

В целом обучение с подкреплением позволяет успешно захватывать объекты, движущиеся с низкой скоростью – около 3–5 м в минуту. Дальнейшие направления исследований могут включать изучение использования мобильных роботов для захвата объектов, движущихся с более высокой скоростью.

© Цао И., 2025

Список источников

1. Shuzhi S. G., Hang C. C., Woon L. C. Adaptive neural network control of robot manipulators in task space // IEEE transactions on industrial electronics. 1997. No. 6. P. 746–752.
2. Pane Y. P., Nageshrao S. P., Kober J. et al. Reinforcement learning based compensation methods for robot manipulators // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2019. Vol. 78. P. 236–247.
3. Sekkat H., Tigani S., Saadane R. et al. Vision-based robotic arm control algorithm using deep reinforcement learning for autonomous objects grasping // Applied Sciences. 2021. No. 11. P. 7917.
4. Marturi N., Kopicki M., Rastegarpanah A. et al. Dynamic grasp and trajectory planning for moving objects // Autonomous Robots. 2019. No. 43. P. 1241–1256.
5. Reed A., Albin D., Pasricha A. et al. Transformer-based Learning Models of Dynamical Systems for Robotic State Prediction. 2024. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3919154/v1.
6. Цао И. Метод визуально управляемого захвата 7-степенного манипулятора на основе обучения с подкреплением // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 1. С. 31–38.
7. Lillicrap T. P., Hunt J. J., Pritzel A. et al. Continuous control with deep reinforcement learning // arXiv preprint arXiv:1509.02971. 2015.
8. Fujimoto S., Hoof H., Meger D. Addressing function approximation error in actor-critic methods // Proceedings of the 35th International conference on machine learning, 2018, Stockholm. PMLR, 2018. P. 1587–1596.
9. Haarnoja T., Zhou A., Abbeel P. et al. Soft actor-critic: Off-policy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor // Proceedings of the 35th International conference on machine learning, 2018, Stockholm. PMLR, 2018. P. 1861–1870.
10. Schulman J., Wolski F., Dhariwal P. et al. Proximal policy optimization algorithms // arXiv preprint arXiv:1707.06347. 2017.

References

1. Shuzhi S. G., Hang C. C., Woon L. C. Adaptive neural network control of robot manipulators in task space. *IEEE transactions on industrial electronics*. 1997;(6):746–752.
2. Pane Y. P., Nageshrao S. P., Kober J. et al. Reinforcement learning based compensation methods for robot manipulators. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2019;78:236–247.
3. Sekkat H., Tigani S., Saadane R. et al. Vision-based robotic arm control algorithm using deep reinforcement learning for autonomous objects grasping. *Applied Sciences*. 2021;(11):7917.
4. Marturi N., Kopicki M., Rastegarpanah A. et al. Dynamic grasp and trajectory planning for moving objects. *Autonomous Robots*. 2019;(43):1241–1256.
5. Reed A., Albin D., Pasricha A. et al. Transformer-based Learning Models of Dynamical Systems for Robotic State Prediction. 2024. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3919154/v1.
6. Cao Y. Vision-based grasping method for 7-DOF manipulator using reinforcement learning. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(1):31–38. (In Russ.).
7. Lillicrap T. P., Hunt J. J., Pritzel A. et al. Continuous control with deep reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:1509.02971*. 2015.
8. Fujimoto S., Hoof H., Meger D. Addressing function approximation error in actor-critic methods. In: *Proceedings of the 35th International conference on machine learning,* 2018, Stockholm. PMLR; 2018. p. 1587–1596.
9. Haarnoja T., Zhou A., Abbeel P. et al. Soft actor-critic: Off-policy maxi-mum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor. In: *Proceedings of the 35th International conference on machine learning,* 2018, Stockholm. PMLR; 2018. p. 1861–1870.
10. Schulman J., Wolski F., Dhariwal P. et al. Proximal policy optimization algorithms. *arXiv preprint arXiv:1707.06347*. 2017.

Информация об авторе

И. Цао – аспирант;
https://orcid.org/0009-0008-7577-2327,
caoyin1995@gmail.com

About the author

Y. Cao – Postgraduate;
https://orcid.org/0009-0008-7577-2327,
caoyin1995@gmail.com

© Цао И., 2025

Научная статья
УДК 004.65.056.5
https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-9

CC BY 4.0

Анализ существующих источников знаний в виде баз данных уязвимостей автоматизированных систем

Владимир Олегович Шабля, Сергей Александрович Коноваленко, Никита Андреевич Галямин✉, Егор Олегович Орлов
Краснодарское высшее военное училище, Краснодар, Россия

Аннотация. В статье представлен анализ существующих источников знаний в виде баз данных уязвимостей автоматизированных систем как отечественного, так и иностранного производства. Рассмотрены различные базы данных уязвимостей, такие как Федеральная служба по техническому и экспортному контролю России, CVE, NVD, VulDB, JVN и CNNVD, и произведено сравнение по ключевым параметрам. Также в статье представлен анализ машинных переводчиков текста, таких как Yandex Translate, Google Translate, SDL Trados Studio, OmegaT, DeepL Translate, ABBYY Lingvo, для выбора решения, способного осуществлять точный перевод информации об уязвимостях из баз данных уязвимостей специализированных средств иностранного производства с учетом терминологического аппарата области знаний «информационная безопасность». Представлено программное решение создания объединенной базы данных уязвимостей и актуализации информации в ней путем консолидации информации об уязвимостях автоматизированных систем из существующих баз данных уязвимостей для дальнейшей обработки содержащихся в ней данных.

Ключевые слова: база данных уязвимостей, информационная безопасность, автоматизированная система

Для цитирования: Шабля В. О., Коноваленко С. А., Галямин Н. А., Орлов Е. О. Анализ существующих источников знаний в виде баз данных уязвимостей автоматизированных систем // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 2. С. 74–82. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-9.

Original article

Analysis of existing knowledge sources in form of vulnerability databases for automated systems

Vladimir O. Shablya, Sergey A. Konovalenko, Nikita A. Galyamin✉, Egor O. Orlov
Krasnodar Higher Military School, Krasnodar, Russia

Abstract. The article presents an analysis of existing knowledge sources in the form of vulnerability databases for automated systems of both Russian and foreign production. Various vulnerability databases, such as the FSTEC of Russia, CVE, NVD, VulDB, JVN and CNNVD, are reviewed and compared by key parameters. The article also presents an analysis of machine text translators such as Yandex Translate, Google Translate, SDL Trados Studio, OmegaT, DeepL Translate, ABBYY Lingvo to select a solution capable of accurate translation of vulnerability information from vulnerability databases of specialized foreign-made tools, taking into account the terminology of the field of knowledge “information security”. We present a method for creating and updating a single vulnerability database by consolidating information security vulnerability information from existing databases for further data processing.

Keywords: vulnerability database, information security, automated system

© Шабля В. О., Коноваленко С. А., Галямин Н. А., Орлов Е. О., 2025

***For citation*:** Shablya V. O., Konovalenko S. A., Galyamin N. A., Orlov E. O. Analysis of existing knowledge sources in form of vulnerability databases for automated systems. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(2):74–82. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-9.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на совершенствование различных аспектов в области информационной безопасности, с течением времени уровень и количество компьютерных атак и угроз на автоматизированные системы остается на достаточно высоком уровне. Стоит отметить, что на сегодняшний день существует огромное количество подходов к противодействию вышеобозначенным негативным факторам. Согласно «ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1–2012» безопасность связана с защитой активов, которые, в свою очередь, представляют ценность для их владельцев [1]. Среда, в которой размещаются эти активы, называется средой функционирования, под которой будем понимать автоматизированные системы. В данной статье будем придерживаться этой точки зрения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом анализа являются источники знаний в виде баз данных уязвимостей автоматизированных систем. Под уязвимостью стоит понимать недостаток, изъян или слабость в архитектуре, реализации или эксплуатационных процедурах автоматизированных систем, который при определенных условиях может быть использован нарушителями информационной безопасности для осуществления негативного воздействия на конфиденциальность, целостность и (или) доступность информации [2]. В статье отражены результаты анализа следующих классов уязвимостей: многофакторных уязвимостей, уязвимостей кода, а также уязвимостей архитектуры автоматизированных систем. Базы данных уязвимостей представляют собой открытые реестры информации об уязвимостях в программном обеспечении и аппаратных платформах автоматизированных систем. Анализ проводится путем сравнения баз данных уязвимостей автоматизированных систем между собой по различным характеристикам. Для этого был произведен сбор данных из выбранных баз данных уязвимостей автоматизированных систем, осуществлена классификация собранных данных по характеристикам, выполнен сравнительный анализ баз данных уязвимостей автоматизированных систем по выделенным характеристикам и дана оценка преимуществ и недостатков каждой базы данных уязвимостей автоматизированных систем. Выбранный метод анализа позволил комплексно оценить различные базы данных уязвимостей автоматизированных систем с учетом их структуры и предоставляемой информации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время выделяют несколько взаимосвязанных источников знаний о состоянии процесса функционирования автоматизированных систем, которые, в свою очередь, характеризуются конфигурационными параметрами автоматизированных систем, представляющими собой настройки программного обеспечения, входящего в состав автоматизированной системы. Контроль вышеуказанных параметров (например, измерение или обработка) может быть осуществлен посредством специализированных программных или программно-аппаратных средств как в автоматизированном режиме, так и под управлением человека [3]. Функция контроля состояния процесса функционирования автоматизированных систем позволяет оценивать процесс функционирования автоматизированных систем, а также производить эффективный анализ защищенности вышеуказанных систем. Графически представим связь между существующими источниками знаний о состоянии процесса функционирования автоматизированных систем, а также выделим источники знаний в виде баз данных уязвимостей автоматизированных систем на рис. 1.

Стоит отметить, что наиболее эффективным подходом к анализу данных, связанных с уязвимостями автоматизированных систем,

© Шабля В. О., Коноваленко С. А., Галямин Н. А., Орлов Е. О., 2025

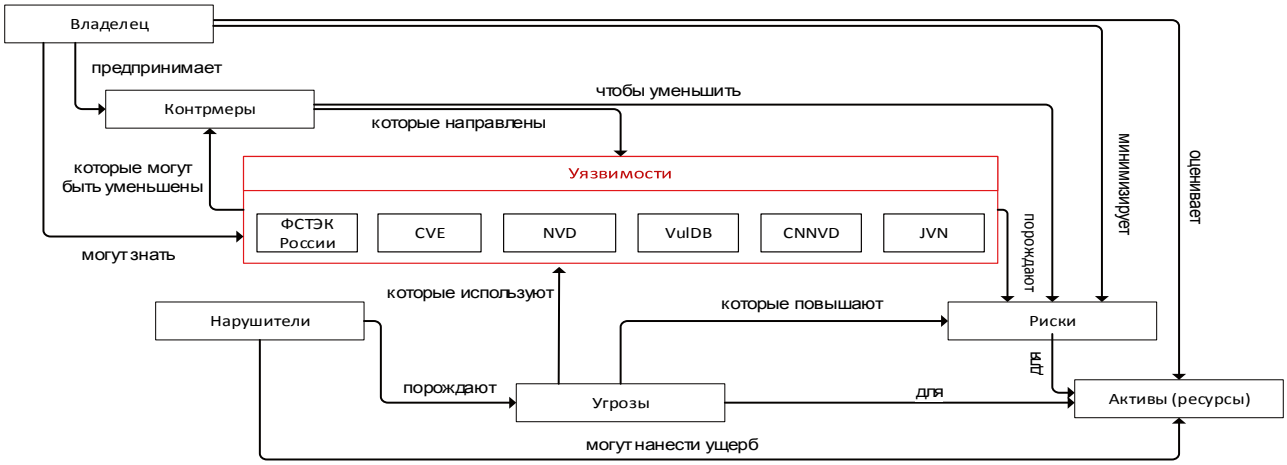


Рис. 1. Связь между существующими источниками знаний о состоянии процесса функционирования автоматизированных систем

Примечание: составлено авторами.

с точки зрения полноты информации будем считать использование не только базы данных уязвимостей ФСТЭК России, а также базы данных уязвимостей иностранного производства [4–9]. С этой целью проведем анализ отечественной и иностранных баз данных уязвимостей автоматизированных систем, результат которых сведем в табл. 1.

Выделим особенности различных баз данных уязвимостей автоматизированных систем, приведенных в табл. 1, и сведем их в табл. 2.

Таблица 1

Результаты анализа существующих баз данных уязвимостей автоматизированных систем отечественного и иностранного производства

Характеристики	Наименование баз данных уязвимостей автоматизированных систем					
	ФСТЭК России	**CVE**	**NVD**	**VulDB**	**JVN**	**CNNVD**
Количество уязвимостей автоматизированных систем на 03.11.2024	62345	240830	253570	282391	292004	266098
Способ распространения (бесплатно/платно)	+	+	+	+/-	+	+
Гибкость поиска уязвимостей автоматизированных систем	+	-	-	+	+	+/-
Возможность импорта данных об уязвимостях автоматизированных систем	+	+	+	+/-	-	+
Перечень программного обеспечения (аппаратных платформ), для которого существует уязвимость автоматизированных систем	+	-	+	+	+	-
Тип программного обеспечения, в котором обнаружена уязвимость автоматизированных систем	+	-	-	+	-	+
Статус уязвимости автоматизированных систем	+	-	+	+	-	-
Сведения о финансовых рисках эксплуатации уязвимости автоматизированных систем	-	-	-	+	-	-

Примечание: «+» – характеристика присутствует, «-» – характеристика отсутствует, «+/-» – характеристика присутствует не в полном объеме. Составлено авторами.

© Шабля В. О., Коноваленко С. А., Галямин Н. А., Орлов Е. О., 2025

Таблица 2

Особенности различных существующих баз данных уязвимостей автоматизированных систем отечественного и иностранного производства

Наименование базы данных уязвимостей автоматизированных систем	Особенности базы данных уязвимостей автоматизированных систем
ФСТЭК России	Информация доступна на русском языке, присутствует возможность импорта базы данных уязвимостей автоматизированных систем в формате XLSX и XML
CVE	Все широко известные базы данных уязвимостей присваивают уязвимостям автоматизированных систем идентификаторы из базы данных уязвимостей CVE
NVD	Присутствует возможность импорта базы данных уязвимостей автоматизированных систем с помощью API, используя запрос методом GET по HTTP-протоколу
VulDB	Наличие платной подписки, открывающая возможности неограниченного просмотра и поиска уязвимостей автоматизированных систем, неограниченный доступ к API и многое другое
JVN	Имеет уникальные идентификаторы уязвимостей информационной безопасности JVNVU и JVNTA
CNNVD	Информация доступна на китайском языке, присутствует возможность импорта информации в формате XML при условии авторизации на web-сайте

Примечание: составлено авторами.

Проанализировав табл. 1, можно прийти к выводу, что использование только отечественной базы данных уязвимостей является недостаточным решением для получения полной информации о состоянии процесса функционирования автоматизированных систем, т. к. база данных уязвимостей ФСТЭК России содержит намного меньше записей об уязвимостях, чем базы данных иностранного производства, и не содержит определенные записи (рис. 2), которые имеются в иностранных базах данных уязвимостях (рис. 3), также информация об уязвимостях в базе данных уязвимостей ФСТЭК России может быть неполной (рис. 4) относительно информации, представленной в базах данных уязвимостей иностранного производства (рис. 5).

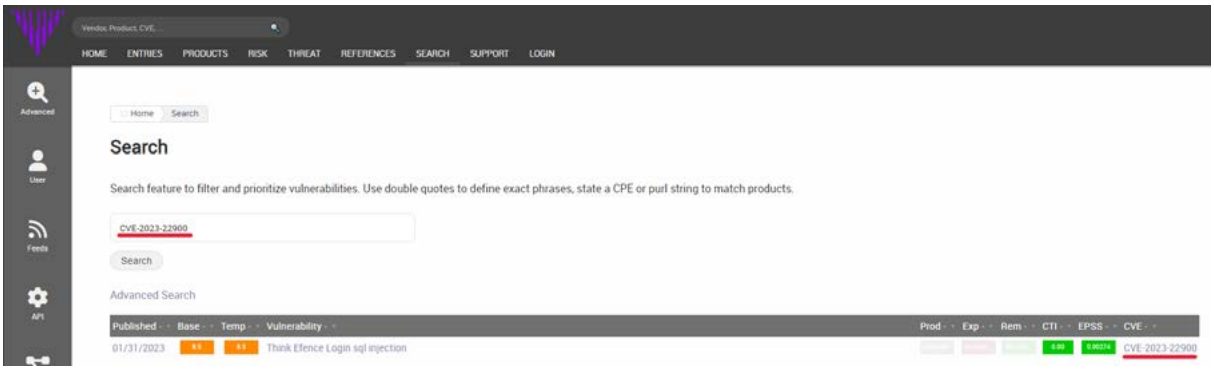


Рис. 2. Ответ на поисковый запрос «CVE-2023-22900» в базе данных уязвимостей автоматизированных систем VulDB

Примечание: составлено авторами.

© Шабля В. О., Коноваленко С. А., Галямин Н. А., Орлов Е. О., 2025

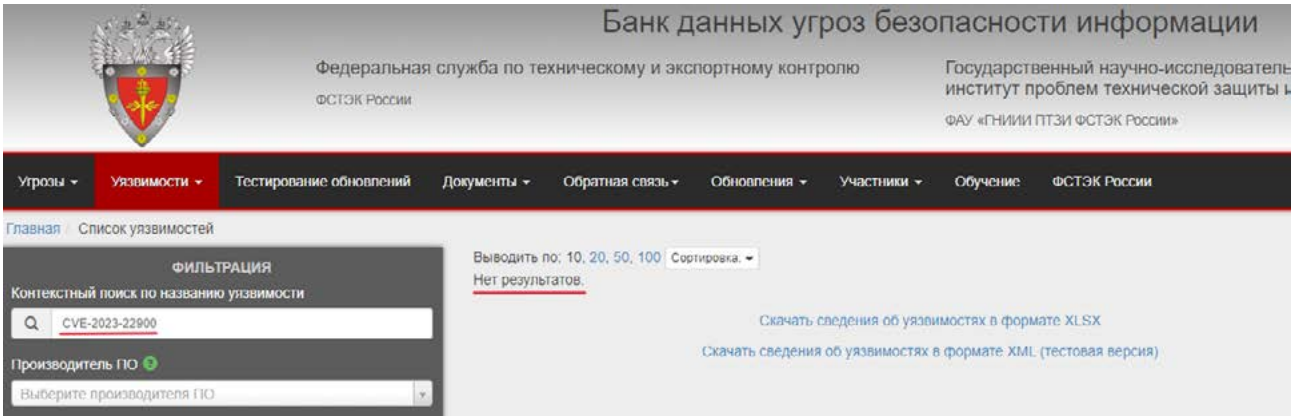


Рис. 3. Ответ на поисковый запрос «CVE-2023-22900» в базе данных уязвимостей автоматизированных систем ФСТЭК России
Примечание: составлено авторами.

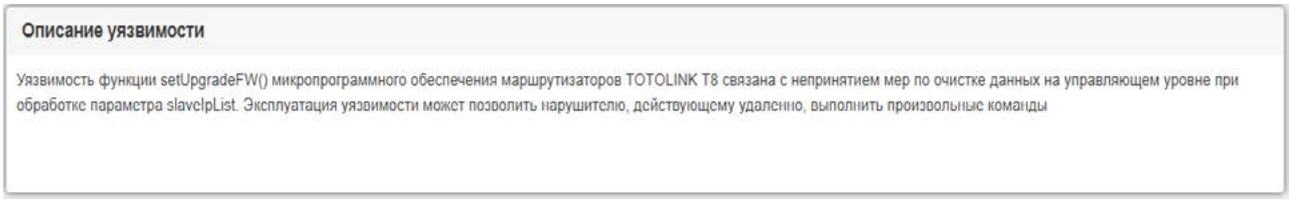


Рис. 4. Описание уязвимости «CVE-2023-24154» в базе данных уязвимостей автоматизированных систем ФСТЭК России
Примечание: составлено авторами.

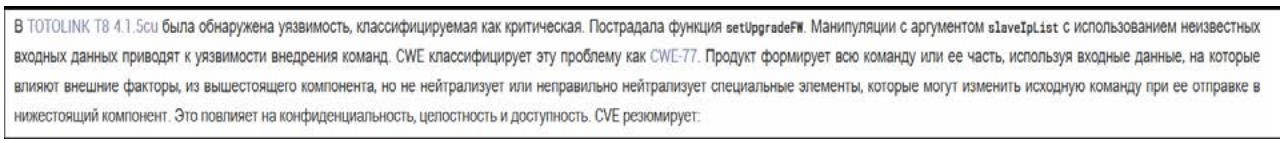


Рис. 5. Описание уязвимости «CVE-2023-24154» в базе данных уязвимостей автоматизированных систем VulDB
Примечание: составлено авторами.

Также в процессе сбора и агрегации записей из вышеуказанных баз данных уязвимостей была выявлена проблема, связанная со сложностью повышения оперативности процесса извлечения данных из различных баз данных уязвимостей путем использования HTTP API и парсинга веб-сайтов для извлечения данных. Вышеуказанные проблемы можно решить, используя разработанные «Модуль формирования базы данных уязвимостей специализированных средств», а также «Модуль парсинга баз данных уязвимостей специализированных средств» [10, 11].

Проблема повышения оперативности процесса извлечения записей из различных баз данных уязвимостей решается при применении модуля парсинга баз данных уязвимостей за счет автоматического извлечения по запросу данных об уязвимостях автоматизированных систем из различных баз данных уязвимостей (рис. 6). Проблему полноты информации при ее анализе решает модуль объединения баз данных уязвимостей за счет консолидации записей из различных баз данных уязвимостей, что, в свою очередь, позволяет обогатить информацию об уязвимостях за счет взаимного дополнения и повышает полноту обрабатываемых данных о состоянии процесса функционирования автоматизированных систем (рис. 7).

При анализе баз данных уязвимостей автоматизированных систем иностранного производства у специалиста по информационной безопасности, не обладающего должным уровнем знаний иностранного языка, на котором учтена информация в базах данных уязвимостей автоматизированных систем, возникает необходимость в использовании машинного переводчика текста.

© Шабля В. О., Коноваленко С. А., Галямин Н. А., Орлов Е. О., 2025

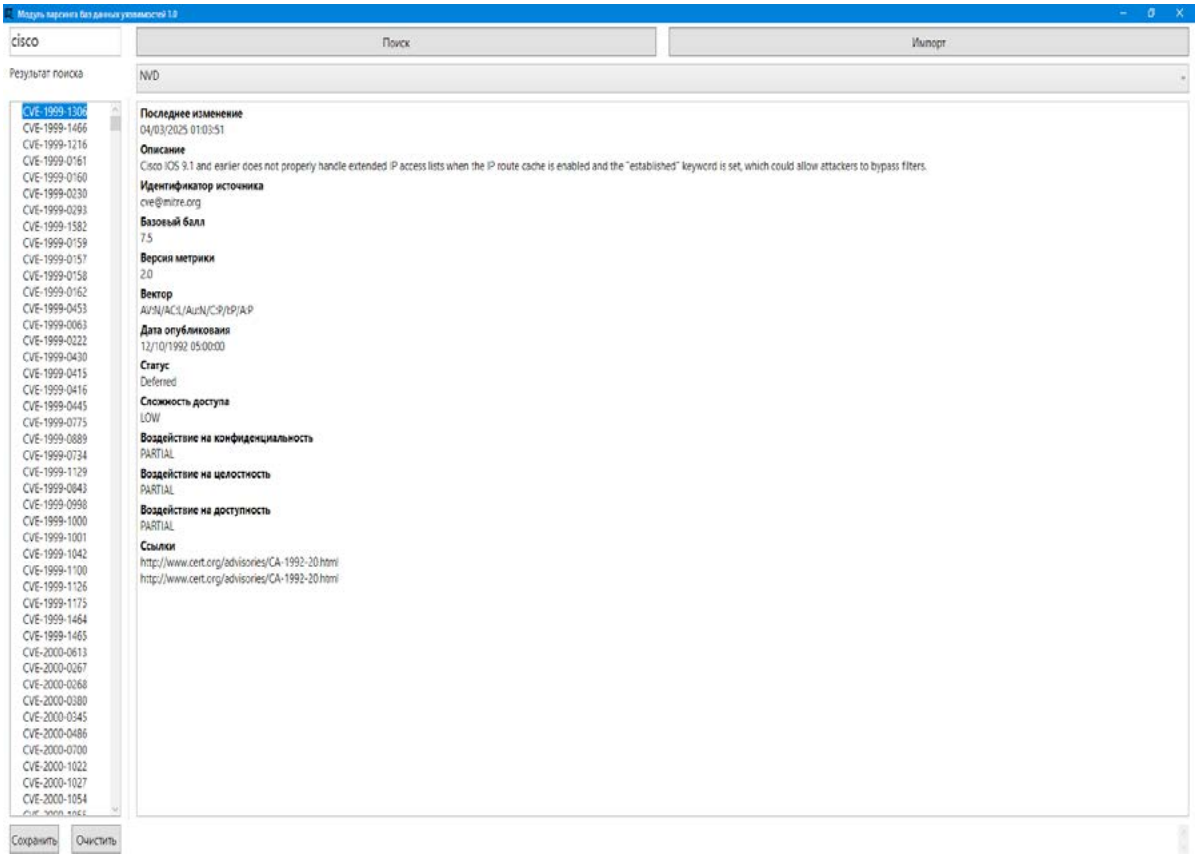


Рис. 6. Пример поиска информации в модуле парсинга баз данных уязвимостей специализированных средств

Примечание: составлено авторами.

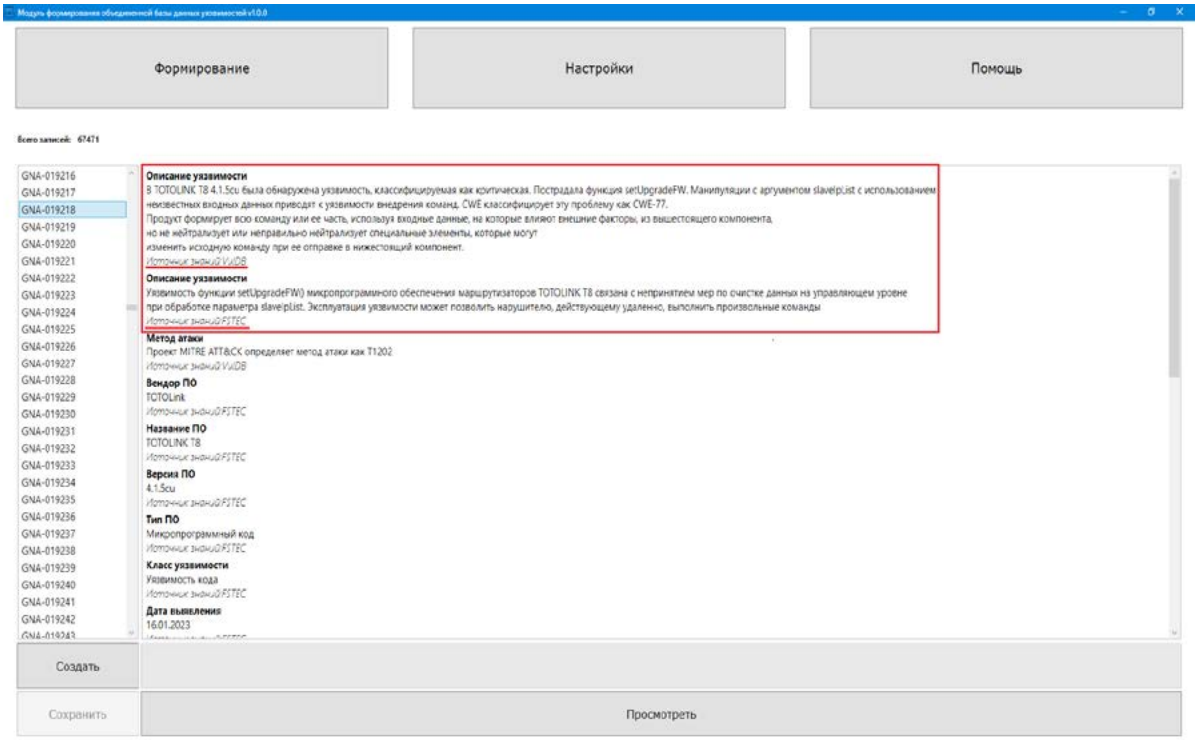


Рис. 7. Информация об уязвимости «CVE-2023-24154», представленная в модуле формирования базы данных уязвимостей специализированных средств

Примечание: составлено авторами.

© Шабля В. О., Коноваленко С. А., Галямин Н. А., Орлов Е. О., 2025

В связи с этим рассмотрим ряд машинных переводчиков текста, способных обеспечить перевод информации с иностранного языка об уязвимостях информационной безопасности, на язык, которым владеет специалист по информационной безопасности (табл. 3) [12–16].

Таблица 3

Анализ существующих машинных переводчиков текста, способных выполнить перевод уязвимостей автоматизированных систем с иностранного языка на русский

Характеристики	Машинный переводчик текста					
	SDL Trados Studio	OmegaT	ABBYY Lingvo	DeepL Translate	Google Translate	Yandex Translate
Способ распространения (бесплатно/платно)	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+
Использование искусственного интеллекта для перевода текста	+	-	-	+	+	+
Гибкость настройки перевода	+	+	+/-	+/-	+/-	+/-
Поддержка экспорта различных форматов файла для перевода	+	+/-	-	+	+	+
Возможность офлайн-доступа	+	+	+	-	+	+/-

Примечание: «+» – характеристика присутствует, «-» – характеристика отсутствует, «+/-» – характеристика присутствует не в полном объеме. Составлено авторами.

Приведем пример перевода описания уязвимости автоматизированных систем существующими машинными переводчиками текста. Для этого возьмем описание уязвимости автоматизированных систем с идентификатором «CVE-2023-22900» из базы данных уязвимостей автоматизированных систем CNNVD, исходный текст которого: «存在SQL注入漏洞┌漏洞源于在登┌功能┌用┌┌入的┌┌不足攻┌者利用┌漏洞可以注入任意SQL命令以┌┌修改或┌除┌据┌».

Пример перевода описания уязвимости автоматизированных систем при использовании машинного переводчика текста Yandex Translate: «Существует уязвимость SQL-инъекции, которая связана с недостаточной проверкой пользовательского ввода в функции входа в систему. Злоумышленник может использовать эту уязвимость для ввода любой SQL-команды для доступа, изменения или удаления базы данных».

Пример перевода описания уязвимости автоматизированных систем при использовании машинного переводчика текста Google Translate: «Существует уязвимость SQL-инъекции, возникающая из-за недостаточной проверки вводимых пользователем данных в функции входа в систему. Злоумышленник может воспользоваться этой уязвимостью для внедрения произвольных команд SQL для доступа, изменения или удаления базы данных».

Пример перевода описания уязвимости автоматизированных систем при использовании машинного переводчика текста DeepL Translator: «Уязвимость SQL-инъекции существует из-за недостаточной проверки пользовательского ввода в функции входа в систему. Злоумышленник может использовать эту уязвимость для внедрения произвольных SQL-команд для доступа, изменения или удаления базы данных».

Проанализировав перевод текста различными машинными переводчиками текста, придем к выводу, что результат работы у всех машинных переводчиков текста различен и специалисту по информационной безопасности рекомендуется выбирать наиболее подходящий результат, корректировать его с учетом особенностей предметной области (в данной статье это информационная безопасность) и различий между отечественными и иностранными терминологическими база-

© Шабля В. О., Коноваленко С. А., Галямин Н. А., Орлов Е. О., 2025

ми нормативно-правовых актов в области информационной безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенный анализ существующих баз данных уязвимостей автоматизированных систем свидетельствует о том, что использование в качестве источника знаний о состоянии процесса функционирования автоматизированных систем только отечественной базы данных уязвимостей не в полной мере обеспечивает требуемый уровень полноты знаний и оперативности процесса извлечения записей из баз данных уязвимостей, что обуславливает необходимость использования нескольких баз данных уязвимостей (отечественного и иностранного производства) автоматизированных систем. Немаловажным фактором является также проблема, связанная с необходимостью обработки большого объема данных (знаний) из различных баз данных уязвимостей автоматизированных систем. В статье были представлены разработанные программные решения данных проблем в виде модуля, объединяющего данные (знания) из различных баз данных уязвимостей в одну базу данных уязвимостей, в которой будет скоррелирована и сохранена наиболее полная информация об интересующих специалиста по информационной безопасности уязвимостях автоматизированных систем и модуля парсинга баз данных уязвимостей для повышения оперативности процесса извлечения записей из баз данных уязвимостей отечественного и иностранного производства.

Список источников

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1–2012. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Ч. 1. Введение и общая модель. М. : Стандартинформ, 2014. 50 с.
2. ГОСТ Р 56545–2015. Защита информации. Уязвимости информационных систем. Правила описания уязвимостей. М. : Стандартинформ, 2018. 7 с.
3. Коноваленко С. А., Шабля В. О., Титов Г. О. Анализ методов контроля состояния процесса функционирования сложных технических систем // Наукосфера. 2021. № 2. С. 224–230.
4. Банк данных угроз безопасности информации. Федеральная служба по техническому и экспортному контролю России (ФСТЭК России). URL: https://bdu.fstec.ru/vul (дата обращения: 03.11.2024).
5. Common Vulnerabilities and Exposures. URL: https://cve.mitre.org (дата обращения: 03.11.2024).
6. National Vulnerability Database. URL: https://nvd.nist.gov/search (дата обращения: 03.11.2024).
7. Vulnerability Database. URL: https://vuldb.com (дата обращения: 03.11.2024).
8. Japan Vulnerability Notes. URL: http://jvn.jp/en (дата обращения: 03.11.2024).
9. National Information Security Vulnerability Database. URL: https://www.cnnvd.org.cn/home/childHome (дата обращения: 03.11.2024).
10. Шабля В. О., Коноваленко С. А., Орлов Е. О. и др. Модуль формирования базы данных уязвимостей специализированных средств : патент № 2025612554 Рос. Федерация № 2025610374 заявл. 10.01.2025 ; опубл. 31.01.2025. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_80410736_65539681.PDF (дата обращения: 12.04.2025).

References

1. GOST (State Standard) R ISO/IEC 15408-1–2012. Security methods and tools. Information technology security assessment criteria. Part 1. Introduction and general model. Moscow: Standartinform; 2014. 50 p. (In Russ.).
2. GOST (State Standard) R 56545–2015. Information protection. Information system vulnerabilities. Vulnerability description rules. Moscow: Standartinform; 2018. 7 p. (In Russ.).
3. Konovalenko S. A., Shablya V. O., Titov G. O. Analysis of methods for control of the condition of the functioning process of complex technical systems. *Naukosfera*. 2021;(2):224–230. (In Russ.).
4. Bank dannykh ugroz bezopasnosti informatsii. Federalnaya sluzhba po tekhnicheskomu i eksportnomu kontrolyu Rossii (FSTEK Rossii). URL: https://bdu.fstec.ru/vul (accessed: 03.11.2024). (In Russ.).
5. Common Vulnerabilities and Exposures. URL: https://cve.mitre.org (accessed: 03.11.2024).
6. National Vulnerability Database. URL: https://nvd.nist.gov/search (accessed: 03.11.2024).
7. Vulnerability Database. URL: https://vuldb.com (accessed: 03.11.2024).
8. Japan Vulnerability Notes. URL: http://jvn.jp/en (accessed: 03.11.2024).
9. National Information Security Vulnerability Database. URL: https://www.cnnvd.org.cn/home/childHome (accessed: 03.11.2024).
10. Shablya V. O., Konovalenko S. A., Orlov E. O. et al. Module for forming a database of vulnerabilities of specialized tools. RU Patent No. 2025612554 No. 2025610374, filed January 10, 2025, issued January 31, 2025. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_80410736_65539681.PDF (accessed: 12.04.2025). (In Russ.).

© Шабля В. О., Коноваленко С. А., Галямин Н. А., Орлов Е. О., 2025

11. Шабля В. О., Коноваленко С. А., Орлов Е. О. и др. Модуль парсинга баз данных уязвимостей специализированных средств : патент 2025612938 Рос. Федерация № 2025610328 заявл. 10.01.2025 ; опубл. 05.02.2025. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_80411121_75697915.PDF (дата обращения: 12.04.2025).
12. Trados Studio. URL: https://www.trados.com/product/studio (дата обращения: 03.11.2024).
13. OmegaT. URL: https://omegat.org/ (дата обращения: 03.11.2024).
14. DeepL Translate. URL: https://www.deepl.com/translator (дата обращения: 03.11.2024).
15. Google Translate. URL: https://translate.google.ru (дата обращения: 03.11.2024).
16. Yandex Translate. URL: https://translate.yandex.ru (дата обращения: 03.11.2024).
17. ABBYY Lingvo. URL: https://lingvo.ru (дата обращения: 03.11.2024).

11. Shablya V. O., Konovalenko S. A., Orlov E. O. et al. Module for parsing databases of vulnerabilities of specialized tools. RU Patent 2025612938 No. 2025610328, filed January 10, 2025, issued February 5, 2025. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_80411121_75697915.PDF (accessed: 12.04.2025). (In Russ.).
12. Trados Studio. URL: https://www.trados.com/product/studio (accessed: 03.11.2024).
13. OmegaT. URL: https://omegat.org/ (accessed: 03.11.2024).
14. DeepL Translate. URL: https://www.deepl.com/translator (accessed: 03.11.2024).
15. Google Translate. URL: https://translate.google.ru (accessed: 03.11.2024). (In Russ.).
16. Yandex Translate. URL: https://translate.yandex.ru (accessed: 03.11.2024). (In Russ.).
17. ABBYY Lingvo. URL: https://lingvo.ru (accessed: 03.11.2024). (In Russ.).

Информация об авторах

В. О. Шабля – преподаватель;
ne.404@mail.ru
С. А. Коноваленко – кандидат технических наук;
konovalenko_rcf@mail.ru
Н. А. Галямин – студент;
galyamin03@mail.ru✉
Е. О. Орлов – студент;
egor535553@mail.ru

About the authors

V. O. Shablya – Lecturer;
ne.404@mail.ru
S. A. Konovalenko – Candidate of Sciences (Engineering);
konovalenko_rcf@mail.ru
N. A. Galyamin – Student;
galyamin03@mail.ru✉
E. O. Orlov – Student;
egor535553@mail.ru

© Шабля В. О., Коноваленко С. А., Галямин Н. А., Орлов Е. О., 2025

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

Научная статья
УДК 004.89 + 004.6.048
https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-10

CC BY 4.0

Сравнительный анализ образовательных показателей России и Новой Зеландии

Александр Алексеевич Богнюков✉, Дмитрий Юрьевич Зорькин, Евгений Николаевич Лагунов
Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

Аннотация. В условиях цифровизации интеллектуальный анализ данных становится неотъемлемой частью обработки информации. В данной статье рассматривается процесс извлечения и анализа данных из файлов CSV, проведен сравнительный анализ динамики образовательных показателей России и Новой Зеландии, а также предложены меры по улучшению образовательных тенденций. Работа основана на реальных данных, что позволило выявить закономерности и сделать выводы о перспективах образовательного развития.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, CSV, образовательные показатели, прогнозирование, визуализация данных

Для цитирования: Богнюков А. А., Зорькин Д. Ю., Лагунов Е. Н. Сравнительный анализ образовательных показателей России и Новой Зеландии // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 2. С. 83–92. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-10.

Original article

Comparative analysis of educational indicators in Russia and New Zealand

Aleksandr A. Bognyukov✉, Dmitry Yu. Zorkin, Evgeny N. Lagunov
Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Abstract. In the era of digitalization, intelligent data analysis has become an integral part of data processing. This article examines the process of extracting and analyzing data from CSV files, compares the dynamics of educational indicators in Russia and New Zealand, and proposes measures to improve educational trends. The study is based on real data, allowing for the identification of patterns and conclusions about the prospects for educational development.

Keywords: intelligent data analysis, CSV, educational indicators, forecasting, data visualization

For citation: Bognyukov A. A., Zorkin D. Yu., Lagunov E. N. Comparative analysis of educational indicators in Russia and New Zealand. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(2):83–92. https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-2-10.

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии дают возможность обрабатывать большие объемы данных, делая интеллектуальный анализ данных важным инструментом для изучения различных процессов. В условиях цифровизации сбор и обработка информации играют ключевую роль в выявлении закономерностей и прогнозировании изменений.

Актуальность данной работы связана с необходимостью изучения динамики показателей и факторов, влияющих на их изменения. Исследование основано на реальных данных, что позволяет использовать методы интеллектуального анализа для ви-

© Богнюков А. А., Зорькин Д. Ю., Лагунов Е. Н., 2025

зуального представления, сравнения и прогнозирования.

Цель данной статьи – провести анализ показателей, содержащихся в исходном наборе данных, и сравнить их с аналогичными показателями в Российской Федерации. В ходе статьи решаются следующие задачи:

1. Описание показателей, представленных в исходном наборе данных.
2. Визуализация динамики показателей в двухмерном и трехмерном форматах.
3. Сравнение динамики показателей в Российской Федерации и стране, из которой получены данные.
4. Определение экстремальных значений, а также периодов роста и спада.
5. Анализ факторов, оказывающих положительное и отрицательное влияние на показатель, с их распределением по категориям.
6. Разработка мер, направленных на снижение негативных факторов и усиление положительных тенденций.
7. Попытка построения краткосрочного прогноза динамики показателя методом экстраполяции.

Практическая ценность статьи заключается в комплексном подходе к обработке данных, что помогает выявить ключевые закономерности и предложить рекомендации для улучшения процессов в изучаемой сфере.

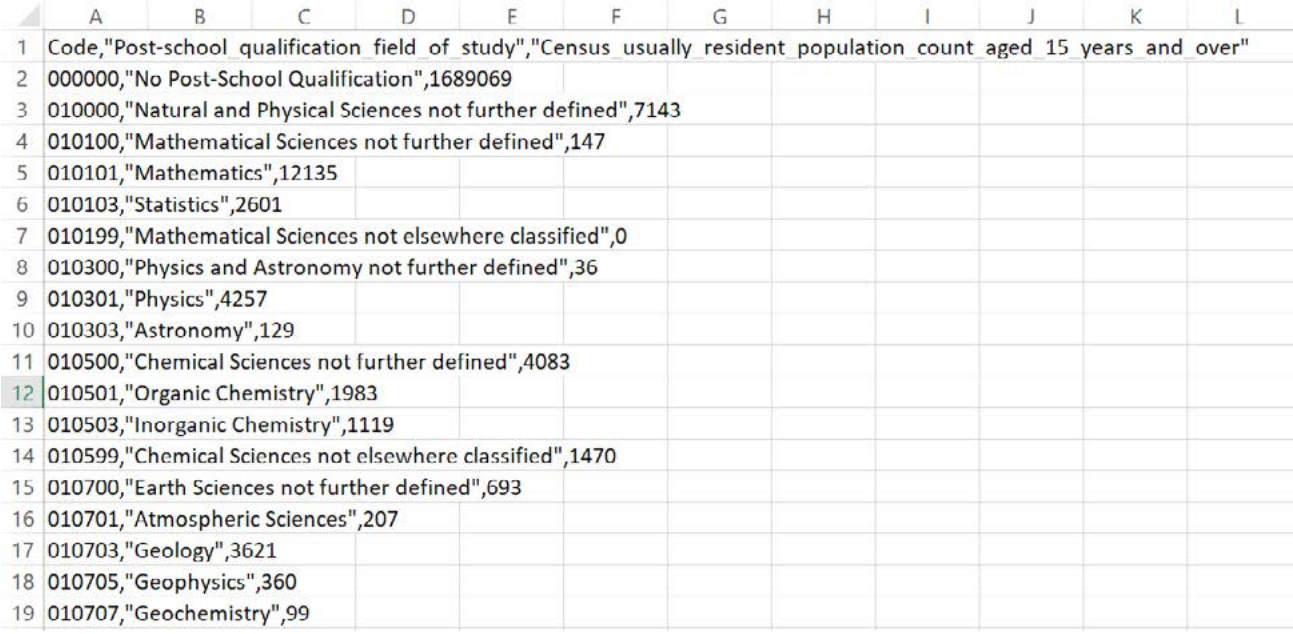
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ исходных данных и характеристика показателей. Для выполнения анализа использовался предоставленный набор данных о результатах переписи населения 2018 г. в Новой Зеландии, содержащей структурированную информацию о распределении населения в зависимости от их выбранной после школы специальности (рис. 1).

В наборе данных выделяются следующие ключевые показатели:

1. Код (Code) – уникальный идентификатор, предназначенный для классификации областей обучения. Использование кодировки обеспечивает стандартизированный подход к систематизации данных и упрощает их последующую обработку.
2. Область обучения (Post-school qualification field of study) – данный показатель описывает направления квалификации, полученной после окончания школы.

Включает как обобщенные категории, так и конкретные дисциплины, такие как математические или статистические науки.



```
Code,"Post-school_qualification_field_of_study","Census_usually_resident_population_count_aged_15_years_and_over"
000000,"No Post-School Qualification",1689069
010000,"Natural and Physical Sciences not further defined",7143
010100,"Mathematical Sciences not further defined",147
010101,"Mathematics",12135
010103,"Statistics",2601
010199,"Mathematical Sciences not elsewhere classified",0
010300,"Physics and Astronomy not further defined",36
010301,"Physics",4257
010303,"Astronomy",129
010500,"Chemical Sciences not further defined",4083
010501,"Organic Chemistry",1983
010503,"Inorganic Chemistry",1119
010599,"Chemical Sciences not elsewhere classified",1470
010700,"Earth Sciences not further defined",693
010701,"Atmospheric Sciences",207
010703,"Geology",3621
010705,"Geophysics",360
010707,"Geochemistry",99
```

Рис. 1. Представленный для анализа файл

Примечание: составлено авторами на основе переписи населения Новой Зеландии за 2018 г. [1].

© Богнюков А. А., Зорькин Д. Ю., Лагунов Е. Н., 2025

3. Численность населения (Census usually resident population count aged 15 years and over) – этот показатель отражает количество лиц, достигших возраста 15 лет и старше, относящихся к соответствующей категории квалификации. Он позволяет выявить демографические особенности распределения населения по уровням образования.

Анализ перечисленных показателей позволяет не только оценить текущее состояние образовательного уровня населения, но и выявить корреляции между уровнями квалификации и демографическими характеристиками. Эти данные являются базисом для построения моделей прогнозирования и принятия решений в социальной и образовательной политике.

Обработка и визуализация данных. После ознакомления с данными, а также для дальнейшего удобства сравнения с данными из Российской Федерации будет удобнее сравнивать не по специальностям, а по конкретным группам специальности.

В файле из Новой Зеландии 11 групп специальностей:

1. Natural and Physical Sciences (Естественные и физические науки).
2. Information Technology (Информационные технологии).
3. Engineering and Related Technologies (Инженерное дело и связанные технологии).
4. Architecture and Building (Архитектура и строительство).
5. Agriculture, Environmental and Related Studies (Сельское хозяйство, экология и связанные исследования).
6. Health (Здравоохранение).
7. Education (Образование).
8. Management and Commerce (Управление и коммерция).
9. Society and Culture (Общество и культура).
10. Creative Arts (Творческие искусства).
11. Food, Hospitality and Personal Services (Пищевая индустрия, гостиничный бизнес и персональные услуги).

На рис. 2 изображен график распределения численности населения, относящегося к соответствующей категории специальностей. На оси абсцисс конкретная группа специальностей, по оси ординат – количество человек. Также было приведено построение трехмерного графика (рис. 3).

Сравнение динамики показателя в РФ и Новой Зеландии. Аналогичным показателем в РФ будут выступать «сведения о приеме, численности студентов и выпуске бакалавров, специалистов, магистров» с сайта Министерства науки и высшего образования РФ и похожий

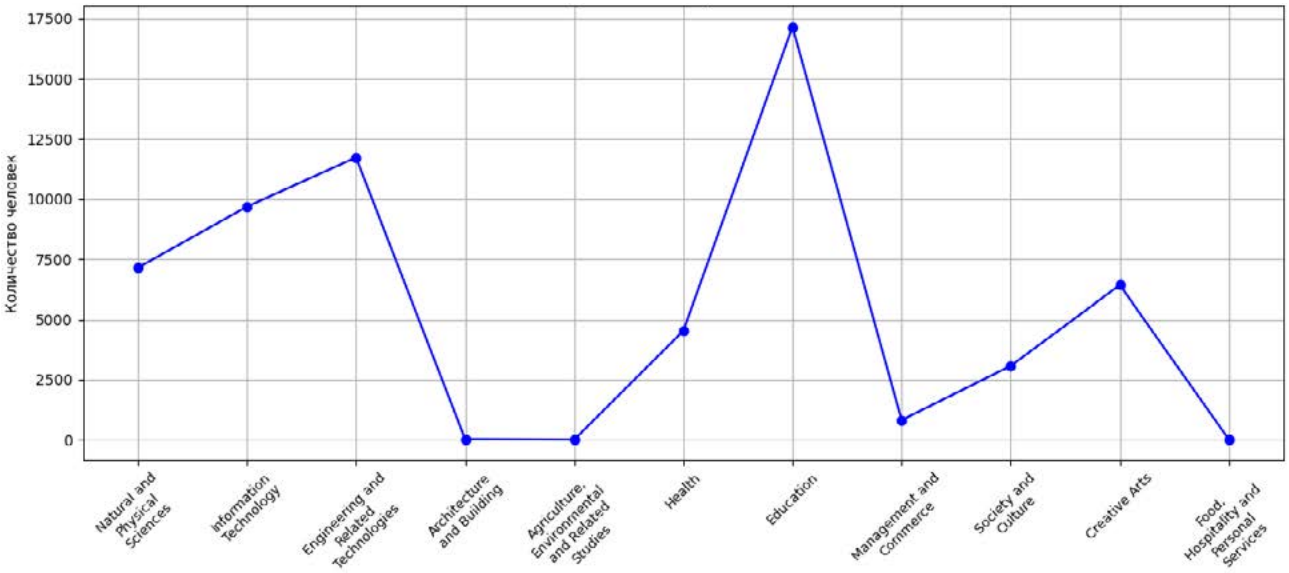


Рис. 2. График распределения численности населения, относящегося к соответствующей категории специальностей

Примечание: составлено авторами.

© Богнюков А. А., Зорькин Д. Ю., Лагунов Е. Н., 2025

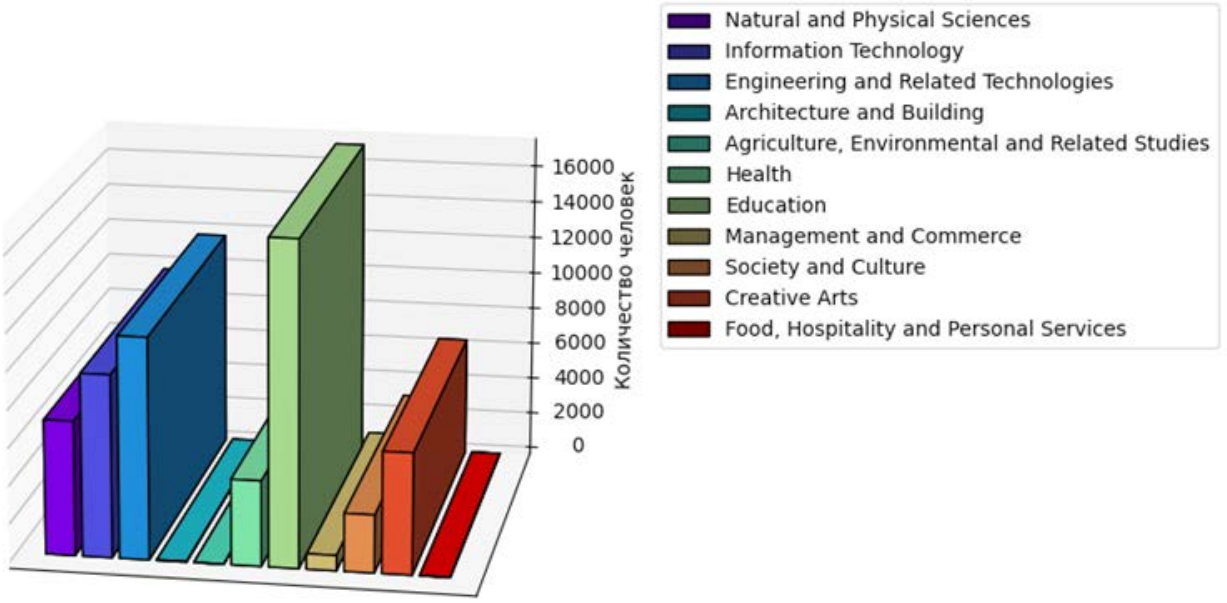


Рис. 3. Трехмерный график распределения численности населения, относящегося к соответствующей категории специальностей
Примечание: составлено авторами.

файл с сайта Минпросвещения России по среднему специальному образованию (рис. 4).

Каждой специальности присвоен уникальный числовой код, позволяющий определить, к какой группе она относится.

Раздел 2. Сведения о приеме, численности студентов и выпуске бакалавров, специалистов, магистров

2.1.1. Распределение приема по направлениям подготовки и специальностям

Коды по ОКЕИ: человек - 792

Наименование направления подготовки (специальности) по перечням, утв. приказом Минобрнауки России от 12.09.2013 г. № 1061	№ строки	Код направления подготовки (специальности)	Подано заявлений на обучение				Принято		В том числе (из гр.8) на обучение							Из общего приема (из гр. 8) женщины
			за счет бюджетных ассигнований	из них (из гр. 4)		по договорам об оказании платных образовательных услуг	всего (сумма гр. 10, 12, 13, 16)	из них лица с ограниченными возможностями здоровья (далее-ОВЗ),	за счет бюджетных ассигнований						по договорам об оказании платных образовательных услуг	
				на места в рамках квоты целевого приема	на места в пределах квоты приема лиц, имеющих особое право				федерального бюджета		бюджета субъекта Российской Федерации	местного бюджета	из суммы гр. 10, 12, 13 поступившие			
									всего	из них лица с ОВЗ, инвалиды дети-			на места в рамках квоты целевого приема	на места в пределах квоты приема лиц		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Программы бакалавриата - всего	01	0	2553979	28342	42884	1294786	741059	5420	294885	4683	11714	149	21843	13187	434311	389439
Математика	01	01.03.01	5188	48	62	1277	1177	18	998	18	0	0	45	29	179	503
Прикладная математика и информатика	01	01.03.02	42699	157	429	8445	6351	72	4687	70	45	0	145	128	1619	1799
Механика и математическое моделирование	01	01.03.03	3900	10	16	834	480	3	415	3	0	0	9	8	65	148
Прикладная математика	01	01.03.04	12385	37	90	1070	1280	13	1041	13	0	0	30	24	239	458

Рис. 4. Исходный фрагмент файла с данными по высшему образованию в РФ
Примечание: составлено авторами на основе источника [2].

Был произведен отбор специальностей, относящихся к бакалавриату, специалитету и среднему специальному образованию, в соответствии со структурой найденного Excel-файла (рис. 5).

Теперь необходимо провести подготовку данных к анализу и сравнению с показателем из Новой Зеландии (рис. 6).

В РФ все специальности делятся на 9 групп:

1. Математические и естественные науки.
2. Инженерное дело, технологии и технические науки.
3. Здравоохранение и медицинские науки.
4. Сельское хозяйство и сельскохозяйственные науки.
5. Науки об обществе.
6. Образование и педагогические науки.
7. Гуманитарные науки.
8. Искусство и культура.
9. Оборона и безопасность государства. Военные науки.

Так как названия укрупненных групп в двух странах хоть несколько и отличаются, но имеют общие сходства и специальности,

© Богнюков А. А., Зорькин Д. Ю., Лагунов Е. Н., 2025

Раздел 2. Сведения о приеме, численности студентов и выпуске

2.1.1. Распределение приема по специальностям и профессиям

Коды по ОКЕИ: человек - 792

Наименование специальности, профессии по перечням профессий и специальностей, утвержденных приказом Минобрнауки России от 29 октября 2013 г. № 1199	№ строки	Код специальности, профессии	Подано заявлений на обучение: за счет бюджетных ассигнований	Подано заявлений на обучение: по договорам об оказании платных образовательных услуг	Принято: всего (сумма гр. 8, 9; 10, 12, 14, 15)	Принято: из них лица с ОВЗ, инвалиды, дети-инвалиды	В том числе: на уровень подготовки: базовый	В том числе: на уровень подготовки: углубленный	В том числе: на обучение: за счет бюджетных ассигнований: федерального бюджета: всего	В том числе: на обучение: за счет бюджетных ассигнований: федерального бюджета: из них лица с ОВЗ, инвалиды	В том числе: на обучение: за счет бюджетных ассигнований: бюджета субъекта Российской Федерации: всего	В том числе: на обучение: за счет бюджетных ассигнований: бюджета субъекта Российской Федерации: из них лица с ОВЗ, инвалиды	В том числе: на обучение: за счет бюджетных ассигнований: местного бюджета	В том числе: на обучение: по договорам об оказании платных образовательных	Из общего приема (из гр. 6) – женщины
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Программы подготовки специалистов среднего звена: на базе	01	0	862120	287337	549945	5712	473735	76210	48957	807	311286	3467	858	188844	267956
Картография	01	05.02.01	223	45	55	0	55	0	40	0	0	0	0	15	28
Гидрология	01	05.02.02	100	26	92	0	92	0	0	0	66	0	0	26	30
Метеорология	01	05.02.03	222	19	131	1	131	0	0	0	113	1	0	18	90
Архитектура	01	07.02.01	4196	1417	2324	9	2249	75	0	0	1343	4	0	981	1667
Строительство и эксплуатация зданий и сооружений	01	08.02.01	22900	4012	13830	81	13198	632	627	4	10679	53	43	2481	3983
Строительство и эксплуатация инженерных сооружений	01	08.02.02	971	54	517	3	517	0	0	0	469	3	0	48	107
Производство неметаллических строительных изделий и конс	01	08.02.03	821	10	406	1	406	0	0	0	397	0	0	9	128
Водоснабжение и водоотведение	01	08.02.04	803	28	496	3	496	0	0	0	468	3	0	28	206
Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и аэродр	01	08.02.05	5006	925	2788	10	2708	80	120	0	2157	9	0	511	364
Строительство и эксплуатация городских путей сообщения	01	08.02.06	956	10	408	1	408	0	0	0	401	1	0	7	74

Рис. 5. Исходный фрагмент файла с данными по среднему специальному образованию в РФ
Примечание: составлено авторами на основе источника [3].

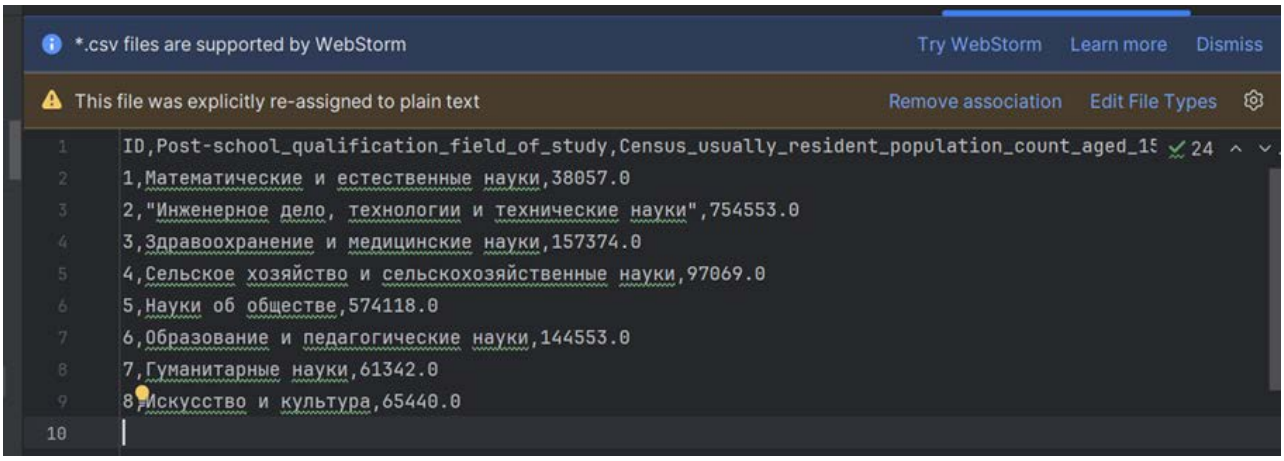


Рис. 6. Полученный файл с данными по РФ
Примечание: составлено авторами.

необходимо провести сопоставление с группировкой, полученной ранее. Основываясь на схожесть специальностей, можно привести следующее сопоставление:

1. Natural and Physical Sciences (Естественные и физические науки) относятся к группе «Математические и естественные науки».

2. Information Technology (Информационные технологии), Engineering and Related Technologies (Инженерное дело и связанные технологии), Architecture and Building (Архитектура и строительство) относятся к группе «Инженерное дело, технологии и технические науки».

3. Agriculture, Environmental and Related Studies (Сельское хозяйство, экология и связанные исследования) относятся к группе «Сельское хозяйство и сельскохозяйственные науки».

4. Health (Здравоохранение) относится к группе «Здравоохранение и медицинские науки».

5. Education (Образование) относится к группе «Образование и педагогические науки».

6. Management and Commerce (Управление и коммерция), Society and Culture (Общество и культура), Food, Hospitality and Personal Services (Пищевая индустрия, гостиничный бизнес и персональные услуги) относятся к группе «Науки об обществе».

7. Creative Arts (Творческие искусства) относятся к группе «Искусство и культура».

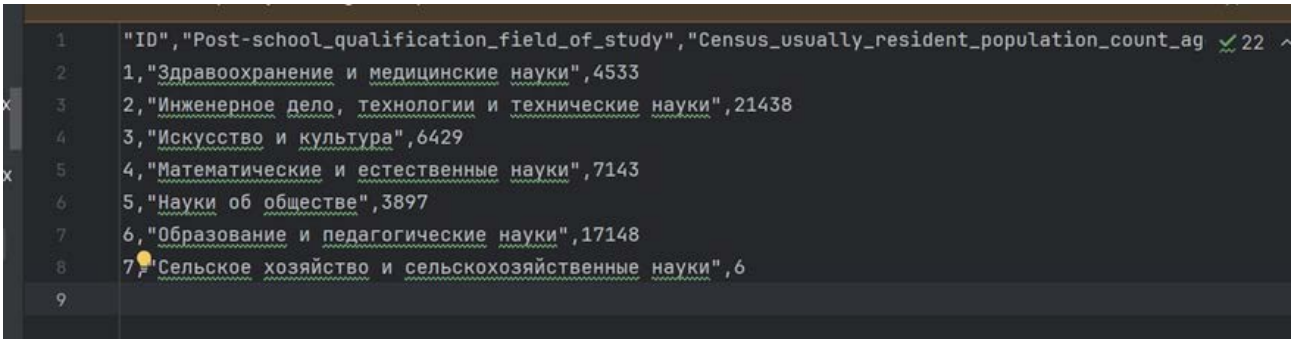
© Богнюков А. А., Зорькин Д. Ю., Лагунов Е. Н., 2025

8. Оборона и безопасность государства. Военные науки – отдельная категория, уникальная для России, без прямого соответствия в исходном файле.

Теперь, опираясь на приведенное выше сопоставление и используя коды специальностей, необходимо их просуммировать и привести к виду файла с данными по России [3].

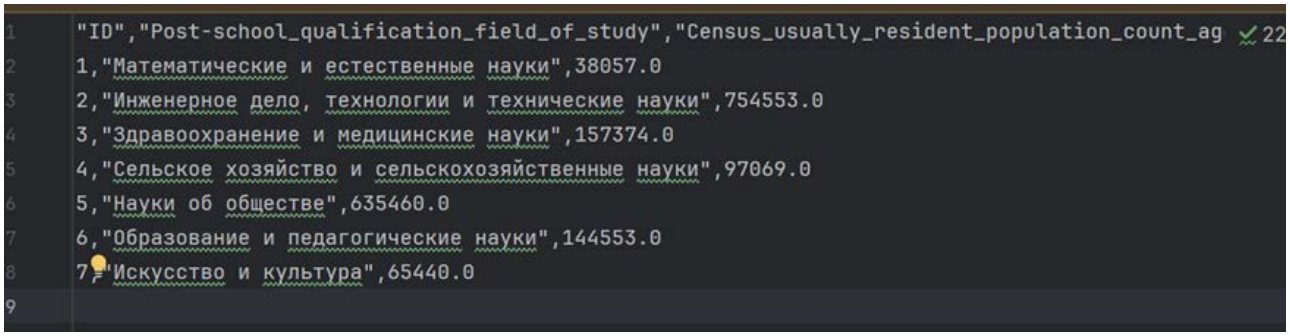
В датасете по России оказалось 8 записей (рис. 7), а по Новой Зеландии – 7 (рис. 8). Объединим гуманитарные науки и науки об обществе, так как в Новой Зеландии все входящие в них специальности находятся в разделе «Науки об обществе».

Построим график динамики показателей по данным РФ и сравним с динамикой из первого файла (рис. 9).



```
"ID","Post-school_qualification_field_of_study","Census_usually_resident_population_count_ag
1,"Здравоохранение и медицинские науки",4533
2,"Инженерное дело, технологии и технические науки",21438
3,"Искусство и культура",6429
4,"Математические и естественные науки",7143
5,"Науки об обществе",3897
6,"Образование и педагогические науки",17148
7,"Сельское хозяйство и сельскохозяйственные науки",6
```

Рис. 7. Полученный файл с датасетом по Новой Зеландии
Примечание: составлено авторами.



```
"ID","Post-school_qualification_field_of_study","Census_usually_resident_population_count_ag
1,"Математические и естественные науки",38057.0
2,"Инженерное дело, технологии и технические науки",754553.0
3,"Здравоохранение и медицинские науки",157374.0
4,"Сельское хозяйство и сельскохозяйственные науки",97069.0
5,"Науки об обществе",635460.0
6,"Образование и педагогические науки",144553.0
7,"Искусство и культура",65440.0
```

Рис. 8. Полученный датасет по РФ
Примечание: составлено авторами.

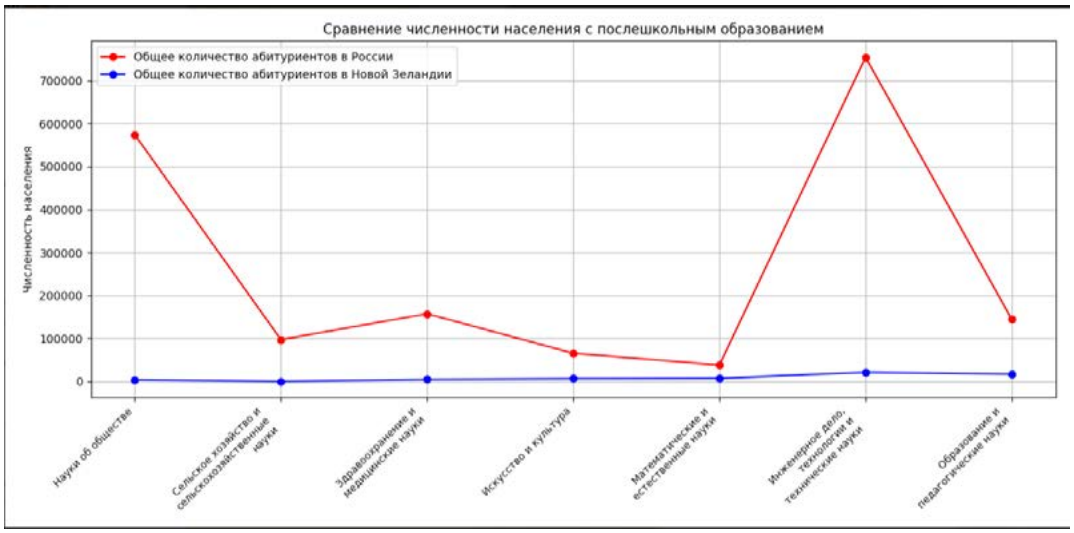


Рис. 9. График сравнительной динамики выбираемых специальностей
Примечание: составлено авторами.

© Богнюков А. А., Зорькин Д. Ю., Лагунов Е. Н., 2025

Анализируя представленный график, можно отметить характерные особенности численности людей с послешкольным образованием в России и Новой Зеландии, а также выявить закономерности в распределении выпускников по различным специальностям [4].

Различие в численности населения оказывает значительное влияние на показатели образования. В России выпускников существенно больше, что объясняется не только масштабами образовательной системы, но и тем, что общее число потенциальных студентов значительно превышает аналогичные показатели в Новой Зеландии. Это напрямую влияет на количество поступающих и завершающих обучение.

Хотя абсолютные значения различаются, общая структура подготовки специалистов демонстрирует схожие закономерности. В обеих странах наибольшее внимание уделяется инженерным и общественным дисциплинам, что говорит о высокой востребованности данных направлений. В России эти сферы выделяются особенно высокими показателями, что связано с потребностями промышленности, развитием технологий и государственной поддержкой.

В Новой Зеландии распределение выпускников по направлениям менее равномерное и некоторые специальности представлены значительно слабее. Определенные области подготовки имеют крайне низкие показатели, что может свидетельствовать о специфике образовательной системы и различиях в экономическом спросе на специалистов. В то же время в абсолютных числах система образования страны значительно уступает российской, что связано не только с демографическими факторами, но и с особенностями организации учебного процесса [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение экстремальных значений и выявление фаз роста и спада. На новом графике необходимо добавить маркеры в виде треугольников, чтобы наглядно отобразить фазы роста и спада показателя. Если текущее значение превышает предыдущее, то точка отмечается треугольником, направленным вверх, что визуально подчеркивает фазу роста [6]. В случае если значение уменьшается по сравнению с предыдущим, маркер становится треугольником, направленным вниз, обозначая фазу спада.

Для усиления наглядности применены цветные линии: зеленый цвет используется для участков роста, а красный – для участков спада. Это помогает легко различать направления изменения показателя и отслеживать динамику (рис. 10).

Особое внимание уделено экстремальным точкам – минимальному и максимальному значениям. Для них использованы маркеры увеличенного размера и черного цвета, что делает их более заметными. Это позволяет

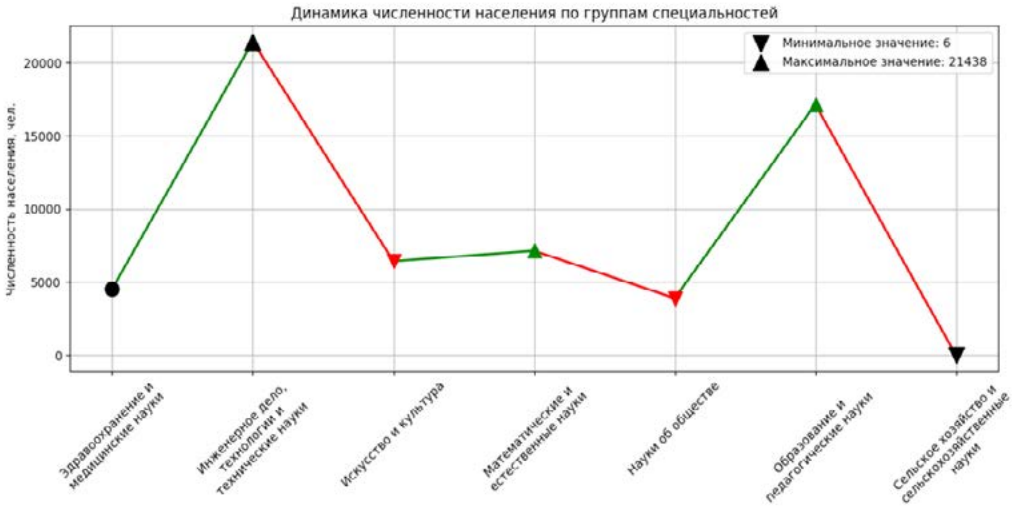


Рис. 10. График динамики численности населения по группам специальностей в Новой Зеландии
Примечание: составлено авторами.

© Богнюков А. А., Зорькин Д. Ю., Лагунов Е. Н., 2025

легко определить пиковые значения показателя на графике [7].

Распределение численности населения по группам специальностей на графике выглядит неравномерным. Самые заметные изменения наблюдаются в технических и педагогических специальностях, тогда как сельское хозяйство показывает снижение. Это может указывать на разницу в потребностях рынка труда и спросе на специалистов, что требует дополнительных шагов для повышения интереса к отдельным профессиям.

Анализ условий и факторов, влияющих на динамику показателя. Следует отметить, что комплексный анализ динамики численности населения, распределенного по группам специальностей, указывает на множественность и разнородность факторов, воздействующих на данный процесс. Их влияние может как стимулировать рост численности специалистов, так и провоцировать спад.

Прежде всего экономическая конъюнктура играет решающую роль. Сокращение финансирования ряда отраслей, проявления кризисных тенденций и рост безработицы способны снижать привлекательность отдельных специальностей и затруднять трудоустройство. В то же время увеличение объемов инвестиций, внедрение программ поддержки молодых специалистов и расширение рынков труда формируют благоприятную среду, способствующую повышению интереса к востребованным профессиям.

Технологическая трансформация также оказывает существенное влияние. Активная автоматизация и роботизация производства, а также внедрение интеллектуальных систем могут сокращать потребность в рабочей силе, особенно в традиционных отраслях сельского хозяйства и промышленности.

Таким образом, процессы изменения численности населения по профессиональным группам обусловлены комплексом факторов, включающим экономические, технологические, социальные, политические, геополитические, демографические и экологические компоненты. Данные факторы оказывают многоуровневое воздействие, проявляясь как в национальном, так и в глобальном контексте, и формируют разнонаправленные тренды в трансформации профессиональной структуры общества, влияя на устойчивость и сбалансированность его социально-экономического развития.

Устранение дестабилизирующих факторов и усиление позитивных эффектов возможно исключительно в условиях применения интегрального подхода, предусматривающего синергию экономических стимулов, технологической модернизации, институциональных преобразований, эффективной государственной политики и расширенного международного сотрудничества. Реализация указанных мероприятий соответствует парадигме устойчивого развития и создает предпосылки для формирования эффективной, адаптивной и конкурентоспособной системы подготовки кадров, способной отвечать на вызовы и риски современного этапа социально-экономической динамики.

Важной предпосылкой для повышения качества подготовки специалистов является углубление взаимодействия между образовательными учреждениями и субъектами реального сектора экономики, особенно в высокотехнологичных и наукоемких отраслях. Внедрение практико-ориентированных образовательных программ и системы профессиональных стажировок, соответствующих требованиям инновационной экономики, позволит обеспечить не только ускоренную профессиональную социализацию выпускников, но и повысить их востребованность на рынке труда. Социальные инициативы, направленные на формирование положительного имиджа профессий, переживающих снижение популярности, способны стать инструментом корректировки общественного восприятия. Комплекс информационно-просветительских мероприятий, развитие профориентации и интенсификация практической подготовки в образовательных учреждениях способствуют росту мотивации молодежи и позитивному отношению к определенным профессиональным направлениям. Одновременно с этим ключевым фактором становится создание безопасной и комфорт-

© Богнюков А. А., Зорькин Д. Ю., Лагунов Е. Н., 2025

ной рабочей среды, способствующей укреплению кадрового потенциала.

Государственная поддержка, будучи системообразующим элементом кадровой политики, призвана обеспечить сбалансированное соотношение между спросом и предложением на специалистов. Рациональное регулирование образовательных квот, приоритетное финансирование стратегических направлений подготовки, реализация адресных программ и предоставление образовательных кредитов на льготных условиях для студентов востребованных специальностей способствуют оптимизации распределения кадров и достижению целей социально-экономической устойчивости.

В современных условиях возрастает роль международного сотрудничества, интеграции в глобальное образовательное и профессиональное пространство, что позволяет привлекать компетентных специалистов, адаптировать лучшие мировые практики и усиливать конкурентные преимущества национальной системы подготовки кадров. Участие в программах академической мобильности, реализация совместных образовательных проектов и обмен профессиональным опытом формируют основу для подготовки специалистов нового поколения, способных к эффективной деятельности в условиях глобализирующегося мира.

С учетом долгосрочных перспектив стратегически значимым является учет демографических и экологических детерминант. Государственная поддержка семейной политики, улучшение качества жизни, развитие социальной и инженерной инфраструктуры в регионах с кадровым дефицитом, а также стимулирование развития экологически безопасных производств и устойчивых технологий будут способствовать не только привлечению и закреплению кадров, но и созданию новых рабочих мест в рамках современных экологических и технологических стандартов.

Прогнозирование динамики численности профессиональных групп с применением метода экстраполяции возможно исключительно при наличии репрезентативного временного ряда, включающего данные за несколько лет. Лишь в этом случае возможно корректное выявление закономерностей и трендов, что позволит получить валидные результаты прогноза. Однако в рассматриваемом случае информационная база ограничивается данными только за один отчетный период, что не дает возможности зафиксировать характерные темпы роста или спада, установить сезонные и циклические колебания, а также долгосрочные тенденции. В условиях недостаточности статистических данных применение метода экстраполяции становится методологически необоснованным, поскольку прогноз базируется не на объективно выявленных закономерностях, а на гипотетических предположениях.

Таким образом, для проведения прогнозирования необходимо использовать данные за более длительный период. В противном случае прогноз будет недостаточно обоснованным, а его результаты – недостоверными. Это подчеркивает необходимость сбора дополнительных данных, что позволит применять более точные методы анализа и делать выводы о возможных изменениях показателя и его влиянии на соответствующую отрасль.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный сравнительный анализ образовательных показателей России и Новой Зеландии на основе данных переписи населения и статистики образовательных учреждений выявил ключевые закономерности в структуре подготовки специалистов. Установлено, что в обеих странах доминирующую роль играют инженерные и общественные науки, что обусловлено запросами рынка труда и экономическими приоритетами. Однако в России наблюдается дисбаланс между масштабами подготовки технических кадров и их востребованностью, тогда как в Новой Зеландии низкие показатели в сельскохозяйственных и экологических направлениях указывают на необходимость государственного стимулирования этих областей. Научная новизна исследования заключается в адаптивном сопоставлении национальных классификаций специальностей, что позволило

© Богнюков А. А., Зорькин Д. Ю., Лагунов Е. Н., 2025

выявить кросс-культурные различия и универсальные факторы влияния, такие как технологические тренды, финансирование образования и социальные установки. На основе результатов предложены практические меры: для России – интеграция образовательных программ с потребностями промышленности и введение целевых грантов, для Новой Зеландии – усиление профориентации в сельском хозяйстве и увеличение финансирования экологических исследований. Перспективой работы является расширение временного охвата данных для построения долгосрочных прогнозов, а также включение в анализ других стран для выявления глобальных образовательных трендов.

Таким образом, исследование демонстрирует потенциал интеллектуального анализа данных как инструмента для формирования стратегий развития образования, ориентированных на решение актуальных социально-экономических задач.

Список источников

1. 2018 Census totals by topic – national highlights (updated). URL: https://www.stats.govt.nz/information-releases/2018-census-totals-by-topic-national-highlights-updated/ (дата обращения: 25.01.2025).
2. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Статистические данные по высшему образованию. URL: https://minobrnauki.gov.ru/action/stat/highed/ (дата обращения: 25.01.2025).
3. Министерство просвещения Российской Федерации. Статистика среднего профессионального образования. URL: https://edu.gov.ru/activity/statistics/secondary_prof_edu (дата обращения: 25.01.2025).
4. Matplotlib. URL: https://matplotlib.org/ (дата обращения: 22.01.2025).
5. Мыльников Л. А. Интеллектуальный анализ данных в управлении производственными системами (подходы и методы) : моногр. М. : Первое экономическое издательство, 2017. 334 с.
6. DevPractice. Визуализация линейных графиков с Matplotlib. URL: https://devpractice.ru/matplotlib-lesson-4-1-viz-linear-chart/ (дата обращения: 26.01.2025).
7. Однобокова А. С. Концепция интеллектуального анализа данных // Достижения науки и образования. 2023. № 1. С. 9–12.
8. Гладков Л. А., Кравченко Ю. А., Курейчик В. В. и др. Интеллектуальные системы: модели и методы метаэвристической оптимизации : моногр. Чебоксары : Издательский дом «Среда», 2024. 228 с.

References

1. 2018 Census totals by topic – national highlights (updated). URL: https://www.stats.govt.nz/information-releases/2018-census-totals-by-topic-national-highlights-updated/ (accessed: 25.01.2025).
2. Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii. Statisticheskie dannye po vysshemu obrazovaniyu. URL: https://minobrnauki.gov.ru/action/stat/highed/ (accessed: 25.01.2025). (In Russ.).
3. Ministerstvo prosveshcheniya Rossiyskoy Federatsii. Statistika srednego professionalnogo obrazovaniya. URL: https://edu.gov.ru/activity/statistics/secondary_prof_edu (accessed: 25.01.2025). (In Russ.).
4. Matplotlib. URL: https://matplotlib.org/ (accessed: 22.01.2025).
5. Mylnikov L. A. Intellektualnyi analiz dannykh v upravlenii proizvodstvennymi sistemami (podkhody i metody). Monograph. Moscow: Pervoe ekonomicheskoe izdatelstvo; 2017. 334 p. (In Russ.).
6. DevPractice. Vizualizatsiya lineinykh grafikov s Matplotlib. URL: https://devpractice.ru/matplotlib-lesson-4-1-viz-linear-chart/ (accessed: 26.01.2025). (In Russ.).
7. Odnobokova A. S. Kontseptsiya intellektualnogo analiza dannykh. *Dostizheniya nauki i obrazovaniya*. 2023;(1):9–12. (In Russ.).
8. Gladkov L. A., Kravchenko Yu. A., Kureichik V. V. et al. Intellektualnye sistemy: modeli i metody metaevristicheskoi optimizatsii. Monograph. Cheboksary: Izdatelskiy dom “Sreda”; 2024. 228 p. (In Russ.).

Информация об авторах

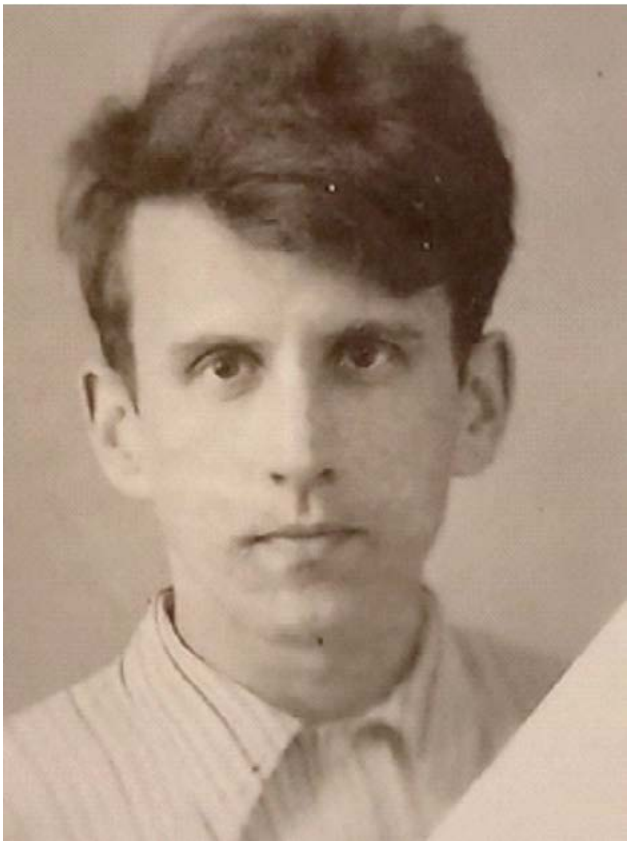
А. А. Богнюков – студент;
bogniukovv@gmail.com✉
Д. Ю. Зорькин – преподаватель;
mosh285@gmail.com
Е. Н. Лагунов – преподаватель;
eugenelag1998@gmail.com

About the authors

A. A. Bognyukov – Student;
bogniukovv@gmail.com✉
D. Yu. Zorkin – Lecturer;
mosh285@gmail.com
E. N. Lagunov – Lecturer;
eugenelag1998@gmail.com

© Богнюков А. А., Зорькин Д. Ю., Лагунов Е. Н., 2025

ИСТОРИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ / TIMELINE, RECORDS, DISCUSSIONS



В данной статье считаю важным отметить деятельность ученого Юрия Ильича Лашкевича, проводившего научные исследования в области кибернетики и психологии. Научная деятельность Ю. И. Лашкевича была посвящена актуальным вопросам анализа и моделирования интроспективных феноменов, возникающих при обработке сенсорной информации человеком. Исследования такого рода на тот момент были весьма немногочисленны и в настоящее время представляют большой интерес в области кибернетики и искусственного интеллекта.

Ю. И. Лашкевич (1918–1999) родился в городе Вятка (ныне г. Киров). Отец, Илья Петрович Лашкевич (1870–1934), работал агрономом в Вятской сельскохозяйственной академии, председателем Вятского сельскохозяйственного техникума, доцентом Ветеринарно-технического института в Вятке, но в 1933 г. был репрессирован за дворянское происхождение (по отцу), в 1934 г. умер от голода и болезней. Мать, Вера Михайловна (в девичестве Шулятикова) (1891–1976), окончила Высшие женские курсы (в 1918 г.), всю жизнь работала корректором и старшим корректором в редакции газеты «Вятская правда», после переезда в Москву – в газетах «Ведомости Верховного Совета СССР», «Известия Советов депутатов трудящихся СССР», «Правда». Семья была музыкальная: Юрий Ильич еще в детстве участвовал в Вятском музыкальном конкурсе, в Москве поступил в консерваторию, но не мог продолжить учебу, поскольку некуда был поместить рояль. В 1939 г. Юрий Ильич окончил среднюю школу (в Москве) с наивысшими оценками, в 1947 г. окончил биологический факультет Московского государственного университета (с отличием), поступил в аспирантуру на кафедру психологии философского факультета Московского государственного университета, которую, однако, не окончил из-за отрицательной оценки роли Т. Д. Лысенко в ответе

© Вайсфельд Л. И., 2025

на дополнительный вопрос в ходе очередного экзамена по философии.

В 1951 г. Юрия Ильича пригласили к участию в первых двух рейсах в СССР международного исследовательского судна «Витязь» (от Института океанологии имени П. П. Ширшова Академии наук СССР). После экспедиции он работал в научно-библиографическом отделе Всесоюзной государственной библиотеки иностранной литературы.

В 1963 г. Юрий Ильич был приглашен знаменитым психиатром профессором С. Н. Брайнесом в лабораторию биокибернетики Института хирургии имени Вишневского Академии медицинских наук СССР, где проработал до 1976 г. Там он подготовил кандидатскую диссертацию по проблемам нейрокибернетики: «Некоторые вопросы моделирования процессов переработки информации мозгом/теоретический анализ». Диссертация была закончена в 1970 г., однако по каким-то причинам защита не состоялась. В архивах сохранилось письмо С. Н. Брайнеса в Институт физиологии имени И. П. Павлова с предложением защиты. Сохранились положительные отзывы на диссертацию за личными подписями крупных психологов: заведующего лабораторией проблем передачи информации АН СССР доктора медицинских наук, профессора В. С. Гурфинкеля; старшего научного сотрудника МГУ кандидата психологических наук А. И. Назарова; старшего научного сотрудника ВЦ АН СССР доктора технических наук Д. А. Поспелова.

В последующие годы до ухода на пенсию он работал научным редактором и переводчиком в биологической редакции издательства «Мир». Будучи высокообразованным человеком, он выполнял переводы с английского языка только что вышедшей в печать научной литературы в областях биологии, кибернетики, психологии и был отмечен благодарностями и персональными премиями. Им переведено с английского языка более 80 научных книг по перечисленным выше предметам.

Преждевременная кончина Юрия Ильича не позволила ему довести начатые научные исследования до логического конца.

Ряд научных результатов отражен в следующий научных статьях.

1. Информация и интроспективные проявления психики // Вопросы философии. 1967. № 5. С. 70–78.

2. О некоторых явлениях в зрительном анализаторе, связанных с распознаванием образов // Вопросы бионики. М. : Наука. АН СССР, 1967. С. 48–51.

3. Ассоциативные механизмы памяти и регуляция центральных проявлений внимания // Психологические механизмы памяти и ее закономерности в процессе обучения : материалы I Всесоюзного симпозиума по психологии памяти, ноябрь 1970 г., г. Харьков. Харьков, 1970. С. 119–121.

4. О некоторых принципах построения памяти // Эргономика. Исследование перцептивной и мнемонической деятельности. М. : ВНИИТЭ, 1972. № 3. С. 101–109.

5. О возможном механизме запоминания временных последовательностей // Нейроны, нервные сети : тезисы IV Всесоюзной конференции по бионике, 18–21 июня 1973 г., г. Москва. М. : Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР, 1973. Т. 3. С. 47–52.

© Вайсфельд Л. И., 2025

Сетевое издание. Полные тексты статей размещаются
на официальном сайте издания https://www.vestcyber.ru и в базе данных
Научной электронной библиотеки на сайте elibrary.ru, сведения о публикуемых материалах включаются
в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Адрес учредителя и издателя:
бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры
«Сургутский государственный университет»,
628412, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Сургут, пр. Ленина, 1. Тел. +7 (3462) 76-29-29

Дата опубликования 18.06.2025.