

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СВЯЗИ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2025

**VIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ**

Сборник трудов

Том 3

Рязань
2025

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5

С 568

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2025 [текст]: сб. тр. VIII международ. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.3./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2025.

ISBN 978-5-7722-0422-1

Т.3: – 210 с.,: ил.

ISBN 978-5-7722-0425-2

Сборник включает труды участников VIII Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2025.

В сборнике освещаются вопросы математического моделирования, новых технологий в радиотехнике, телекоммуникациях, электротехнике и радиоэлектронике, вопросы полупроводниковой наноэлектроники, приборостроения, лазерной, микроволновой техники, силовой промышленной электроники, новые технологии в измерительной технике и системах, биомедицинских системах, алгоритмическое и программное обеспечение вычислительной техники, вычислительных сетей и комплексов, вопросы систем автоматизированного проектирования, обработки изображений и управления в технических системах, перспективные технологии в машиностроительном и нефтехимическом производствах, новые технологии и методики в высшем образовании, в т.ч. вопросы гуманитарной и физико-математической подготовки студентов, обучения их иностранным языкам, перспективные технологии электронного обучения, в том числе, дистанционного, вопросы экономики, управления предприятиями и персоналом, менеджмента, а также вопросы гуманитарной сферы.

Авторская позиция и стилистические особенности сохранены.

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5

ISBN 978-5-7722-0422-1

ISBN 978-5-7722-0425-2

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2025

ИНФОРМАЦИЯ О VIII МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2025

VIII Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2025 состоялся 04.03.2025-06.03.2025 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете имени В.Ф. Уткина.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2025 состоялась работа четырех Международных научно-технических конференций:

«Современные технологии в науке и образовании. Радиотехника и электроника», секции

- Радиотехнические системы и устройства;
- Телекоммуникационные системы и устройства;
- Цифровые информационные технологии реального времени;
- Промышленная силовая электроника, электроэнергетика и электроснабжение;
- Физика полупроводников, микро- и наноэлектроника;
- Микроволновая, оптическая и квантовая электроника;
- Актуальные задачи химических технологий;

«Современные технологии в науке и образовании. Вычислительная техника, математическое моделирование и автоматизированные системы», секции

- Алгоритмическое и программное обеспечение вычислительных систем и сетей;
- ЭВМ и системы;
- Информационные технологии в конструировании электронных средств;
- Модели искусственного интеллекта в САПР;
- Информационные системы и защита информации;
- Математические методы и модели в научных исследованиях и прикладных

проблемах;

- Обработка данных, изображений и управление в технических системах;
- Геоинформационные и космические технологии;
- Автоматизация производственно-технологических процессов в приборо- и машиностроении;
- Информационно-измерительные устройства и системы в технике и медицине.
- Стандартизация и управление качеством;
- Информационные системы и технологии;

«Современные технологии в науке и образовании. Экономика и управление», секции;

- Современные технологии государственного и муниципального управления;
- Экономика, менеджмент и организация производства;
- Бухгалтерский учет, анализ и аудит;
- Экономическая безопасность;
- Финансы и налоги;

«Современные технологии в науке и образовании. Новые технологии и методы в высшем образовании», секции

- Современные технологии электронного обучения;
- Иностранный язык в техническом вузе;
- Лингвистика и межкультурная коммуникация;
- Направления и формы гуманитаризации высшего образования и гуманитарная

подготовка студентов;

- Методы преподавания и организация учебного процесса в вузе;
- Физико-математическая подготовка студентов;
- Особенности военного образования на современном этапе.

Организационный комитет Форума:

Гусев С.И., проректор по научной работе и инновациям, д.т.н., проф.;

Миловзоров О.В., зам. начальника управления организации научных исследований, к.т.н, доц. – координатор, главный редактор сборника трудов Форума;

Мионов Вал.В., профессор кафедры высшей математики, д.ф.-м.н., проф. – ответственный редактор сборника трудов Форума;

Устинова Л.С., начальник отдела информационного обеспечения – отв. за информационную поддержку;

члены оргкомитета:

Бабаян П.В., зав. кафедрой автоматике и информационных технологий в управлении, к.т.н., доц.;

Бухенский К.В., зав. кафедрой высшей математики, к.ф.-м.н., доц.;

Витязев В.В., зав. кафедрой телекоммуникаций и основ радиотехники, д.т.н., проф.;

Волченков В.А., доцент кафедры телекоммуникаций и основ радиотехники, к.т.н.;

Горлин О.А., доцент кафедры электронных приборов, к.т.н., доц.;

Губарев А.В., доцент кафедры информационно-измерительной и биомедицинской техники, к.т.н., доц.;

Дмитриев В.Т., зав. кафедрой радиоуправления и связи, д.т.н., доц.;

Дмитриева Т.А., доцент кафедры вычислительной и прикладной математики, к.т.н., доц.;

Евдокимова Е.Н., зав. кафедрой экономики, менеджмента и организации производства, д.э.н., проф.;

Еремеев В.В., директор НИИ «Фотон», д.т.н., проф.;

Есенина Н.Е., зав. кафедрой иностранных языков, к.п.н., доц.;

Жулев В.И., зав. кафедрой информационно-измерительной и биомедицинской техники, д.т.н., проф.;

Журавлёва Т.А., доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учета, к.э.н., доц.;

Киселёва О.В., доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учета, к.э.н., доц.;

Кислицына Т.С., старший преподаватель кафедры радиотехнических систем;

Клейносова Н.П., директор центра дистанционного обучения, к.п.н., доц.;

Клочко В.К., профессор кафедры автоматике и информационных технологий в управлении, д.т.н., проф.;

Коваленко В.В., зав. кафедрой химической технологии, к.т.н., доц.;

Корячко В.П., зав. кафедрой систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, д.т.н., проф.;

Костров Б.В., зав. кафедрой электронных вычислительных машин, д.т.н., проф.;

Кошелёв В.И., зав. кафедрой радиотехнических систем, д.т.н., проф.;

Крошилина С.В., доцент кафедры вычислительной и прикладной математики, к.т.н., доц.;

Круглов С.А., зав. кафедрой промышленной электроники, д.т.н., доц.;

Кузьмин Ю.М., доцент кафедры информационной безопасности, к.т.н., доц.;

Куприна О.Г., доцент кафедры иностранных языков, к.филол.н., доц.;

Куприянова М.Н., доцент кафедры экономики, менеджмента и организации производства, к.э.н., доц.

Ленков М.В., декан факультета автоматике и информационных технологий в управлении, зав. кафедрой автоматизации информационных и технологических процессов, к.т.н., доц.

Литвинов В.Г., зав. кафедрой микро- и нанoeлектроники, д.ф.-м.н., доц.;

Лукиянова Г.С., доцент кафедры высшей математики, к.ф.-м.н., доц.;

Маметова Ю.Ф., доцент кафедры иностранных языков, к.п.н., доц.;

Мельник О.В., профессор кафедры информационно-измерительной и биомедицинской техники, д.т.н., доц.;

Меркулов Ю.А., старший преподаватель кафедры автоматизации информационных и технологических процессов;

Мионов В.В., старший преподаватель кафедры Воздушно-космических сил;

Митрошин А.А., доцент кафедры систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, к.т.н., доц.;

Мишустин В.Г., доцент кафедры микро- и нанoeлектроники, к.ф.-м.н., доц.;

Овечкин Г.В., зав. кафедрой вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Паршин А.Ю., доцент кафедры радиотехнических устройств, к.т.н., доц.;

Паршин Ю.Н., зав. кафедрой радиотехнических устройств, д.т.н., проф.;

Перфильев С.В., зав. кафедрой государственного, муниципального и корпоративного управления, д.э.н., проф.;

Подгорнова Н.А., доцент кафедры государственного, муниципального и корпоративного управления, к.э.н., доц.;

Пржегорлинский В.Н., зав. кафедрой информационной безопасности, к.т.н., доц.;

Пылькин А.Н., профессор кафедры вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Саблина В.А., доцент кафедры электронных вычислительных машин, к.т.н., доц.;

Сапрыкин А.Н., доцент кафедры систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, к.т.н., доц.;

Семенов А.Р., доцент кафедры химической технологии, к.ф.-м.н.;

Скрипкина О.В. доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учета, к.э.н., доц.;

Соколов А.С., зав. кафедрой истории, философии и права, д.и.н.;

Таганов А.И., профессор кафедры космических технологий, д.т.н., проф.;

Тарасова В.Ю., ассистент кафедры электронных вычислительных машин, магистр;

Торженова Т.В. доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учета, к.э.н., доц.;

Харитонов А.Ю., нач. военного учебного центра, полковник, к.т.н., доц.;

Холопов С.И., зав. кафедрой автоматизированных систем управления, к.т.н., доц.;

Цыцына М.И., ассистент кафедры космических технологий, магистр;

Чеглакова С.Г., зав. кафедрой экономической безопасности, анализа и учета, д.э.н., проф.;

Челебаев С.В., доцент кафедры автоматизированных систем управления, к.т.н., доц.;

Шурчкова И.Б., доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учета, к.э.н., доц.;

Щевьев А.А., доцент кафедры истории, философии и права, к.п.н., доц.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»

СЕКЦИЯ «ЦИФРОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ»

УДК 621.37; ГРНТИ 47.05.05

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ В СРЕДЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБУЧАЮЩИМИСЯ

Л.А. Фетисова, В.А. Волченков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, lidia.fetisovaa@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматривается процесс разработки модели формирования сигналов в среде математического моделирования SimInTech с целью изучения их характеристик обучающимися. Применение SimInTech позволяет заменить традиционные лабораторные работы на реальных макетах, обеспечивая безопасность, доступность и удобство обучения. В работе анализируются различные аспекты моделирования гармонических колебаний, их суммирования, биений, амплитудной модуляции и формирования последовательности прямоугольных радиоимпульсов. Показано, что результаты моделирования в SimInTech имеют высокую степень соответствия реальным процессам, что подтверждается сравнением осциллограмм, полученных в виртуальной среде и на реальных макетах. Такой подход способствует лучшему пониманию принципов формирования и преобразования сигналов, а также развитию аналитических навыков у студентов.

Ключевые слова: математическое моделирование, SimInTech, гармонические колебания, биения, амплитудная модуляция, радиотехнические цепи и сигналы, цифровое моделирование, анализ сигналов.

DEVELOPMENT OF A SIGNAL FORMATION MODEL IN THE SIMINTECH MATHEMATICAL MODELING ENVIRONMENT FOR STUDENTS TO STUDY ITS CHARACTERISTICS

L.A. Fetisova, V.A. Volchenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, lidia.fetisovaa@gmail.com*

The summary. This article examines the process of developing a signal formation model in the SimInTech mathematical modeling environment for students to study its characteristics. The use of SimInTech allows replacing traditional laboratory experiments on physical prototypes, ensuring safety, accessibility, and convenience in education. The study analyzes various aspects of modeling harmonic oscillations, their summation, beat phenomena, amplitude modulation, and the formation of rectangular radio pulse sequences. It is demonstrated that the results of modeling in SimInTech closely correspond to real-world processes, as confirmed by comparing oscillograms obtained in the virtual environment and on physical prototypes. This approach enhances students' understanding of signal formation and transformation principles, as well as the development of analytical skills.

Keywords: mathematical modeling, SimInTech, harmonic oscillations, beat phenomena, amplitude modulation, radio engineering circuits and signals, digital modeling, signal analysis.

Современные технологии стремительно развиваются, и вместе с ними меняются методы обучения. Если раньше лабораторные работы по изучению радиотехнических цепей и сигналов проводились исключительно на реальных макетах, то сегодня всё больше учебных заведений стремятся перейти к использованию средств математического моделирования, таких как, например, среда динамического моделирования SimInTech. Этот переход не просто

упростит процесс обучения, но и откроет перед студентами новые возможности для глубокого понимания изучаемых процессов.

Работа с реальными макетами требует строгого соблюдения техники безопасности, особенно при изучении высоковольтных цепей, электромагнитных систем или сложных электронных схем. Ошибка в подключении может привести не только к выходу оборудования из строя, но и к риску поражения электрическим током. Процесс выполнения работ в средах проектирования полностью исключает эти опасности, позволяя студентам экспериментировать без риска поломок или несчастных случаев. Кроме того, работа с реальными макетами, а, следовательно, и их поддержание в работоспособном состоянии, требует значительных финансовых и материальных затрат. Виртуальное моделирование полностью решает эту проблему. Все элементы схемы представляются в цифровом виде, а студенты могут выполнять эксперименты на собственных компьютерах в любое время, что делает процесс обучения гораздо более доступным и гибким. Теоретическое изучение процессов, таких как биения или фильтрация сигналов, часто бывает сложным из-за необходимости работы с абстрактными уравнениями. SimInTech позволит визуализировать все процессы в реальном времени с помощью конкретных блоков. Такой подход делает сложные физические явления понятными и наглядными.

Переход от выполнения лабораторных работ на физических макетах к математическому моделированию в SimInTech – это естественный шаг в развитии технического образования. Он делает обучение безопаснее, доступнее, удобнее и эффективнее, позволяя студентам глубже понимать изучаемые процессы и экспериментировать без ограничений.

Использование SimInTech не только экономит ресурсы, но и помогает студентам развивать аналитическое мышление, умение работать с моделями и анализировать сложные динамические процессы, что крайне важно для будущих инженеров и специалистов в области технических наук.

Рассмотрим процесс создания и исследования моделей и их взаимодействий в SimInTech. Остановимся на нескольких ключевых процессах, связанных с исследованием гармонических и модулированных колебаний, а также последовательности импульсов:

- формирование высокочастотных и низкочастотных колебаний;
- суммирование колебаний;
- биения при наложении колебаний близких частот;
- формирование амплитудно-модулированных колебаний;
- формирование периодической последовательности прямоугольных радиоимпульсов.

Все эти процессы можно исследовать как на реальных макетах [1], так и в среде SimInTech. Виртуальное моделирование позволит нам быстро изменять параметры сигналов, анализировать их поведение и визуализировать результаты.

Гармонические колебания

Гармоническое колебание – это колебательный процесс, при котором физическая величина изменяется с течением времени по гармоническому закону. Основные характеристики: амплитуда – максимальное отклонение от положения равновесия; частота – число колебаний в единицу времени; фаза – начальное смещение волны [2]. Гармонические колебания могут быть как высокочастотными, так и низкочастотными в зависимости от значения задаваемого параметра частоты.

На рисунке 1 изображена модель формирования высокочастотного и низкочастотного колебаний в среде SimInTech.

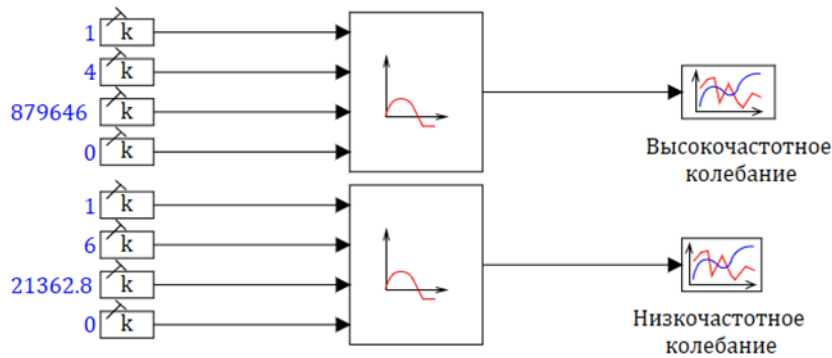


Рис. 1. Модель формирования высокочастотного и низкочастотного колебаний в SimInTech

В основу модели входят блоки: «Константа» для ввода исходных параметров колебания, управляемый синусоидальный генератор для формирования сигнала и «Временной график» для отображения конечного результата моделирования [3].

Управляемый синусоидальный генератор имеет 4 входа, соответственно:

StateFlag – флаг состояния: 1 – блок включен, 0 – блок отключен;

A – амплитуда синусоидального сигнала (в процессе моделирования для высокочастотного колебания была равна 4 В, для низкочастотного – 6 В);

ω – частота синусоидального сигнала, рад/сек (для высокочастотного колебания была равна 140000 Гц, для низкочастотного – 3400 Гц);

ϕ – сдвиг фазы сигнала, рад (в обоих случаях принят равным нулю).

На рисунке 2, а изображено высокочастотное колебание, полученное в среде моделирования SimInTech, а справа, на рисунке 2, б колебание, которое генерируется на реальном макете.

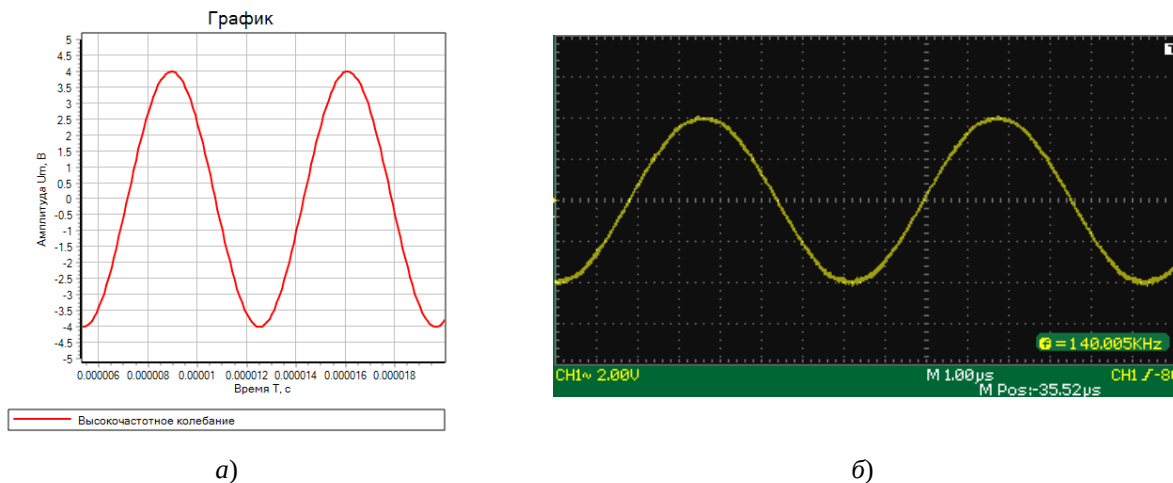


Рис. 2. Высокочастотное колебание в SimInTech (а) и на реальном макете (б)

На рисунке 3, а изображено низкочастотное колебание, полученное в среде моделирования SimInTech, а справа, на рисунке 2, б колебание, которое генерируется на реальном макете.

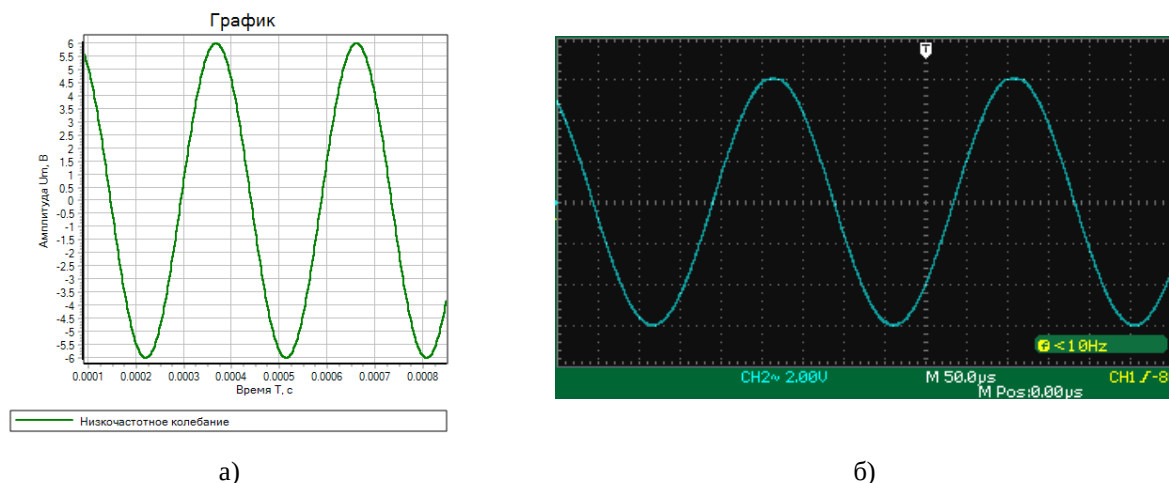


Рис. 3. Низкочастотное колебание в SimInTech (а) и на реальном макете (б)

Одним из главных преимуществ математического моделирования в SimInTech является его точное соответствие реальным процессам, что позволяет использовать виртуальные эксперименты для прогнозирования и анализа поведения физических систем. При исследовании высокочастотных и низкочастотных колебаний мы получили осциллограммы, которые совпадают как в среде SimInTech, так и на реальном лабораторном макете.

Для формирования суммы двух колебаний, в схему необходимо добавить блок «Сумматор».

Модель суммирования двух колебаний представлена на рисунке 4.

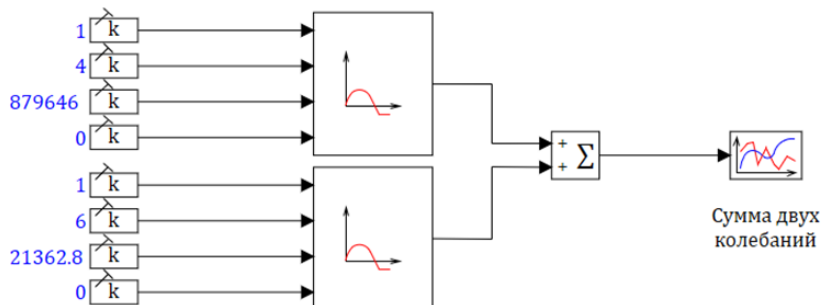


Рис. 4. Модель суммирования высокочастотного и низкочастотного колебаний в SimInTech

На выходе такой схемы мы получаем сумму двух гармонических колебаний, изображенную на рисунке 5, а и аналогичную ей, снятую на реальном макете, отображенную на рисунке 5, б.

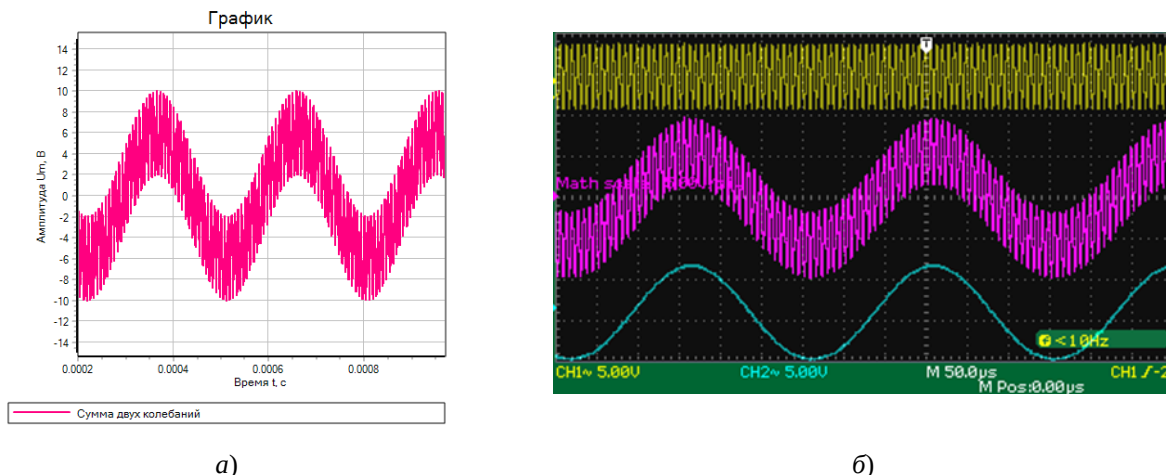


Рис. 5. Сумма двух гармонических колебаний в SimInTech (а) и на реальном макете (б)

Сравнение суммы двух колебаний, смоделированных в SimInTech и воспроизведенных на макете, показывает корреляцию между теоретическими расчетами и реальными физическими процессами. На осциллограммах обеих систем видно, что сумма высокочастотного или низкочастотного колебаний, совпадает по амплитуде, форме и фазовым сдвигам.

Биения гармонических колебаний

Биения возникают при наложении двух гармонических колебаний, частоты которых очень близки друг к другу. В результате формируется амплитудно-модулированный сигнал, частота огибающей которого равна модулю разности частот составляющих [2]. Для того чтобы реализовать данный процесс, зададим частоту низкочастотного колебания, близкую к частоте высокочастотного колебания и численно равной 135 кГц.

Модель, имитирующая биение высокочастотного и низкочастотного колебаний в SimInTech изображена на рисунке 6.

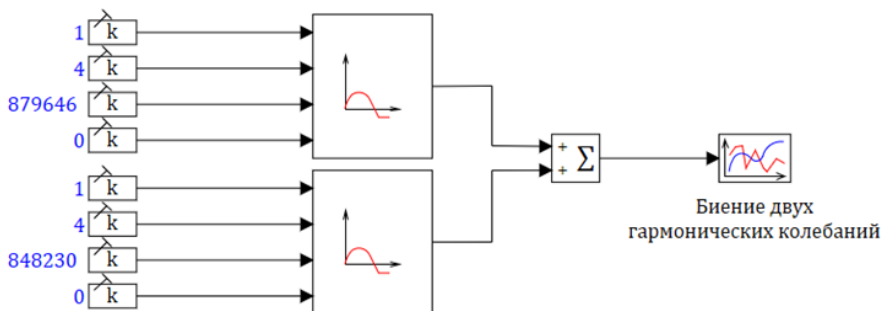


Рис. 6. Модель, имитирующая биение высокочастотного и низкочастотного колебаний в SimInTech

В результате мы получаем биение двух колебаний, изображенное на рисунке 7, а и аналогичное ему, снятое на реальном макете, отображенное на рисунке 7, б.

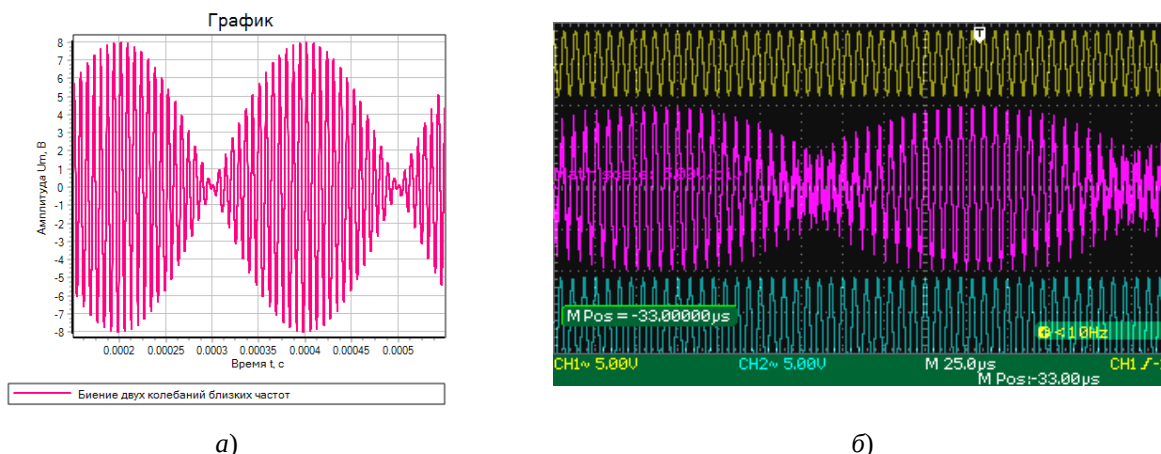


Рис. 7. Биение двух гармонических колебаний близких частот в SimInTech (а) и на реальном макете (б)

Полученные осциллограммы совпадают, но вследствие наличия шумов на реальном макете формы сигналов в области их затухания незначительно отличаются.

Амплитудная модуляция

Амплитудная модуляция (АМ) — это процесс изменения амплитуды несущей частоты в зависимости от мгновенного значения модулирующего сигнала. Основные параметры АМ: несущая частота – базовая частота высокочастотного сигнала; модулирующая частота – частота управляющего сигнала; глубина модуляции – степень изменения амплитуды [2].

На рисунке 8 изображена схема для получения амплитудно-модулированного колебания в среде SimInTech. Модель построена на основе теоретических данных, что обеспечивает её соответствие реальным физическим процессам. В её состав входят как ранее рассмотренные блоки, так и дополнительные элементы, которые расширяют функциональность системы и позволяют реализовать более сложные математические операции. Блок «Часы» генерирует временную шкалу, синхронизируя работу всей схемы, в контексте амплитудной модуляции он задаёт временные параметры сигнала, обеспечивая его непрерывное формирование. Два блока «Синусоидальная функция» формируют несущую и модулирующую частоты. Несущая волна необходима для передачи информации, а её амплитуда изменяется под воздействием модулирующего сигнала. Блок «Делитель» используется для нормализации модулирующего сигнала, приводя его к нужному уровню перед подачей на умножитель. Это важно, чтобы глубина модуляции оставалась в допустимых пределах и не приводила к искажениям. Блок «Умножитель» выполняет основную операцию амплитудной модуляции, перемножая модулирующий сигнал и несущую частоту [3]. В результате получается амплитудно-модулированное колебание, где огибающая соответствует исходному модулирующему сигналу.

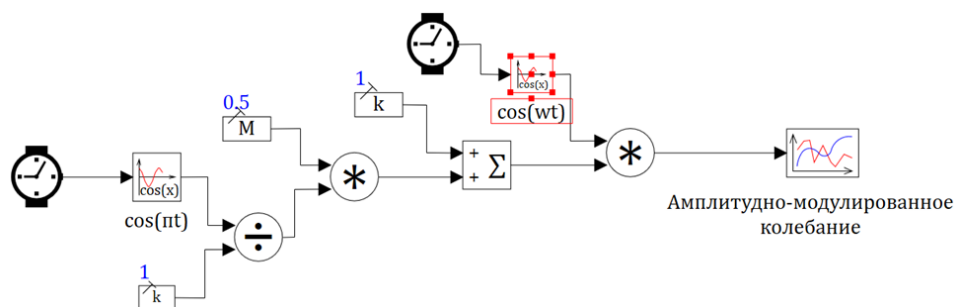


Рис. 8. Модель формирующая амплитудно-модулированного колебания в SimInTech

На рисунке 9, а изображено АМ колебание, смоделированное в SimInTech, на рисунке 9, б, получившееся при работе на реальном лабораторном макете.

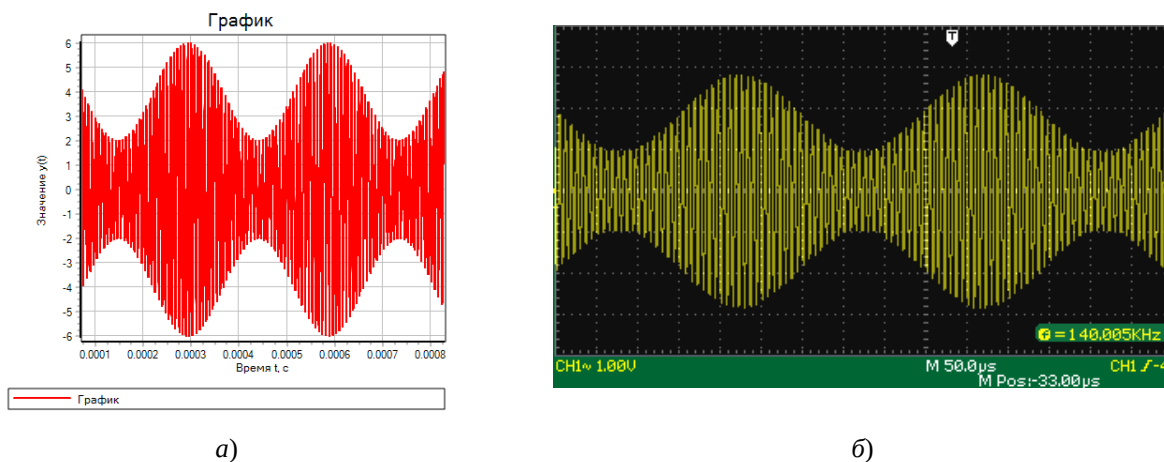


Рис. 9. Амплитудно-модулированное колебание в SimInTech (а) и на реальном макете (б)

В SimInTech математическая модель позволяет точно воспроизвести процесс амплитудной модуляции, учитывая все теоретические зависимости, в то время как на реальном макете сигнал формируется с учетом физических факторов, таких как нелинейности, шумы и паразитные эффекты. Несмотря на возможное наличие незначительных отклонений, общая форма модулированного сигнала остается практически идентичной, что подтверждает корректность модели и ее применимость для анализа и проектирования реальных систем.

Периодическая последовательность прямоугольных радиоимпульсов

Последовательность прямоугольных радиоимпульсов представляет собой гармоническое колебание, ограниченное во времени модулирующим прямоугольным сигналом [2].

Модель для получения периодической последовательности прямоугольных импульсов представлена на рисунке 10.

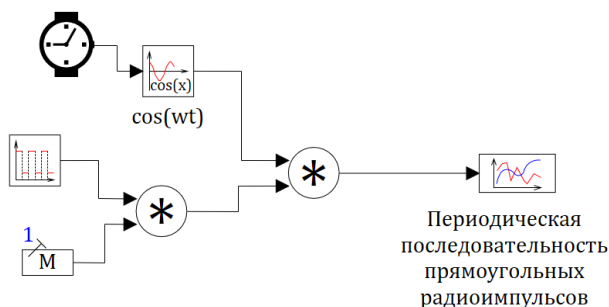


Рис. 10. Модель, формирующая периодическую последовательность прямоугольных радиоимпульсов

На выходе такой схемы мы получаем последовательность прямоугольных радиоимпульсов, изображенную на рисунке 11, а, и аналогичную ей, снятую на реальном макете, отображенную на рисунке 11, б.

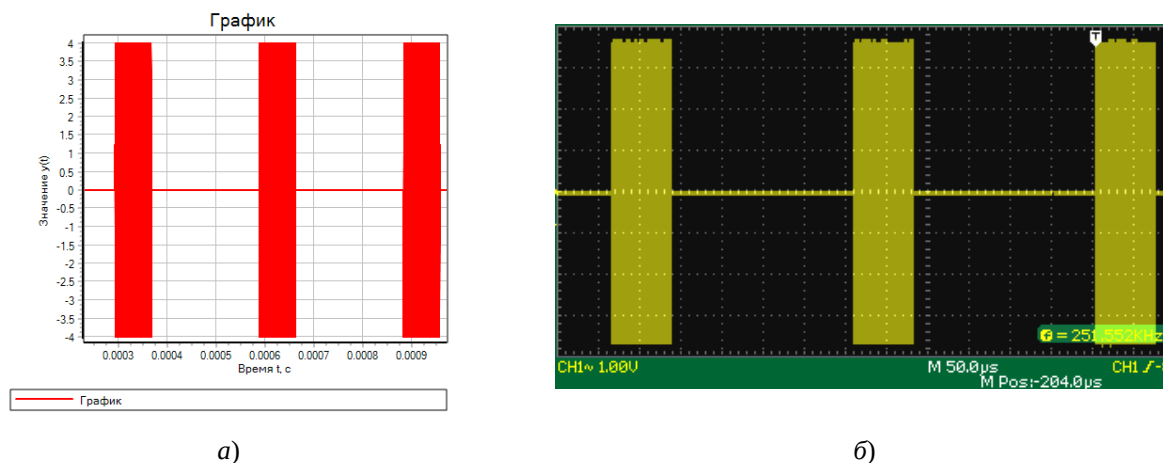


Рис. 11. Периодическая последовательность прямоугольных радиоимпульсов в SimInTech (а) и на реальном макете (б)

На осциллограмме мы наблюдаем пачки синусоидальных колебаний, чередующиеся с интервалами нулевого уровня. Спектр такого сигнала будет содержать основную несущую частоту и боковые составляющие, вызванные шириной спектра прямоугольных импульсов.

Моделирование в SimInTech позволяет получить идеальный сигнал, лишённый влияния реальных физических факторов, таких как шумы, паразитные наводки и нелинейности элементов. В эксперименте, напротив, могут возникать небольшие искажения формы импульсов, вызванные характеристиками аппаратуры – например, скругление фронтов или уменьшение амплитуды на высоких частотах. Однако при точном согласовании параметров схемы и макета отличия минимальны, что подтверждает корректность математической модели.

Подводя итоги, можно сказать, что разница между моделируемыми и экспериментальными результатами минимальна, что подтверждает правильность математических предположений и их успешную реализацию в реальных условиях. Такой результат подтверждает надежность моделей и их способность точно прогнозировать поведение системы при сложных взаимодействиях колебаний.

Библиографический список

1. Радиотехнические цепи и сигналы: методические указания к лабораторным работам. Часть I / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: В.В. Авдеев, А.Ю. Линович, С.Л. Соколов, Б.И. Филимонов; под ред. Б.И. Филимонова. — Рязань, 2017. — 48 с.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.
3. Библиотеки блоков // Справочная система SimInTech (v31.01.2025) URL: https://help.simintech.ru/#10_biblioteki_blokov/biblioteki_blokov.html (дата обращения: 15.02.2025).

УДК 616-71; ГРНТИ 76.13.15

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СЕРДЕЧНОГО РИТМА ЧЕЛОВЕКА

Ю.И. Долматов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, dolmatovu123@xmail.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены принципы работы радиолокационного метода для дистанционного мониторинга сердечного ритма человека, его преимущества и недостатки. Проведена оценка безопасности применения с учетом российских санитарно-гигиенических нормативов. Приведены расчеты плотности потока энергии на различных расстояниях и при изменении мощности излучающих антенн. Показано, что радар AWR1642boost соответствует требованиям безопасности при соблюдении рекомендованных параметров. Основные выводы включают необходимость соблюдения безопасного расстояния и ограничения мощности передатчика для минимизации воздействия электромагнитного излучения на человека.

Ключевые слова: радиолокационный метод, безопасность, плотность потока энергии, частота сердечных сокращений (ЧСС).

SAFETY ASSESSMENT OF THE RADAR METHOD FOR REMOTE MONITORING OF HUMAN HEART RATE

Yu.I. Dolmatov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, dolmatovu123@xmail.ru*

The summary. The article discusses the principles of the radar method for remote monitoring of human heart rate, its advantages and disadvantages. An assessment of the safety of the application was carried out taking into account Russian sanitary and hygienic standards. Calculations of the energy flux density at various distances and with varying power of radiating antennas are given. It is shown that the AWR1642boost radar meets the safety requirements while observing the recommended parameters. The main conclusions include the need to maintain a safe distance and limit the power of the transmitter to minimize the effects of electromagnetic radiation on humans.

Keywords: radar method, safety, energy flow density, heart rate.

Радиолокационные методы дистанционного мониторинга здоровья становятся все более востребованными благодаря своей бесконтактности и универсальности. Однако их применение требует строгого соблюдения норм безопасности, особенно в части электромагнитного излучения. В России безопасность таких устройств регулируется санитарно-гигиеническими нормативами, установленными в рамках СанПиН (санитарные правила и нормы). В данной статье рассматриваются принципы работы радиолокационных систем, их преимущества, недостатки, оценка безопасности с учетом российских стандартов, а также приведены расчеты плотности потока энергии на различных расстояниях и при изменении мощности излучающих антенн.

Принцип работы радиолокационного мониторинга

Радиолокационные системы для мониторинга сердечного ритма человека используют электромагнитные волны миллиметрового диапазона. Эти волны излучаются антенной, отражаются от тела человека и возвращаются к приемнику. Микродвижения грудной клетки, вызванные сердцебиением и дыханием, модулируют отраженный сигнал, что позволяет извлекать информацию о ЧСС и частоте дыхания.

Используемый радар AWR1642, работает в миллиметровом диапазоне (76–81 ГГц) и имеет максимальную мощность передатчика до 12 дБм на одну антенну [1].

Преимущества радиолокационного метода

1. Бесконтактность. Нет необходимости в физическом контакте с пациентом, что снижает риск инфицирования и повышает комфорт.
2. Универсальность. Может использоваться в различных условиях, включая домашние, клинические и экстремальные среды.
3. Высокая точность. Современные алгоритмы обработки сигналов обеспечивают точное измерение жизненно важных показателей.

Недостатки радиолокационного метода

1. Ограниченная точность при движении. Метод чувствителен к движениям пациента. Активные движения могут исказить сигнал и снизить точность измерений.
2. Зависимость от расстояния и ориентации. Точность снижается с увеличением расстояния между пациентом и радаром, а также при изменении ориентации тела.
3. Потенциальные риски для здоровья. Несмотря на низкую мощность излучения, длительное воздействие может вызывать беспокойство у пациентов.

Оценка безопасности

В России безопасность электромагнитного излучения регулируется таким документом как СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96: «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)». Основные параметры безопасности включают:

1. Плотность потока энергии (ППЭ). Согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96, предельно допустимая ППЭ для частот 30–300 ГГц составляет 10 мкВт/см² для населения и 100 мкВт/см² для профессионального воздействия [2].
2. Мощность излучения. Современные радиолокационные системы используют низкую мощность излучения (порядка 10–12 дБм на антенну). Это соответствует требованиям стандартов при условии соблюдения безопасного расстояния.
3. Частота излучения. Работа в миллиметровом диапазоне обеспечивает минимальное проникновение излучения в ткани человека. Энергия волн поглощается преимущественно поверхностными слоями кожи, что снижает риск воздействия на внутренние органы.
4. Длительность воздействия. Радиолокационные системы работают в импульсном режиме, что минимизирует время воздействия на человека. Суммарная доза излучения остается в безопасных пределах при соблюдении нормативов.

Расчет плотности потока энергии на различных расстояниях

Плотность потока энергии S на расстоянии R от антенны рассчитывается по формуле 1:

$$S = \frac{Pt}{4\pi R^2} \quad 1)$$

где: Pt - мощность передатчика (в мВт);

R - расстояние от антенны до точки измерения (в см).

В таблице 1 приведены рассчитанные значения ППЭ на расстоянии от 10 до 30 см с шагом 5 см.

Таблица 1. Плотности потока энергии в зависимости от расстояния

Расстояние (см)	Плотность потока энергии (мкВт/см ²)
10	25.23
15	11.21
20	6.31
25	4.04
30	2.80

Расчет плотности потока энергии при изменении мощности передатчика

Мощность передатчика (Pt) может варьироваться от 0 дБм до 12 дБм. Для двух антенн общая мощность увеличивается в 2 раза (в линейных единицах).

В таблице 2 приведены рассчитанные значения ППЭ на расстоянии 10 см.

Таблица 2. Зависимость ППЭ от мощности излучающих антенн

Мощность передатчика (дБм)	Мощность передатчика (мВт, две антенны)	Плотность потока энергии (мкВт/см ²)
0	2.0	1.59
2	3.2	2.55
4	5.0	3.97
6	8.0	6.37
8	12.6	10.03
10	20.0	15.92
12	31.7	25.23

Зависимость плотности потока энергии от расстояния

При использовании радара AWR1642 на расстоянии 10 см и максимальной мощности передатчика (12 дБм) плотность потока энергии (ППЭ) составляет 25.23 мкВт/см². Это значение превышает предельно допустимую норму для населения (10 мкВт/см²), установленную СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Однако для профессионального воздействия (предел 100 мкВт/см²) данное значение остается в допустимых пределах.

На расстоянии 15 см и более ППЭ снижается до значений, которые соответствуют нормам как для населения, так и для профессионального использования. Например, на расстоянии 15 см ППЭ составляет 11.21 мкВт/см², что близко к пределу для населения, а на расстоянии 20 см и более ППЭ не превышает 6.31 мкВт/см². Таким образом, для обеспечения безопасности необходимо использовать устройство на расстоянии не менее 15 см от человека, чтобы ППЭ оставалась в пределах норм для населения.

Зависимость ППЭ от мощности передатчика

Увеличение мощности передатчика приводит к росту ППЭ. Для минимизации воздействия электромагнитного излучения необходимо ограничивать мощность передатчика. Например, при мощности 10-12 дБм имеется превышение нормативных значений по ППЭ, а вот при мощности 8 дБм и расстоянии 10 см ППЭ составляет 10.03 мкВт/см², что близко к пределу для населения.

В условиях профессионального использования (где допустимая ППЭ составляет 100 мкВт/см²) устройство может применяться на максимальной мощности при расстоянии 10 см.

Радиолокационный метод дистанционного мониторинга ритма человека является перспективным инструментом, но его применение требует строгого соблюдения санитарно-гигиенических нормативов. При использовании радара AWR1642 на расстоянии 10 см и максимальной мощности передатчика (12 дБм) плотность потока энергии (ППЭ) превышает допустимые нормы для населения (10 мкВт/см²), но остается в пределах норм для профессионального использования (100 мкВт/см²). Для обеспечения безопасности необходимо увеличить расстояние между устройством и человеком до 20 см и более или ограничить мощность передатчика до 8 дБм при использовании на расстоянии 10 см. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию мощности излучения, что позволит расширить область применения этой технологии, обеспечивая безопасность и комфорт для пользователей.

Библиографический список

1. Texas Instruments. AWR1642 Radar Sensor Datasheet. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1045389/TI1/AWR1642.html>
2. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). – М.: Минздрав России, 1996. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001537>

УДК 621.372.542; ГРНТИ 47.05.17

ПЛИС И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Н.О. Кудимов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kudimov.edu@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются ПЛИС. Приводится их краткое описание и основные преимущества в сравнении с микропроцессорами. На примере конкретной ПЛИС, выбранной для работы, рассматриваются наиболее важные составные части: АЦП, DDC, JESD204B. Далее приводится их краткое описание. Рассматривается структурная схема планируемого проекта с реализацией некоторых ее частей.

Ключевые слова: ПЛИС, DDC, ЦОС.

FPGAS AND THEIR APPLICATION TO IMPLEMENT A DIGITAL SIGNAL PROCESSING SYSTEM

N.O. Kudimov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, kudimov.edu@yandex.ru*

Abstract. The paper considers the FPGA. The main features, advantages in comparison with microprocessors are presented. Using the example of a specific FPGA selected for operation, the most important components are considered: ADC, DDC, JESD204B. The following is a brief description of them. The structural scheme of the project with the implementation of some of its parts is considered.

Keywords: FPGA, DDC, DSP.

ПЛИС — это программируемые логические интегральные схемы, предназначенные для реализации сложных цифровых устройств. Их основным конкурентом являются микроконтроллеры, которые часто используются для выполнения тех же задач. Однако в последнее время именно ПЛИС пользуются большей популярностью среди разработчиков, и на это есть свои причины.

Например, можно выделить факт, что почти единственным и самым важным ограничением работы ПЛИС является тактовая частота. У каждого такого устройства есть некоторое пороговое значение частоты, на которой оно может функционировать. При этом важно отметить, что работа системы совсем необязательно должна осуществляться только на предельном значении. Тактовая частота, формируемая внешним генератором или синтезированной как часть проекта, может принимать любые разрешенные значения.

Дополнительно к особенностям ПЛИС можно отнести гибкость конфигурации системы. Проектирование может производиться несколькими путями.

Первым вариантом является абстрагирование от внутреннего устройства микросхемы и описание желаемой логики работы. Здесь так же можно выделить два разных подхода. Первый заключается в текстовом описании логики с помощью языков Verilog и VHDL. Вторым состоит в использовании готовых примитивов в виде схемы. Компилятор, зная внутреннее устройство ПЛИС, адаптирует требуемую схему по имеющимся конфигурируемым ло-

гическим блокам и соединяет эти блоки с помощью имеющихся программируемых электронных связей.

Вторым вариантом является самостоятельное соединение логических элементов ПЛИС. Таким образом, архитектура ПЛИС возникает не при изготовлении, а задается самим разработчиком (с помощью соединения элементарных блоков между собой).

Характеристика используемого модуля

Модуль FMC133V, изготовленный компанией Instrumental Systems, предназначен для создания систем сбора и цифровой обработки информации. В комплект поставки также входят несколько вспомогательных модулей, необходимых для его работы. Важной частью является мезонинный модуль FM214x1GTRF, который выполняет задачи приемника и формирователя широкополосных высокочастотных аналоговых сигналов [1]. На рисунке 1 представлен несущий модуль совместно с мезонинным.

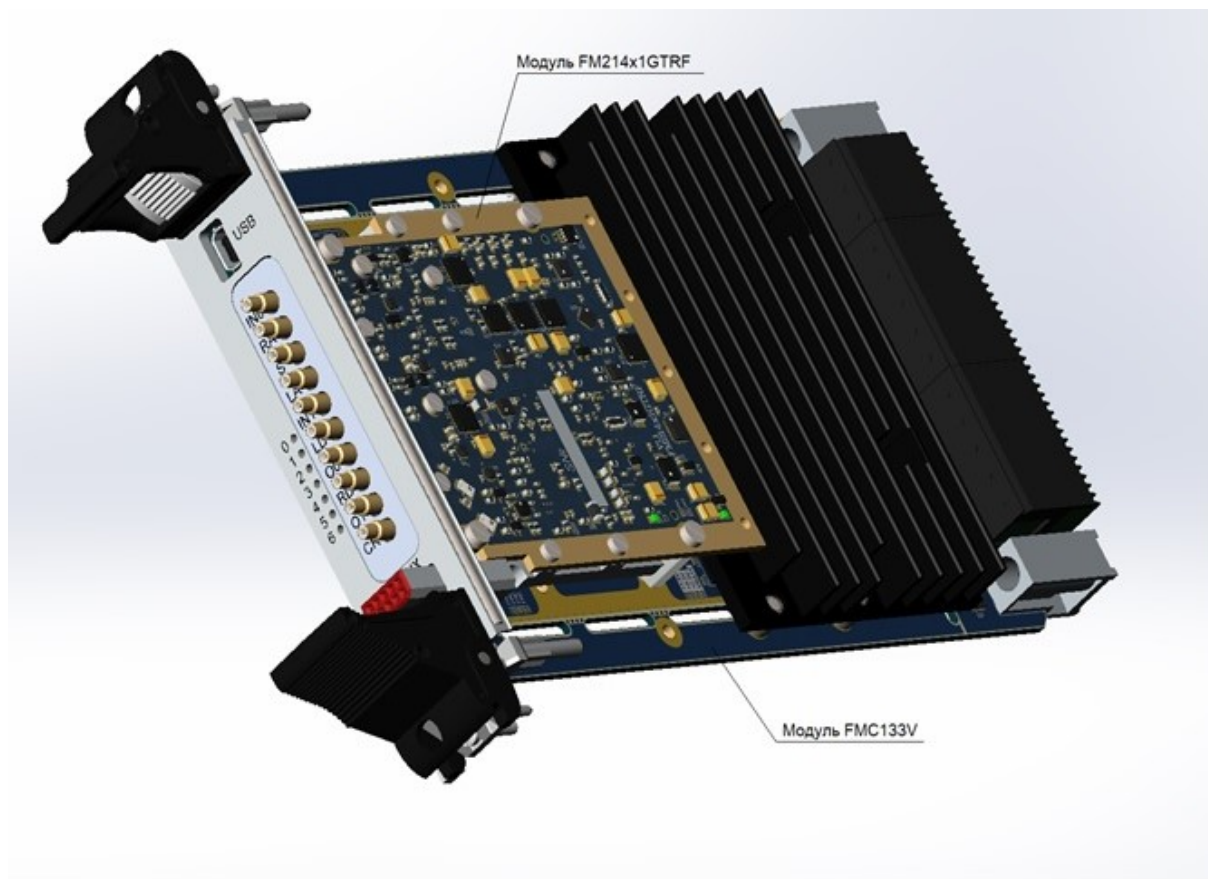


Рис. 1. Модуль FMC133V совместно с FM214x1GTRF

Важными частями мезонинного модуля являются АЦП, DDC и интерфейс передачи данных JESD204B.

Описание используемой микросхемы AD9680

АЦП AD9680 имеет два входных аналоговых 14 разрядных канала и 4 выходных пары линий интерфейса JESD204B. Оно спроектировано с возможностью преобразования широкополосных аналоговых сигналов частотой до 2 ГГц, а для конвертации входного сигнала в цифровой вид используется алгоритм последовательного приближения [2].

DDC (Digital Down Converter) — это устройство, в задачи которого входит фильтрация, децимация сигнала, а так же перенос сигнала на нулевую частоту. Принцип его работы может быть проиллюстрирован в три этапа. Первый представлен на рисунке 2.

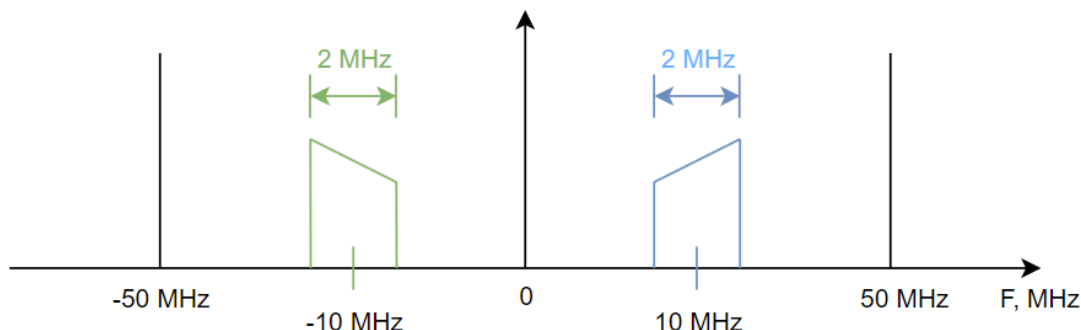


Рис. 2. Входной сигнал и его параметры

Здесь отображены параметры сигнала, а именно несущая частота 10 МГц, ширина — 2 МГц и частота дискретизации, равная 100 МГц.

Для переноса спектра на нулевую частоту формируются сигналы синуса и косинуса с частотой, равной несущей частоте сигнала. В результате их взаимодействия с исходным сигналом получают суммарные (20 МГц) и разностные (0 МГц) частоты. Пример переноса спектра представлен на рисунке 3.

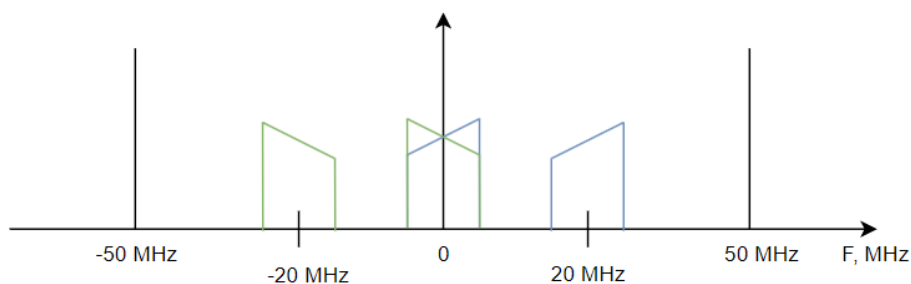


Рис. 3. Перенос спектра на нулевую частоту

На завершающем этапе происходит фильтрация таким образом, чтобы спектр сигнала в области НЧ пропускался без искажений, а его копии значительно подавлялись. Результат этого процесса отображен на рисунке 4.

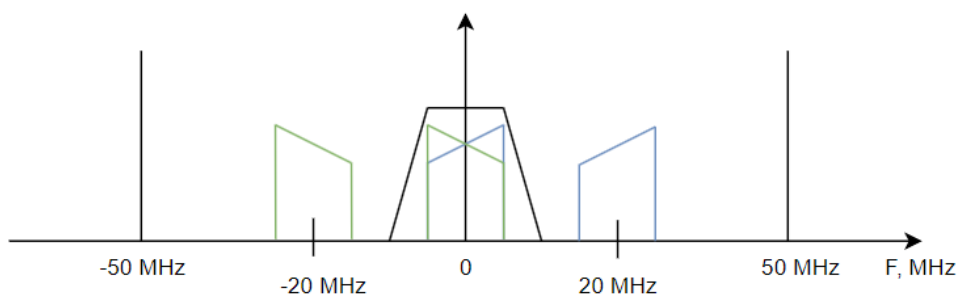


Рис. 4. Применение фильтра в DDC

Интерфейс JESD204В используется для передачи данных. Он способен обеспечить высокие скорости, а именно от 3.125 Гбит/с до 12.5 Гбит/с. В этой спецификации обеспечение синхронизации выполняется для каждого устройства по отдельности. Пример, иллюстрирующий JESD204В, приведен на рисунке 5.

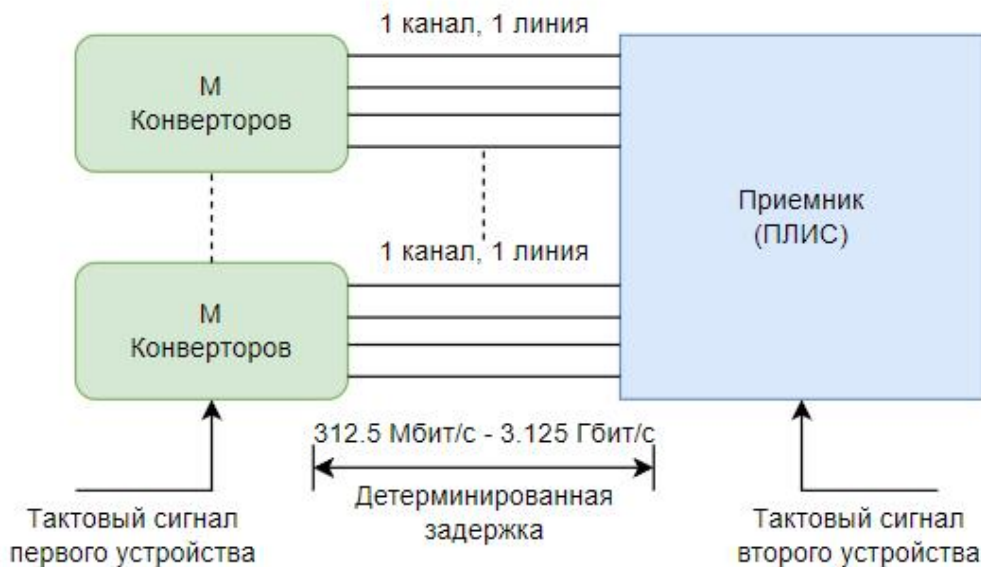


Рис. 5. Описание интерфейса JESD204В

Описание структуры проекта и реализация блоков

Цифровая обработка будет заключаться в реализации алгоритма БПФ. Для этого преобразования требуется выполнить несколько этапов. Первым является применение функции взвешивания. Вторым — использование IP-ядра БПФ из библиотеки Vivado Web. Третьим — преобразование комплексных отсчетов в спектральные.

Кроме модулей ЦОС будут добавлены дополнительные модули пред и пост обработки. Потребность в этих модулях объясняется структурой передаваемых данных. Таким образом, можно выделить три этапа проектирования:

- 1) предобработка,
- 2) постобработка,
- 3) цифровая обработка.

На рисунке 6 представлена структурная схема обработки сигналов, которую планируется реализовать.

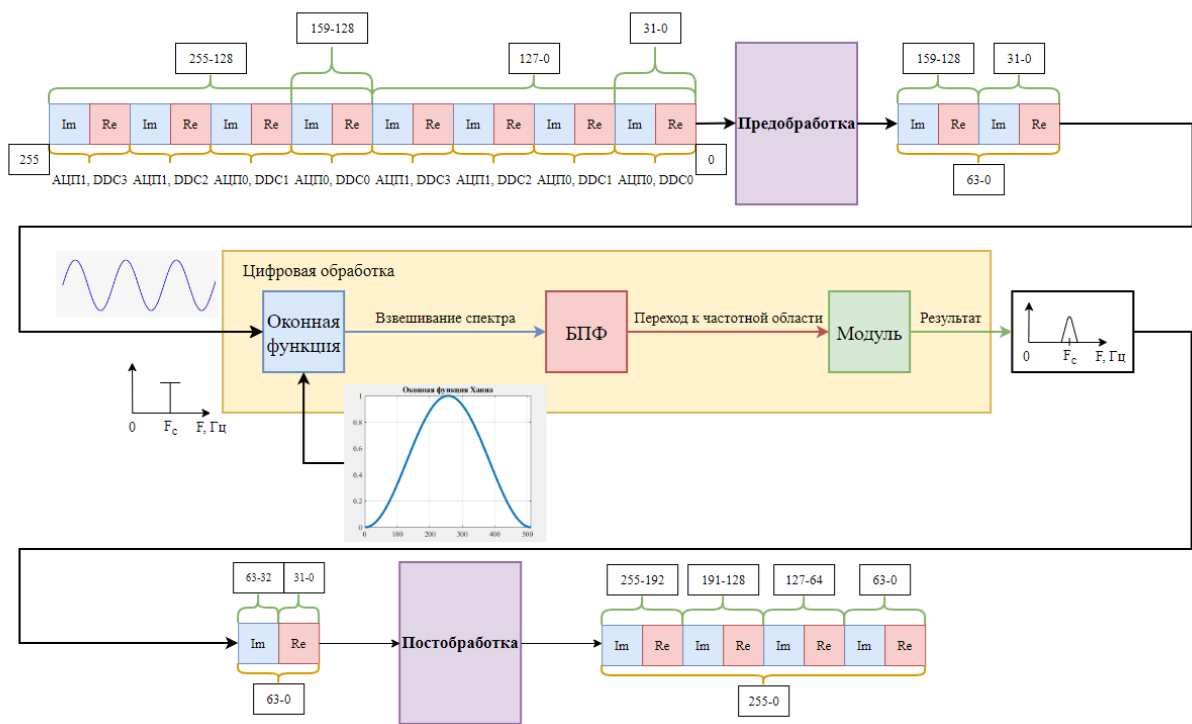


Рис. 6. Схема реализации цифровой обработки сигналов

На данный момент реализованы две части из трех. Первая — модуль предобработки, который выполняет извлечение полезных данных из всей приходящей информации. Вторая — модуль постобработки. Его назначение заключается в формировании 256 разрядного формата сообщения, который поддерживается системой. На рисунке 7 можно наблюдать моделирование работы модуля предобработки, а на рисунке 8 — модуля постобработки.

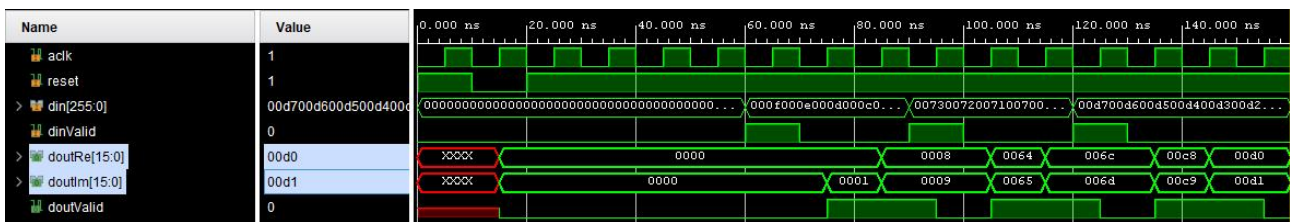


Рис. 7. Моделирование работы модуля предобработки

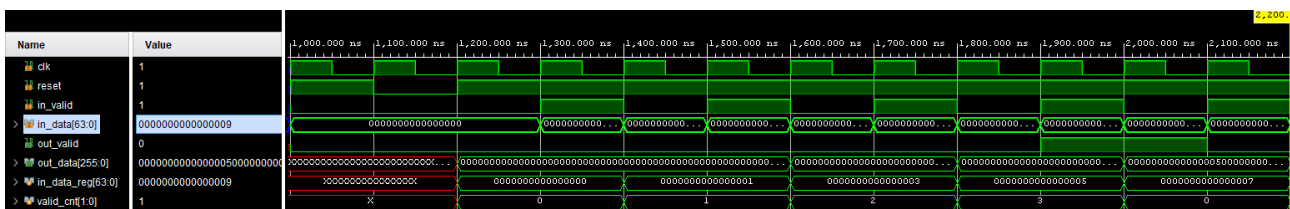


Рис. 8. Моделирование работы модуля постобработки

В результате получается система, которая пропускает входной сигнал на выход без изменений и искажений. На рисунке 9 отображен входной сигнал, а на рисунке 10 — выходной.

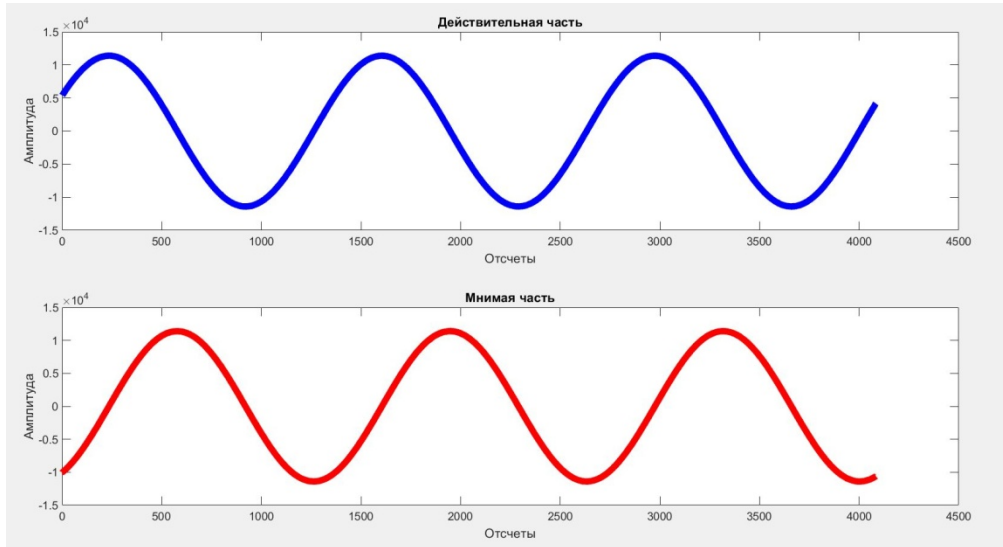


Рис. 9. Входной сигнал

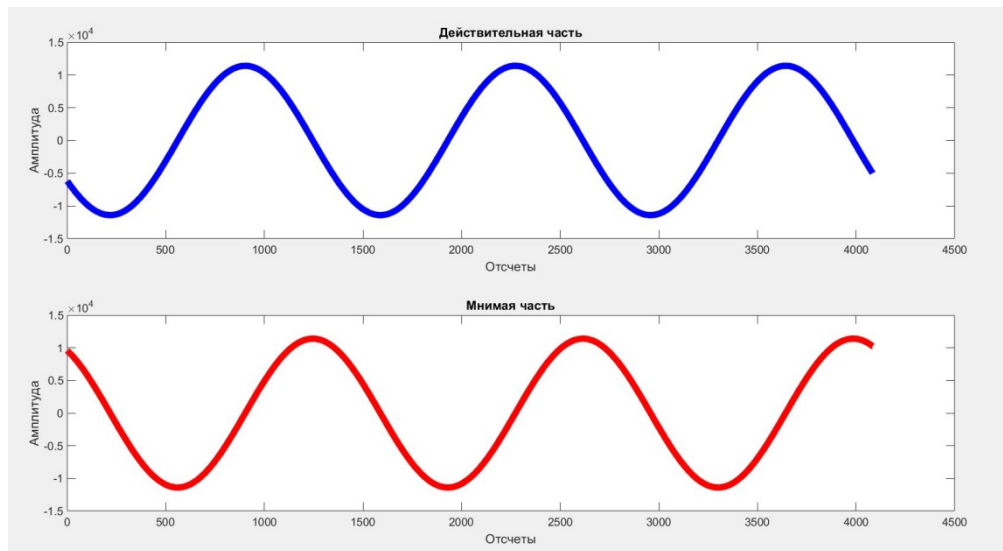


Рис. 10. Выходной сигнал

Результат получился одинаковым, а значит можно судить о корректности работы спроектированных модулей. В дальнейшем планируется добавление модулей цифровой обработки и анализ получившихся результатов.

Библиографический список

1. Instrumental Systems Модуль FMC133V скую.467144.105рэ, 99 с.
2. Analog Devices AD9780 / Analog Devices [Электронный ресурс]. – 2015. — Режим доступа: <https://www.micro-semiconductor.com/datasheet/84-AD9680BCPZ-1250.pdf>. – Дата доступа: 29.01.2025.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.05.09

СРАВНЕНИЕ КРИВЫХ ЗАВИСИМОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ БИТОВОЙ ОШИБКИ ОТ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ-ШУМ КОДОВ ХЭММИНГА И ОСНОВАННЫХ НА НИХ КОДОВ РИДА-МАЛЛЕРА

А.А. Захаркин, А.А. Овинников

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, zakharkin_anton@mail.ru

Аннотация. В работе приводится сравнение кривых помехоустойчивости ряда кодов Хэмминга и расширенных кодов Хэмминга, являющихся кодами Рида-Маллера. Приведен краткий обзор последних кодов, а также приведены выводы по работе.

Ключевые слова: код Хэмминга, код Рида-Маллера, помехоустойчивое кодирование (FEC).

COMPARISON OF THE CURVES OF THE DEPENDENCE OF THE PROBABILITY OF BIT ERROR ON THE SIGNAL-TO-NOISE RATIO OF HAMMING CODES AND REED-MULLER CODES BASED ON THEM

A.A. Zakharkin, A.A. Ovinnikov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, zakharkin_anton@mail.ru

The summary. The paper presents a comparison of the noise immunity curves of a number of Hemming codes and extended Hemming codes, which are Reed-Muller codes. A brief description of the latest codes is provided, as well as conclusions on the work.

Keywords: Hamming Code, Reed-Muller Code, Forward-Error coding (FEC).

Как отмечалось в [1], некоторое подсемейство кодов Рида-Маллера, отвечающее параметрам $\{r=m-2, m, n=2^{2^m}, k=2^m-m-1, d=4\}$, можно получить путём расширения кода Хэмминга. Например, (7,4)-код Хэмминга с параметрами $\{n=7, k=4, d=3\}$ (1) можно расширить до (8,4)-кода Рида-Маллера с параметрами $\{n=8, k=4, d=4\}$ (2):

$$H_{\text{Ham}3 \times 7}^{7,4 \text{ sys}} = (P_{3 \times 4}^T \quad I_{3 \times 3}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

$$G_{\text{RM}4 \times 8}^{1,3} = H_{\text{Ham}4 \times 8}^{7,4 \text{ sys}^*} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

После приведения обеих матриц к систематической форме (3) можно сравнить их кривые зависимости вероятности битовой ошибки от отношения сигнал-шум (рис. 1):

$$G_{\text{RM}4 \times 8}^{1,3 \text{ sys}} = \begin{pmatrix} i_1 + i_2 + i_3 + i_4 \bmod 2 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

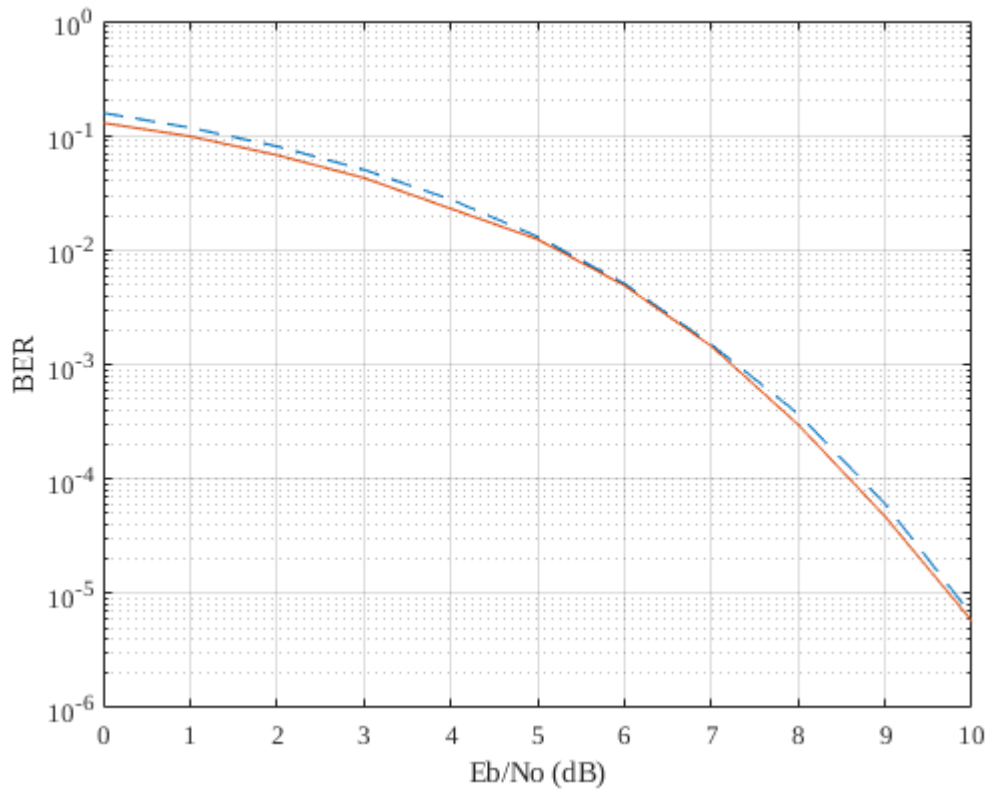


Рис. 1. Кривые зависимости битовой ошибки от отношения сигнал-шум для расширенного (8,4)-кода Хэмминга и (8,4)-кода Рида-Маллера. Сплошная линия – код Рида-Маллера, пунктирная – код Хэмминга

Отличие декодирования кодов Рида-Маллера от декодирования кодов Хэмминга заключается в том, что первые коды декодируются *мажоритарным алгоритмом*. Особенностью данного декодирования является наличие избыточной корректирующей способности, когда декодер способен исправлять большее количество ошибок, чем это гарантируется минимальным кодовым расстоянием. Эта особенность обеспечивается благодаря *итеративному декодированию*, когда одна и та же последовательность бит проходит через декодер несколько раз, и во время каждого прохождения последовательности бит декодер исправляет новые ошибки, не замеченные им ранее [2].

Покажем зависимости битовой ошибки от отношения сигнал-шум для других кодов из этого же семейства. Для иллюстрирования возьмём (16, 11)-код Рида-Маллера, полученный из (15, 11)-кода Хэмминга (рис. 2):

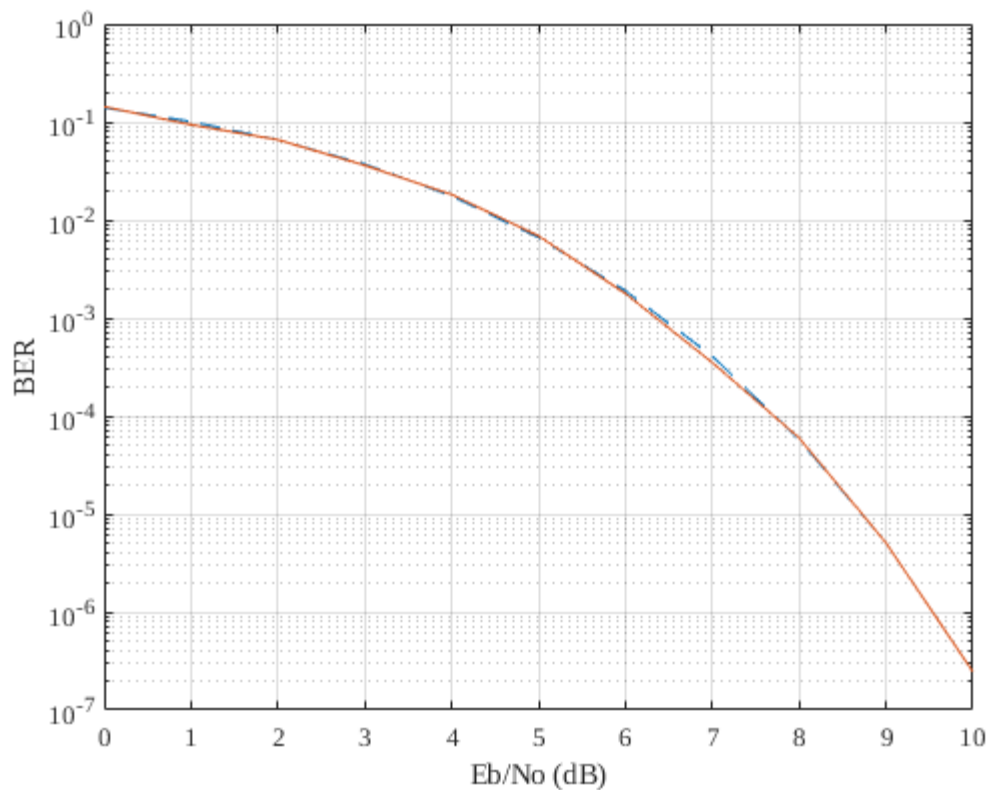


Рис. 2. Кривые зависимости битовой ошибки от отношения сигнал-шум для расширенного (16,11)-кода Хэмминга и (16,11)-кода Рида-Маллера. Сплошная линия – код Рида-Маллера, пунктирная – код Хэмминга

Также приведём сравнительный график всех вышеуказанных кодов Хэмминга и основанных на них кодах Рида-Маллера (рис. 3):

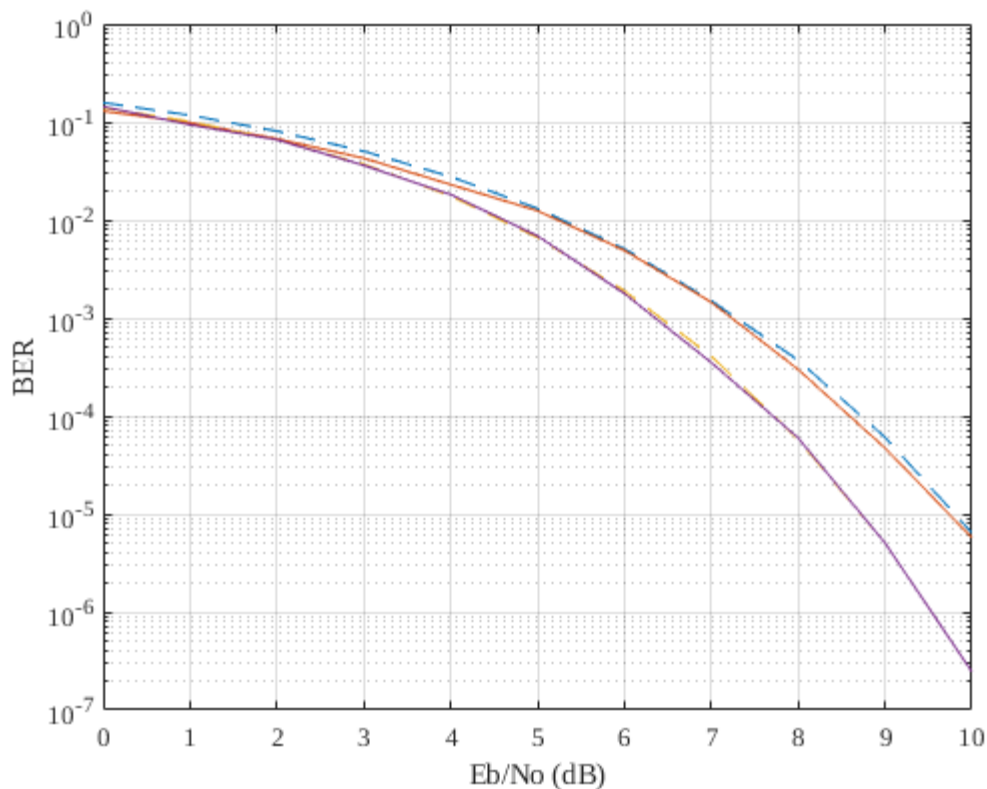


Рис. 3. Кривые зависимости битовой ошибки от отношения сигнал-шум. Сплошные линии – коды Рида-Маллера, пунктирные – коды Хэмминга. Наиболее быстроспадающие – (16,11)-коды, менее – (8,4)-коды

Основываясь на одинаковости кривых помехоустойчивости двух кодов, можно сделать вывод, что несмотря на разные способы декодирования и разные способы формирования [3], подсемейство кодов Рида-Маллера с параметрами, указанными в начале статьи, и семейство расширенных кодов Хэмминга являются собой одно и то же, иначе говоря, расширенные коды Хэмминга являются одним из классов, вложенных в коды Рида-Маллера.

Библиографический список

1. Захаркин А.А., Овинников А.А. Методика получения кодов Рида-Маллера путём расширения кодов Хэмминга. – Современные технологии в науке и образовании №3/2024.
2. Золотарёв В.В. Оптимальные алгоритмы декодирования Золотарёва – Москва: Горячая линия – Телеком, 2021. – 268 с.
3. Р. Морелос-Сарагоса. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. – Москва: Техносфера, 2006. – 320 с.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ РЕАЛИЗАЦИИ ДЕКОДЕРА ВИТЕРБИ ДЛЯ БЧХ КОДОВ НА ПЛИС

Н.С. Виноградов, А.А. Овинников

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, nikita-vinogradov11@rambler.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются подходы реализации декодера Витерби для БЧХ кодов. Рассматриваются различные способы восстановления наиболее правдоподобного кодового слова. Приводится схема декодера Витерби для реализации на ПЛИС.

Ключевые слова: коды Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ), программируемые логических интегральные схемы (ПЛИС), декодер Витерби, решетка кода, диаграмма перехода состояний.

RESEARCH TO METHODS IMPLEMENT THE VITERBI DECODER FOR BCH CODES ON FPGA

N.S. Vinogradov, A.A. Ovinnikov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, nikita-vinogradov11@rambler.ru*

The summary. The paper considers approaches to the implementation of the Viterbi decoder for BCH codes. Various ways of reconstructing the most plausible codeword are being considered. The scheme of the Viterbi decoder for implementation on FPGAs is given.

Keywords: Bose-Chowdhury-Hockingham codes, programmable logic integrated circuits (FPGA), Viterbi decoder, code's trellis, state transition diagram.

Для декодирования БЧХ кодов, как правило, используются алгоритмы Берлекэмп-Мэсси [1], [2] и Евклида [3]. Данные алгоритмы предполагают использование жестких метрик на входе декодера и не могут быть адаптированы для декодирования по мягким метрикам. Одной из основных задач при декодировании БЧХ кодов является разработка быстрых и эффективных способов декодирования по мягким метрикам для достижения максимального правдоподобия (ML - maximum-likelihood).

Для декодирования по ML для сверточных кодов используется алгоритм Витерби [4]. Декодирование по алгоритму Витерби основано на построении решетки кода и поиску пути с наименьшим весом для принятой кодовой последовательности. В [5] рассмотрены способы построения решеток для блочных кодов, что позволяет использовать алгоритм Витерби для декодирования БЧХ кодов. В текущей работе будут рассмотрены способы и особенности реализации блочного декодера Витерби для декодирования БЧХ кодов на ПЛИС.

Основной сложность при декодировании по алгоритму Витерби для блочных кодов является процесс построения минимальной решетки кода. Минимальной называется та решетка, в которой содержится минимально возможное количество узлов. В [5] предложены способы построения минимальной решетки для блочных кодов по генераторной и проверочной матрицам.

В работе [6] описывается способ реализации декодера Витерби на ПЛИС для блочных и сверточных кодов с использованием диаграммы перехода состояний. Данный подход предполагает, что при обработке текущего состояния можно рассчитать номера последующих состояний (при переходе по 0 и 1) с использованием генераторного полинома кода. Пример диаграммы перехода состояний для кода БЧХ (7,4,3) изображен на рисунке 1. Такой подход позволяет реализовать на ПЛИС декодер Витерби без предварительного расчета решетки кода, что, однако потребует дополнительных аппаратных ресурсов.

Также в статье [6] предлагается реализация параллельного декодера Витерби. Это достигается за счет реализации ядер декодера, каждое из которых обрабатывает свой набор состояний (узлов) за каждый такт. Максимальное возможное число ядер равно 2^P , где P – длина проверочной части. При максимальном количестве ядер возможна работа с поступлением входных данных на каждом периоде тактового сигнала.

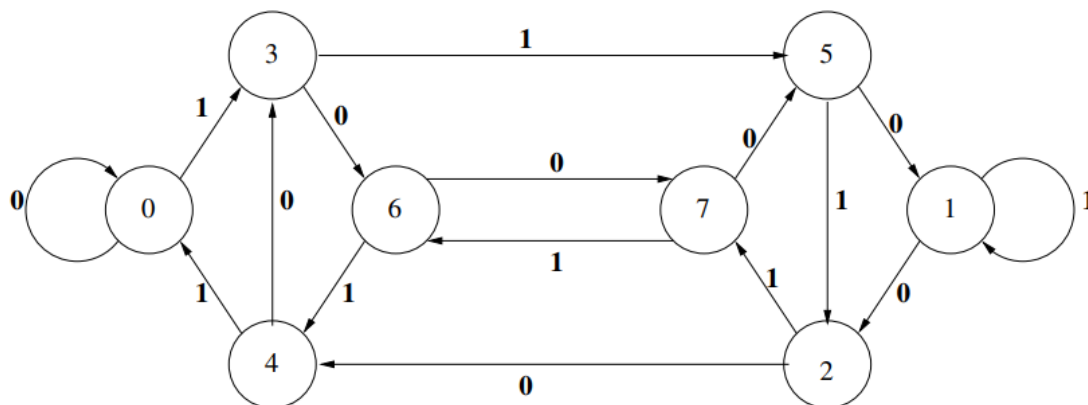


Рис. 1. Диаграмма перехода состояний для кода БЧХ (7,4,3)

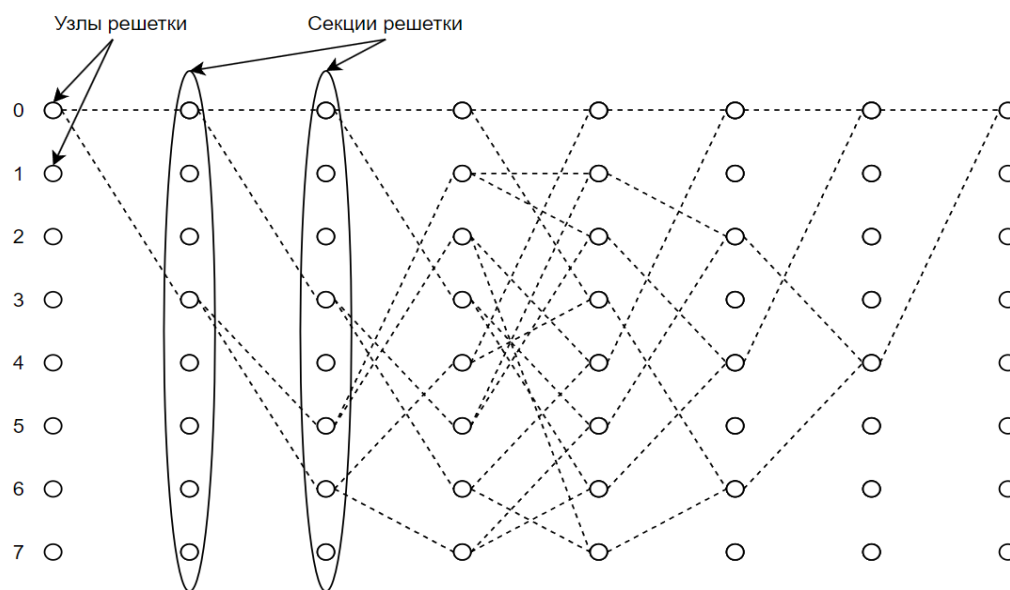


Рис. 2. Решетка кода БЧХ (7,4,3)

На рисунке 2 представлена решетка кода БЧХ (7,4,3), построенная с помощью диаграммы перехода состояний на рисунке 1. В решетке кода выделяют узлы решетки, секции и пути перехода состояний. Из каждого узла идет два пути, которые соответствуют переходу по 0 и 1. Также в каждый узел входит два пути (при переходе по 0 и по 1).

При декодировании по алгоритму Витерби определяют две основные операции: прямой проход (forward) и обратный проход (traceback) по решетке. Прямой проход необходим для обработки входного кодового слова и расчета метрик узлов решетки. Обратный проход необходим для восстановления наиболее правдоподобного кодового слова. Правдоподобность кодового слова определяется по весу Хэмминга (жесткий декодер) или, например, по Евклидову расстоянию (мягкий декодер). В частности, для выбора кодового слова может быть использована любая метрика, которая характеризует его расстояние от принятого кодового слова из канала.

В работе [7] рассматривается два способа реализации восстановления “наилучшего” выходного кодового слова: с помощью обратного прохода (traceback) и путем сохранения на каждом этапе расчёта “наилучшего” кодового слова для каждого узла решетки. Первый способ требует дополнительные временные затраты для обратного прохода, а также хранения весов узлов и указателей на предыдущие узлы. Второй способ требует перекопирования (замены) на каждом этапе обработки “наилучших” кодовых слов для каждого обрабатываемого узла при выборе “наилучшего” пути. С точки зрения реализации на ПЛИС, первый способ является более удобным, так как будет требовать значительно меньше мультиплексоров, особенно при увеличении длины кодового слова.

На рисунке 3 представлена схема декодера Витерби, которая может быть использована при реализации алгоритма на ПЛИС. Память используется для хранения входного кодового слова, весов всех узлов на каждой стадии и указателей на прошлый узлы.

Память используется для хранения входного кодового слова, весов всех узлов на каждой стадии и указателей на прошлый узлы. Также необходима память для весов текущих состояний (регистры весов узлов), так как ядра работают с последними рассчитанными значениями весов. К алгоритмическим модулям относятся: ядра расчета, блок подачи весов на ядра и модуль обратного прохода.

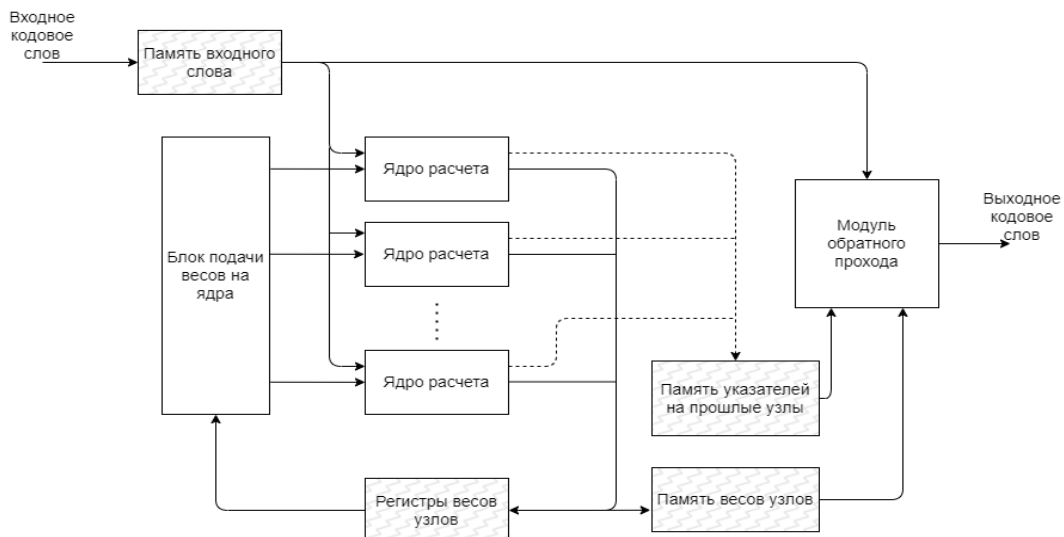


Рис. 3 – Схема декодера Витерби для реализации на ПЛИС

Ядра расчета реализуются в соответствии со статьей [6]. В ядре происходит расчет новых весов и выбор наиболее достоверного пути. От количества ядер зависит скорость работы декодера. Блок подачи весов на ядра реализует подачу на каждое ядро весов по двум

путям (в случае перехода по 0 и 1). Модуль обратного прохода отвечает за расчет наиболее правдоподобного кодового слова.

Был разработан декодер Витерби в соответствии со статьей [6] и схемой на рисунке 3 на Matlab. На рисунках 3-4 представлены результаты моделирования для двух кодов БЧХ (31,26,3) и (63,57,3).

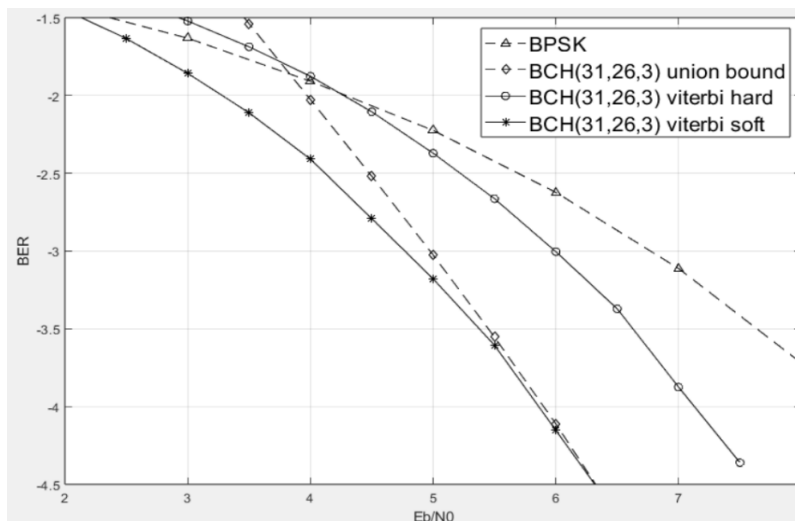


Рис. 4. Результаты моделирования БЧХ (31,26,3)

Для моделирования использовалась модуляция BPSK и канал с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ). Для сравнения также представлены графики вероятности битовой ошибки (BER – bit error rate) для BPSK и нижняя граница кода (union bound), построенная по весовому спектру. Как видно на рисунках, оба кода при использовании мягкого декодера Витерби достигают нижней границы. Выигрыш мягкого декодера по сравнению с жестким составляет для обоих кодов порядка 1 дБ. Стоит учитывать, что мягкие метрики использовались в формате double. При реализации на ПЛИС, для экономии ресурсов, целесообразно использовать тип данных с фиксированной точкой, что скорее всего уменьшит выигрыш от использования мягкого декодера Витерби.

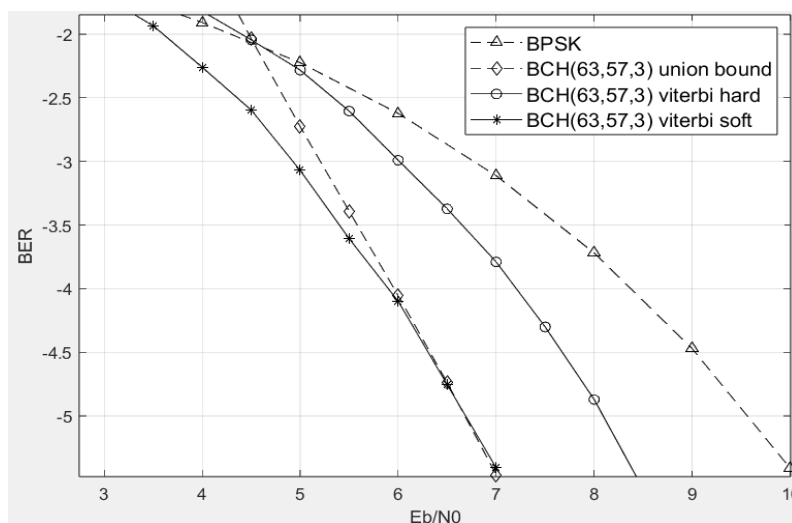


Рис. 5. Результаты моделирования БЧХ (63,57,3)

Стоит отметить, что схема на рисунке 3 аналогична для реализации как жесткого, так и мягкого декодеров Витерби. Отличие будет только в том, что разрядность весов узлов, а также входных метрик из канала будет больше для мягкого декодера.

В соответствии с рассмотренными работами, а также результатами моделирования, можно сделать вывод, что реализация мягкого декодера Витерби для БЧХ кодов является актуальной задачей, позволяющей достичь декодирования по ML. В дальнейшем будут оценены потери от изменения формата мягких метрик с double на фиксированную точку. В итоге планируется реализовать эффективный алгоритм Витерби для декодирования БЧХ кодов на ПЛИС. За основу будет взята схема на рисунке 3.

Также интересным направлением является исследование реализации списочного декодера Витерби. Так, в статье [8] предлагается использовать последовательный списочный декодер Витерби для БЧХ кодов, путем разбиения генераторного полинома кода на полином сверточного кода и полином CRC. Такой подход позволит уменьшить аппаратные ресурсы, требуемые на реализацию декодера Витерби на ПЛИС, однако потребует дополнительных временных затрат. Как вариант решения этой проблемы, возможно использование параллельного списочного декодера Витерби [9].

Библиографический список

1. E. R. Berlekamp, Algebraic Coding Theory., 1968.
2. J. Massey, Shift-register synthesis and BCH decoding, 1969, doi:10.1109/tit.1969.1054260
3. Y. Sugiyama, M. Kasahara, S. Hirasawa, and T. Namekawa, "A method for solving key equation for decoding goppa codes," Information and Control, vol. 27, no. 1, pp. 87–99, January 1975.
4. A.J. Viterbi. Error bounds for convolution codes and an asymptotically optimum decoding algorithm, 1967, doi: 10.1109/TIT.1967.1054010
5. Кудряшов Б. Д. Основы теории кодирования: учеб. пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2016.
6. J.S.Reeve and K. Amarasinghe. A FPGA Implementation of a Parallel Viterbi Decoder for Block Cyclic and Convolution Codes, 2004, doi:10.1109/ICC.2004.1313001
7. S. Nema, V. Suresh Babu. FPGA implementation of Viterbi decoder, 2007
8. Yang, Hengjie; Liang, Ethan; Yao, Hanwen; Vardy, Alexander; Divsalar, Dariush; Wesel, Richard D. A List-Decoding Approach to Low-Complexity Soft Maximum-Likelihood Decoding of Cyclic Codes., 2019, doi:10.1109/GLOBECOM38437.2019.9014092
9. Seshadri, N.; Sundberg, C.-E.W. List Viterbi decoding algorithms with applications., 1994, doi:10.1109/tcomm.1994.577040 УДК 621.398; ГРНТИ 47.49

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДУЛЯ AWR1642BOOST ДЛЯ АНАЛИЗА ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Р.О. Виклов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, roman.viklov@yandex.ru*

Аннотация. В данной статье рассматривается возможность использования радарного модуля AWR1642boost для неинвазивной оценки variability сердечного ритма (BCP). Представлен протокол эксперимента, включающий выбор параметров зондирования, регистрацию данных и математическую обработку полученных сигналов. Проведен анализ извлеченного сигнала сердечных сокращений с целью оценки пригодности AWR1642boost для мониторинга BCP. Результаты демонстрируют потенциал технологии, а также подчеркивают необходимость дальнейших исследований и оптимизации алгоритмов обработки для повышения точности и надежности измерений.

Ключевые слова: variability сердечного ритма (BCP), параметры радиосигнала радарного модуля AWR1642boost, частота сердечных сокращений (ЧСС).

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF USING THE AWR1642BOOST MODULE TO ANALYZE HEART RATE VARIABILITY

R.O. Viklov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, roman.viklov@yandex.ru*

The summary. This article discusses the possibility of using the AWR1642boost radar module for noninvasive assessment of heart rate variability (HRV). An experimental protocol is presented, including the selection of sensing parameters, data recording, and mathematical processing of the received signals. The extracted heart rate signal was analyzed to assess the suitability of AWR1642boost for HRV monitoring. The results demonstrate the potential of the technology, as well as emphasize the need for further research and optimization of processing algorithms to increase the accuracy and reliability of measurements.

Keywords: heart rate variability (HRV), radio signal parameters of the AWR1642boost radar module, heart rate (HR).

Вариабельность сердечного ритма (BCP) – это физиологическое явление, отражающее изменение интервалов времени между последовательными сердечными сокращениями. BCP является ценным индикатором активности вегетативной нервной системы и общей адаптивности организма к различным стрессорам. Высокая BCP коррелирует с лучшим здоровьем сердечно-сосудистой системы, сниженным уровнем стресса и повышенной адаптацией к физическим нагрузкам. Напротив, низкая BCP часто связана с повышенным риском сердечно-сосудистых заболеваний, хроническим стрессом, депрессией и другими патологическими состояниями [1].

Традиционно, BCP измеряется с помощью электрокардиографии (ЭКГ), требующей непосредственного контакта электродов с кожей. Это может быть неудобно в ситуациях, требующих длительного мониторинга или когда контактный метод невозможен. В связи с этим, разработка неинвазивных и бесконтактных методов измерения BCP представляет собой актуальную задачу.

Целью данной работы является оценка возможности использования радарного модуля AWR1642boost для неинвазивного измерения variability сердечного ритма. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи.

1. Выбор оптимальных параметров зондирования: определение частоты, мощности и других параметров радара, обеспечивающих максимальную чувствительность к микро-движениям грудной клетки, вызванным сердечными сокращениями.

2. Проведение эксперимента: регистрация данных с помощью AWR1642boost в условиях, имитирующих реальные сценарии мониторинга.

3. Разработка алгоритмов математической обработки: создание алгоритмов для извлечения сигнала сердечных сокращений из сырых радарных данных, включающих фильтрацию, удаление шумов и артефактов движения.

4. Анализ извлеченных сигналов: оценка возможности расчета показателей BCP на основе извлеченного сигнала сердечных сокращений, а также сравнение полученных результатов с данными, полученными другими методами (например, фитнес-часы с функцией отслеживания пульса).

В качестве сенсора использовался радарный модуль AWR1642boost от Texas Instruments, работающий в диапазоне 77-81 ГГц. Модуль представляет собой систему на кристалле (SoC), включающую в себя радарный трансивер и процессор. Для управления модулем и сбора данных использовалась отладочная плата DCA1000EVM Evaluation board.

Эксперимент заключался в регистрации радарных данных с AWR1642boost, направленного на грудную клетку испытуемого, находящегося в состоянии покоя. Были выбраны следующие параметры радара, основанные на предварительных тестах:

- центральная частота: 77 ГГц;

- полоса пропускания: 4 ГГц;
- длительность chirpa: 256 отсчетов;
- количество chirпов в фрейме: 128;
- количество передающих антенн: 2;
- количество принимающих антенн: 4;
- количество фреймов: 1536;
- частота повторения chirпов (F_s): $1 / (2 * 160e-6) = 3.1250e+03$ Гц.

Данные записывались в бинарный файл (*.bin) для последующей обработки и анализа. Обработка данных выполнялась в среде MATLAB. Основные этапы обработки вклю-

чали:

1. Чтение данных: чтение сырых данных из бинарного файла (*.bin) и формирование четырехмерной матрицы `radarCube`, представляющей собой отсчеты дальности, chirпы, антенны и фреймы.
2. FFT по дальности: применение быстрого преобразования Фурье (FFT) к данным по дальности для получения информации о расстоянии до грудной клетки.
3. Выделение сигнала Доплера: выбор определенного диапазона дальности (range bin) и формирование сигнала, представляющего изменение фазы во времени, обусловленное микро-движениями грудной клетки.
4. Фильтрация: применение полосового фильтра (ФВЧ и ФНЧ) для выделения частотного диапазона, соответствующего частоте сердечных сокращений (предположительно, от 1 Гц до 4 Гц). Использовался фильтр Чебышева 1-го рода 4-го порядка.
5. Анализ фазы: развертка фазы (`unwrap`) для устранения разрывов и вычисление разности фаз между последовательными отсчетами.

После применения описанных выше алгоритмов обработки, был получен сигнал, представляющий изменение фазы во времени, которое, как предполагается, отражает сердечные сокращения. Далее был проведен частотный анализ полученного сигнала с использованием быстрого преобразования Фурье (FFT) и метода оценки спектральной плотности мощности сигнала (`periodogram`). `Periodogram` обеспечивает более устойчивую оценку спектральной плотности мощности, чем простое FFT. В частности, `Welch's method`, который является разновидностью `periodogram`, разбивает сигнал на перекрывающиеся сегменты, вычисляет `periodogram` для каждого сегмента и усредняет результаты.

Оценка частоты сердечных сокращений производилась путем определения частоты, соответствующей максимальному пику в спектре. Также была предпринята попытка оценки ВСР путем анализа интервалов времени между последовательными пиками в сигнале.

На рисунках 1 и 2 показаны результаты измерений и работы программы. Записанный сигнал разбивается на 10 участков, на каждом из которых производится измерение частоты сердечных сокращений.

```
Command Window
>> d_13022025_10parts_2

partNumber =

    1

Максимальная частота: 1.277 Гц
Частота 1.277 Гц эквивалентна примерно 76.593 ударов в минуту (уд/мин)
Elapsed time is 0.082725 seconds.
>> d_13022025_10parts_2

partNumber =

    2

Максимальная частота: 0.957 Гц
Частота 0.957 Гц эквивалентна примерно 57.445 ударов в минуту (уд/мин)
Elapsed time is 0.077983 seconds.
>> d_13022025_10parts_2

partNumber =

    3

Максимальная частота: 0.957 Гц
Частота 0.957 Гц эквивалентна примерно 57.445 ударов в минуту (уд/мин)
Elapsed time is 0.078696 seconds.
>> d_13022025_10parts_2

partNumber =

    4

Максимальная частота: 2.234 Гц
Частота 2.234 Гц эквивалентна примерно 134.038 ударов в минуту (уд/мин)
Elapsed time is 0.078212 seconds.
>> d_13022025_10parts_2

partNumber =

    5

Максимальная частота: 1.277 Гц
Частота 1.277 Гц эквивалентна примерно 76.593 ударов в минуту (уд/мин)
Elapsed time is 0.076705 seconds.
```

Рис. 1. Результаты работы программы, первые 5 участков

```
Command Window
>> d_13022025_10parts_2

partNumber =

     6

Максимальная частота: 1.277 Гц
Частота 1.277 Гц эквивалентна примерно 76.593 ударов в минуту (уд/мин)
Elapsed time is 0.084292 seconds.
>> d_13022025_10parts_2

partNumber =

     7

Максимальная частота: 1.277 Гц
Частота 1.277 Гц эквивалентна примерно 76.593 ударов в минуту (уд/мин)
Elapsed time is 0.086501 seconds.
>> d_13022025_10parts_2

partNumber =

     8

Максимальная частота: 0.957 Гц
Частота 0.957 Гц эквивалентна примерно 57.445 ударов в минуту (уд/мин)
Elapsed time is 0.082676 seconds.
>> d_13022025_10parts_2

partNumber =

     9

Максимальная частота: 1.596 Гц
Частота 1.596 Гц эквивалентна примерно 95.741 ударов в минуту (уд/мин)
Elapsed time is 0.081086 seconds.
>> d_13022025_10parts_2

partNumber =

    10

Максимальная частота: 1.277 Гц
Частота 1.277 Гц эквивалентна примерно 76.593 ударов в минуту (уд/мин)
Elapsed time is 0.106712 seconds.
```

Рис. 2. Результаты работы программы, вторые 5 участков

Как видно из результатов измерений, частота сердечных сокращений варьировалась от 57 до 134 уд/мин, что свидетельствует о хорошей вариабельности сердечного ритма.

Также присутствует периодичность в долгосрочном изменении частоты ударов: в минуту такое периодическое увеличение/уменьшение произошло два раза. Это подтверждает, что мы действительно получили ЧСС с достаточной точностью, а не случайные наводки.

Предварительные результаты показывают, что радарный модуль AWR1642boost имеет потенциал для неинвазивного измерения сердечных сокращений. Удалось извлечь сигнал, отражающий периодические изменения, которые, предположительно, связаны с сердечной деятельностью. Однако, качество полученного сигнала оставляет желать лучшего, и оценка ВСР оказалась затруднительной.

Для улучшения результатов необходимо:

1. Оптимизировать параметры радара: более тщательно подобрать параметры зондирования, чтобы максимизировать отношение сигнал/шум.
2. Исследовать влияние различных факторов, таких как положение тела, дыхание и движения на качество сигнала.
3. Разработать более совершенные алгоритмы обработки сигналов: Использовать более продвинутые методы фильтрации, компенсации движения (дыхания) и выделения полезного сигнала.

Несмотря на существующие ограничения, данная работа демонстрирует перспективность использования радарных технологий для неинвазивного мониторинга сердечной деятельности и открывает новые возможности для разработки медицинских устройств и систем мониторинга здоровья.

1. Thayer JF, Yamamoto H, Brosschot JF. The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors

УДК 004.94; ГРНТИ 28.17.19

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СРЕДАХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.А. Алексашин, В.А. Волченков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, AleksashinAA2002@yandex.com*

Аннотация. В работе рассматриваются отечественные среды математического моделирования SimInTech и Engee, предлагаемые в качестве альтернативы широко используемой зарубежной среды MATLAB. Проводится анализ сред, приводятся возможности и особенности каждой из них. С целью демонстрации работы приложений “Проектирование и анализ цифровых фильтров” среды SimInTech и “Редактор цифровых фильтров” среды Engee был синтезирован НЧ КИХ-фильтр Хэмминга. Представлены некоторые характеристики фильтра: амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), фазо-частотная характеристика (ФЧХ), импульсная характеристика (ИХ), групповое время запаздывания (ГВЗ), ноль-полюсная диаграмма. Для демонстрации модельно-ориентированного проектирования среды Engee была построена модель ИКМ кодека. Представлены временные диаграммы исходного и конечного речевых сигналов.

Ключевые слова: SimInTech, Engee, КИХ-фильтр, ИКМ кодек.

DEVELOPMENT OF SIGNAL PROCESSING MODELS IN DOMESTIC ENVIRONMENTS OF MATHEMATICAL MODELING

A.A. Aleksashin, V.A. Volchenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, AleksashinAA2002@yandex.com*

Abstract. The paper considers the domestic SimInTech and Engine mathematical modeling environments offered as an alternative to the widely used foreign MATLAB environment. The analysis of the environments is carried out, the possibilities and features of each of them are given. In order to demonstrate how applications work “Design and analysis of digital filters” of the SimInTech environment and the “Digital Filter Editor” of the Engee environment, a Hamming low-pass filter was synthesized. Some characteristics of the filter are presented: amplitude-frequency response

(AFC), phase-frequency response (FCH), pulse response (IM), group delay time (GVZ), zero-pole diagram. To demonstrate the model-oriented design of the Engee environment, an ICM codec model was built. Time diagrams of the initial and final speech signals are presented.

Keywords: SimInTech, Engee, FIR filter, PCM codec.

Современное развитие инженерных технологий требует создания эффективных средств анализа и обработки сигналов. Задачи обработки сигналов находят применение в таких областях, как связь, управление, диагностика, а также в системах автоматизации. Для решения этих задач широко используются программные среды математического моделирования, которые предоставляют возможность разработки, тестирования и оптимизации алгоритмов обработки данных. В условиях растущей потребности в импортозамещении зарубежного программного обеспечения особую актуальность приобретают отечественные программные продукты, такие как SimInTech компании ООО «ЗВ Сервис» и Engee компании ООО «РИТМ».

Таким образом, настоящая работа направлена на решение научно-практических задач, связанных с применением отечественных инструментов моделирования для обработки сигналов, что способствует укреплению технологической независимости и развитию отечественной научной базы.

SimInTech

Российские программные продукты, такие как SimInTech, играют важную роль в разработке моделей обработки сигналов, предлагая доступные и адаптированные решения для научных и инженерных задач [2].

SimInTech – отечественная среда моделирования и автоматизированного проектирования систем управления и обработки сигналов. Она обеспечивает:

- инструменты для цифровой обработки сигналов (DSP) – поддерживает разработку моделей с использованием фильтров, преобразований Фурье, методов спектрального анализа;
- поддержку реального времени – предназначена для разработки систем управления в реальном времени, что полезно в задачах, связанных с обработкой данных с датчиков и радиолокационных систем;
- интеграцию с аппаратными платформами – позволяет тестировать модели на физическом оборудовании, сокращая время разработки.

Особенности:

1. Полная локализация и соответствие требованиям российских стандартов.
2. Простота в освоении для российских специалистов благодаря большому количеству справочной информации, что уменьшает зависимость от зарубежных программных продуктов.

Engee

Engee – это российская платформа для динамического моделирования сложных систем. Она поддерживает полный цикл модельно-ориентированного проектирования (МОП), начиная от разработки алгоритмов до их внедрения в «железо». Engee используется для создания и анализа систем автоматического управления (САУ), цифровой обработки сигналов (ЦОС), радиолокационных систем (РЛС), а также для работы с мультифизическими моделями (например, механика, гидравлика, пневматика, тепловые процессы, электроника) [3].

Особенности среды:

1. Модельно-ориентированное проектирование: позволяет моделировать дискретные, непрерывные, нелинейные системы и интегрировать их в сложные междисциплинарные проекты.

2. Автоматическая генерация кода: поддерживает экспорт моделей для встроенных систем, таких как DSP, ARM или FPGA.

3. Мультиязычность: можно использовать Python, MATLAB, C/C++, Julia для расширения возможностей.

4. Учебная составляющая: встроенные курсы и примеры для быстрого освоения инструментов моделирования и анализа.

Эти возможности делают Engage мощным инструментом для создания моделей обработки сигналов, особенно в системах связи, радиолокации и автоматического управления.

Программные продукты SimInTech и Engage превосходят свои зарубежные аналоги благодаря независимости от санкций, полной адаптации под российские нормативы и требования, а также экономической доступности, так как лицензии на эти программы значительно дешевле импортных решений.

КИХ фильтрация

Важной задачей цифровой обработки сигналов является фильтрация, позволяющая устранять шумы, помехи и нежелательные частоты. Одним из наиболее распространённых классов цифровых фильтров являются конечно-импульсные (КИХ) фильтры.

КИХ-фильтр – это линейный цифровой фильтр, основной особенностью которого является ограниченность во времени его импульсной характеристики, то есть с определенного момента времени она становится равной нулю. Как правило, большинство КИХ фильтров выполнено без обратной связи, поэтому практически все КИХ фильтры – нерекурсивные [1].

В общем виде реализация КИХ фильтра изображена на рисунке 1.

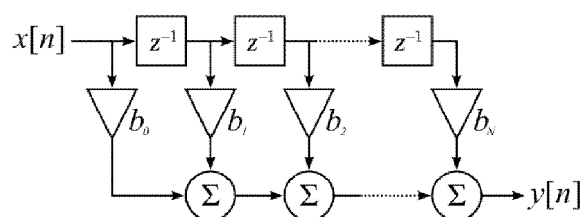


Рис. 1. Структурная схема КИХ-фильтра

Все КИХ-фильтры описываются следующими уравнениями (1-2):

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k), \quad (1)$$

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)z^{-k}, \quad (2)$$

где $y(n)$ – выходной сигнал (функция текущего и прошедших значений на входе);

$x(n)$ – входное воздействие;

$h(k)$ – коэффициенты импульсной характеристики;

N – длина фильтра (количество коэффициентов фильтра), $H(z)$ – передаточная характеристика фильтра.

В среде SimInTech для проектирования цифровых КИХ-фильтров будет использоваться приложение “Проектирование и анализ цифровых фильтров” (разработано ООО «Лаборатория Сфера» при участии сотрудников кафедры ТОР РГРТУ им. В.Ф. Уткина). Для тех же целей в среде Engage будет использоваться приложение “Редактор цифровых фильтров”.

В качестве демонстрации работы приложений был построен НЧ КИХ-фильтр с частотой среза 3,6 кГц и порядка 53. Фильтр был создан методом оконного синтеза с применением окна Хэмминга. На рисунках 2,3 можно увидеть некоторые характеристики, полученные в результате проектирования фильтра в SimInTech и Engee соответственно.

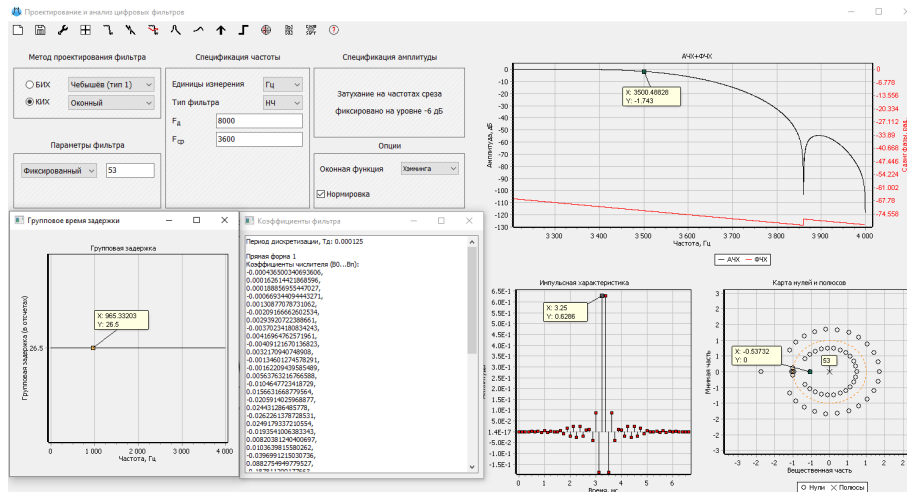


Рис. 2. Результат проектирования фильтра по методу окна Хэмминга в среде SimInTech

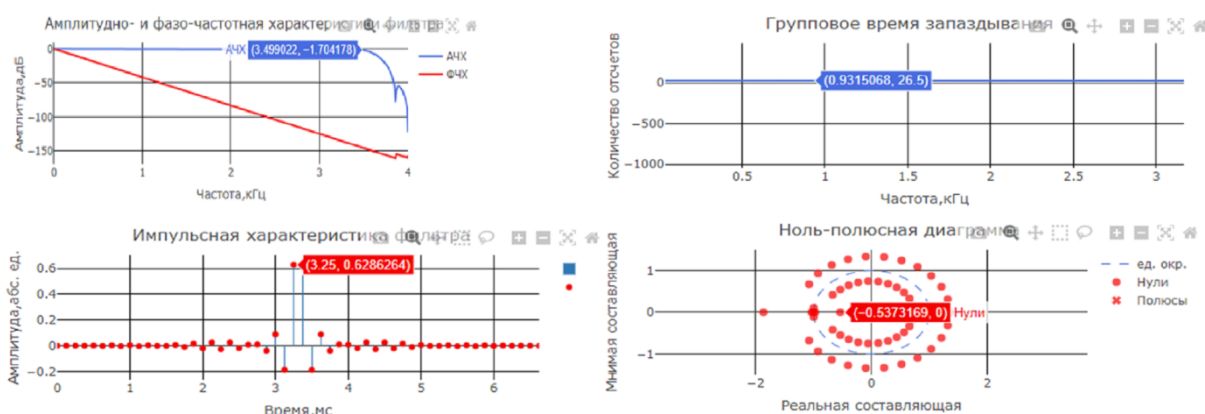


Рис. 3. Результат проектирования фильтра по методу окна Хэмминга в среде Engee

Результаты моделирования в обеих средах показали схожие результаты, что говорит о том, что среды SimInTech и Engee позволяют точно и эффективно проектировать, анализировать и тестировать КИХ-фильтры. Однако стоит отметить, что оба приложения проектирования фильтров находятся на этапе разработки, что может приводить к различным ошибкам и ограничениям в функционале. При проектировании фильтра в среде Engee возникла проблема: синтез фильтра при минимальном порядке невозможен при любых выбранных методах и параметрах фильтра. Тем не менее, активное развитие данных сред даёт основание полагать, что в будущем их функциональные возможности будут расширены, а стабильность работы значительно улучшится.

ИКМ кодек

В качестве демонстрации модельно-ориентированного проектирования в среде Engee была разработана модель кодека ИКМ (импульсно-кодированная модуляция). ИКМ широко применяется в системах цифровой связи, аудиотехнологиях и телекоммуникациях, включая телефонные сети и кодеки сжатия речи. Модель можно наблюдать на рисунке 4. В состав этой модели входят:

- источник речевого сигнала (From multimedia File);
- НЧ КИХ-фильтр (Discrete FIR Filter), ограничивающий спектр входного сигнала;
- дискретизатор (Zero-Order Hold) с частотой дискретизации 8 кГц;
- полосовой КИХ-фильтр (Discrete FIR Filter-1), ограничивающий спектр речевого сигнала каналом тональной частоты (0,3-3,4 кГц);
- квантователь (Quantizer), округляющий дискретные отсчёты до ближайшего значения из конечного множества уровней;
- кодер (Uniform Encoder), представляющий квантованные значения в двоичном коде;
- декодер (Uniform Decoder), преобразующий двоичный код обратно в уровни квантования;
- НЧ КИХ-фильтр-интерполятор (Discrete FIR Filter-2), повышающий частоту дискретизации.

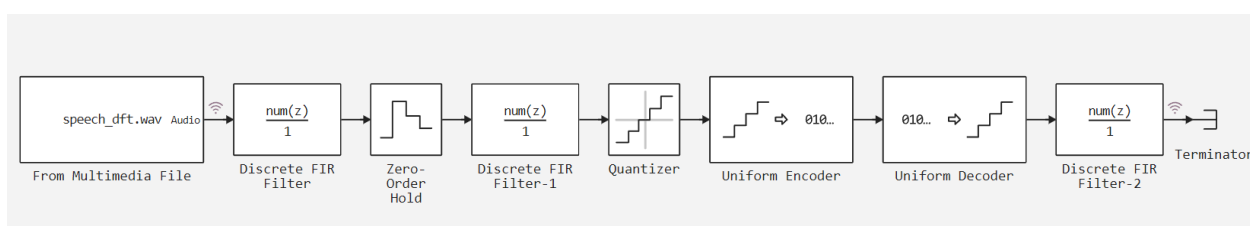


Рис. 4. Модель кодека ИКМ

Временные диаграммы исходного и конечного речевых сигналов можно увидеть на рисунке 5. Данные диаграммы демонстрируют схожесть формы сигналов, что подтверждает корректность работы модели ИКМ кодека. Для уменьшения искажений при кодировании и декодировании речи могут применяться такие меры как увеличение разрядности квантователя и частоты дискретизации, а также использование нелинейного квантования (например, законы A-law и μ -law), что позволит снизить ошибки квантования и улучшить качество восстановленного сигнала.

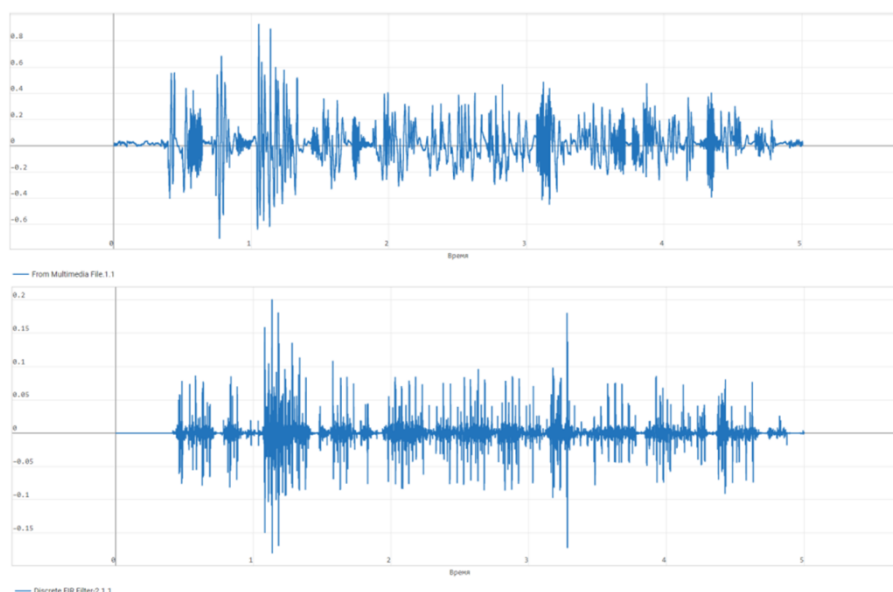


Рис. 5. Исходный речевой сигнал (верхний), конечный речевой сигнал (нижний)

Таким образом, результаты проектирования показали, что среда Engеe является конкурентоспособной и перспективной в области обработки сигналов. Такие программные средства, как SimInTech и Engеe, в условиях международных санкций, становятся незаменимым инструментом для инженеров, занимающихся разработкой различных систем.

Библиографический список

1. Цифровая фильтрация на ПЛИС – Часть 2: [сайт]. - URL: <https://habr.com/ru/articles/274847/> (дата обращения: 17.12.2024) – Текст : электронный.
2. SimInTech: [сайт]. – URL: <https://simintech.ru/> (дата обращения: 12.02.2025).
3. Engеe: [сайт]. – URL: <https://start.engee.com> (дата обращения: 12.02.2025).

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГЛАСНЫХ БУКВ

М.О. Филимонова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, maryrs1777@yandex.ru*

Аннотация. В статье представлен пример реализации простейшей нейронной сети на языке Matlab для задачи бинарной классификации заглавных букв латинского алфавита: идентификации гласных и согласных. Описана математическая модель сети, включающая входной слой (изображения 100x100 пикселей), слой весов и сигмоидальный выходной нейрон. Изложен алгоритм обучения, основанный на градиентном спуске и обратном распространении ошибки. Проанализированы результаты тестирования сети на наборах печатных и рукописных букв, продемонстрировавшие определенную способность к распознаванию гласных. Ключевые слова: нейронная сеть, распознавание образов, Matlab, идентификация букв, классификация, градиентный спуск, машинное обучение.

AN EXAMPLE OF A NEURAL NETWORK IMPLEMENTATION FOR IDENTIFYING VOWELS

M.O. Filimonova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, maryrs1777@yandex.ru*

The summary. The article presents an example of the implementation of the simplest neural network in Matlab for the task of binary classification of capital letters of the Latin alphabet: identification of vowels and consonants. A mathematical model of the network is described, which includes an input layer (images of 100x100 pixels), a layer of weights and a sigmoidal output neuron. A learning algorithm based on gradient descent and back propagation of error is described. The results of network testing on sets of printed and handwritten letters, which demonstrated a certain ability to recognize vowels, are analyzed. Keywords: neural network, pattern recognition, Matlab, letter identification, classification, gradient descent, machine learning.

Введение

В эпоху цифровизации и автоматизации распознавание образов играет ключевую роль во многих областях, начиная от сканирования документов и заканчивая системами автоматической проверки качества продукции. Идентификация букв, особенно гласных, является фундаментальной задачей в области распознавания текста и компьютерного зрения. Разработка простых и эффективных алгоритмов для этой задачи представляет практический интерес, особенно в образовательных целях и для понимания основ работы нейронных сетей. Данная статья описывает пример реализации простейшей нейронной сети на языке Matlab, предназначенной для идентификации гласных и согласных букв латинского алфавита.

Постановка задачи

Целью данной работы является создание и обучение простой нейронной сети, способной классифицировать заглавные буквы латинского алфавита (A, B, C, ..., Z) как гласные или согласные. Задача состоит в разработке алгоритма, который на основе входного изображения буквы определяет, является ли она гласной или согласной, и выдает соответствующий результат (1 – гласная, 0 – согласная). Для обучения сети используется база данных изображений заглавных букв, а для оценки эффективности – проверка работы обученной сети на новых, ранее не виденных изображениях.

Математические основы простейшей нейросети

В данной реализации используется простейшая однослойная нейронная сеть, состоящая из входного слоя, слоя весов и выходного нейрона. Математическая модель сети может быть представлена следующим образом:

1. Входной слой: Представляет собой вектор, содержащий значения пикселей входного изображения. Каждое изображение имеет размер 100x100 пикселей, поэтому входной вектор содержит 10000 элементов.

2. Веса: Каждому входному элементу соответствует вес, определяющий его значимость. Веса инициализируются случайным образом и корректируются в процессе обучения.

3. Выходной нейрон: Вычисляет выходное значение на основе взвешенной суммы входных данных. Выходное значение проходит через функцию активации (в данном случае используется сигмоидальная функция), которая преобразует значение в диапазон от 0 до 1.

4. Обучение: Целью обучения нейронной сети является минимизация некоторой целевой функции, которая, как правило, представляет собой усредненную функцию потерь по всей обучающей выборке. В данном случае, роль целевой функции играет сумма квадратов ошибок, вычисляемая на каждой итерации обучения, где суммирование производится по всем элементам обучающей выборки.

Для минимизации целевой функции используется итеративный процесс, основанный на методе градиентного спуска. Градиентный спуск – это алгоритм оптимизации, который на каждой итерации обновляет параметры модели (в данном случае, веса нейронной сети) в направлении, противоположном градиенту целевой функции. Формально, обновление параметров выполняется по следующей формуле [1]:

$$w = w - \mu \nabla J(w), \quad (1)$$

где w – веса нейронной сети;

μ – скорость обучения, определяющая величину шага в направлении антиградиента;

$\nabla J(w)$ – градиент целевой функции $J(w)$ по параметрам w . Градиент указывает направление наискорейшего возрастания функции, поэтому движение в противоположном направлении приводит к ее уменьшению.

Программная реализация простейшей нейросети

Программная реализация нейронной сети выполнена на языке Matlab. Основные этапы реализации:

1. Инициализация: создание матрицы весов со случайными значениями.

2. Прямое распространение: вычисление выходного значения сети для каждого изображения из обучающей выборки.

3. Вычисление ошибки: определение разницы между выходным значением сети и ожидаемым значением.

4. Обратное распространение ошибки: корректировка весов на основе вычисленной ошибки.

5. Итерации: повторение шагов 2-4 до достижения максимального количества итераций.

Ключевые фрагменты кода:

1. Вычисление весов нейронной сети (рис. 1). Данная программа, основанная на примере из книги Смита С.В. «Руководство по ЦОС», но переписанная для Matlab, реализует алгоритм обучения нейронной сети и корректировки весов на основе обучающей выборки [2].

2. Загрузка обучающего набора (рис. 2 и 3). Функция *DownloadingtheTrainingSet_2* (рис. 2) загружает данные из файла *training_data_2.mat*, который создается с помощью скрипта *training_data_2.m* (рис. 3). Этот скрипт преобразует изображения букв в формат, подходящий для обучения сети;

3. Проверка нейронной сети (рис. 4). Данная программа загружает обученные веса и изображения букв для проверки.

```

1 - MU = 0.00000005; % Шаг обучения
2
3 % Инициализация весов
4 - WH_2 = (rand(100, 10001) - 0.5) / 1000; % Веса скрытого слоя
5 - WO_2 = (rand(1, 100) - 0.5); % Веса выходного слоя
6
7 - for ITER = 1:800 % Цикл итераций
8 - ESUM = 0; % Сумма квадратов ошибок
9 - for LETTER = 1:260 % Цикл по каждой букве в обучающем наборе
10
11 % Загрузка обучающего набора
12 - [X1, CORRECT] = DownloadingtheTrainingSet_2(LETTER);
13
14 % Вычисление значений скрытого слоя
15 - ACC_hidden = X1 * WH_2';
16 - X2 = 1 ./ (1 + exp(-ACC_hidden)); % Сигмоидальная функция активации
17
18 % Вычисление значения выходного слоя
19 - ACC_output = X2 * WO_2';
20 - X3 = 1 ./ (1 + exp(-ACC_output)); % Сигмоидальная функция активации
21
22 % Вычисление ошибки
23 - ELET = (CORRECT - X3);
24 - if CORRECT == 1
25 - ELET = ELET * 5;
26 - end
27
28 - ESUM = ESUM + ELET^2; % Накопление ошибки
29
30 % Обновление весов
31 - delta_output = ELET * X3 * (1 - X3);
32 - delta_hidden = delta_output * WO_2 .* X2 .* (1 - X2);
33
34 - WO_2 = WO_2 + MU * delta_output * X2;
35 - WH_2 = WH_2 + MU * (delta_hidden' * X1);
36
37 - end
38 - fprintf('Итерация %d, Сумма квадратов ошибок: %f\n', ITER, ESUM); % Вывод прогресса
39 - end

```

Рис. 1. Программа для вычисления весов нейронной сети

```

1 - function [X1, CORRECT] = DownloadingtheTrainingSet_2(LETTER)
2 -     load('training_data_2.mat', 'data_2');
3 -     X1 = [data_2(LETTER, 1:10000), 1];
4 -     CORRECT = data_2(LETTER, 10002);
5 - end

```

Рис. 2. Функция *DownloadingtheTrainingSet_2*

```

1 - imageFiles = dir('images/*.png');
2 - numImages = length(imageFiles);
3 - images = zeros(100, 100, numImages);
4 - data_2 = zeros(numImages, 10002);
5
6 - for i = 1:numImages
7 -     imagePath = fullfile('images', imageFiles(i).name);
8 -     img = imread(imagePath);
9 -     img = imresize(img, [100 100]);
10 -    img = rgb2gray(img);
11 -    images(:,:,i) = double(img);
12 -    data_2(i, 1:10000) = double(reshape(images(:,:,i), [], 1));
13 -    data_2(i, 10001) = 1;
14
15 -    data_2(i, 10002) = contains(imageFiles(i).name, {'A', 'E', 'I', 'O', 'U'});
16 - end
17
18 - save('training_data_2.mat', 'data_2');

```

Рис. 3. Скрипт *training_data_2.m*

```

1 - [X1_new, CORRECT_new] = DownloadingInputSet;
2 - load('trained_weights.mat');
3 - for i = 1:numImages
4 -     X1 = X1_new(i, :); % Берем данные для текущего изображения
5 -     CORRECT = CORRECT_new(i); % Берем метку класса
6 -     imageName = imageFiles(i).name; % Берем имя файла
7
8 -     % Вычисление значений скрытого слоя
9 -     ACC_hidden_new = X1 * WH';
10 -    X2_new = 1 ./ (1 + exp(-ACC_hidden_new));
11
12 -    % Вычисление значения выходного слоя
13 -    ACC_output_new = X2_new * WO';
14 -    X3_new = 1 ./ (1 + exp(-ACC_output_new));
15 -    result = (X3_new > 0.5);
16
17 -    % Вывод результата для текущего изображения
18 -    fprintf('Изображение: %s ', imageName);
19 -    fprintf('Результат: %d ', result);
20 -    fprintf('Правильный ответ: %d \n', CORRECT);
21 - end

```

Рис. 4. Проверка нейросети для идентификации гласных букв

База данных и обучение

В качестве базы данных для обучения использовались 26 заглавных букв латинского алфавита (рис. 5).

Каждая буква была представлена в виде растрового изображения размером 100x100 пикселей. Перед началом обучения, изображения подвергались предварительной обработке, заключающейся в развертывании двумерного массива пикселей в одномерный вектор. Таким образом, каждое изображение размером 100x100 преобразовывалось в вектор длиной 10000, представляющий собой входные данные для нейронной сети. Помимо этого, к входному вектору добавлялся единичный элемент, что позволяло сети смещать выходное значение, улучшая ее обучаемость. Скрипт *training_data_2.m* (как упоминалось ранее) отвечал за автоматизацию этого процесса, преобразуя исходные изображения в формат, пригодный для обучения.

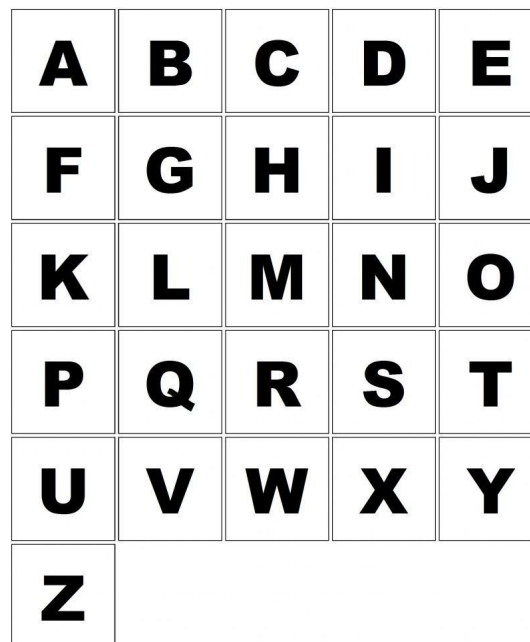


Рис. 5. Обучающий набор

Обучение нейронной сети осуществлялось итеративно, с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. На каждой итерации, сеть получала на вход один из векторов, представляющих изображение буквы, и выдавала предсказание о том, является ли эта буква гласной или согласной. Затем, вычислялась ошибка между предсказанным и ожидаемым значением (согласно меткам классов). Далее, ошибка распространялась обратно по сети, корректируя веса связей между нейронами с целью минимизации ошибки. Этот процесс повторялся многократно, до тех пор, пока сеть не начинала выдавать достаточно точные предсказания на обучающей выборке. На протяжении всего процесса обучения, отслеживалась динамика изменения ошибки, что позволяло контролировать сходимость алгоритма (рис. 6).


```

Command Window
>> training_data_2
>> trainingModel_2
Итерация 1, Сумма квадратов ошибок: 317.311572
Итерация 2, Сумма квадратов ошибок: 277.413852
Итерация 3, Сумма квадратов ошибок: 247.125779
Итерация 4, Сумма квадратов ошибок: 223.033654
Итерация 5, Сумма квадратов ошибок: 199.256480
Итерация 6, Сумма квадратов ошибок: 180.668164
Итерация 7, Сумма квадратов ошибок: 164.489625
Итерация 8, Сумма квадратов ошибок: 151.221077
Итерация 9, Сумма квадратов ошибок: 140.624838
Итерация 10, Сумма квадратов ошибок: 131.701069
Итерация 790, Сумма квадратов ошибок: 2.327306
Итерация 791, Сумма квадратов ошибок: 2.324293
Итерация 792, Сумма квадратов ошибок: 2.321265
Итерация 793, Сумма квадратов ошибок: 2.318222
Итерация 794, Сумма квадратов ошибок: 2.315165
Итерация 795, Сумма квадратов ошибок: 2.312094
Итерация 796, Сумма квадратов ошибок: 2.309011
Итерация 797, Сумма квадратов ошибок: 2.305917
Итерация 798, Сумма квадратов ошибок: 2.302813
Итерация 799, Сумма квадратов ошибок: 2.299701
Итерация 800, Сумма квадратов ошибок: 2.296583
fx >>

```

Рис. 6. Вывод ошибки на экран после каждой итерации

Оценка результатов

Для проверки эффективности обученной нейронной сети, предназначенной для классификации гласных и согласных букв, были проведены тестовые испытания с использованием двух наборов изображений. Первый набор представлял собой печатные буквы (рис. 7), а второй – рукописные буквы (рис. 8). Использование разнообразных наборов данных позволило оценить способность сети к обобщению и устойчивость к вариациям в стиле написания букв.

A B C D E F
G H I J K L
M N O P Q
R S T U V
W X Y Z

Рис. 7. Печатные буквы для проверки

A B C D E F G H I J K L
M N O P Q R S T U V W X
Y Z

Рис. 8. Рукописные буквы для проверки

Результаты тестирования на печатных буквах (рис. 7):

- из пяти представленных гласных букв нейронная сеть корректно классифицировала три;
- сеть ошибочно определила четыре согласных буквы как гласные (ложноположительные срабатывания).

Результаты тестирования на рукописных буквах (рис. 8):

- из пяти представленных гласных букв нейронная сеть корректно классифицировала четыре;
- сеть также ошибочно определила четыре согласных буквы как гласные.

Выводы

В данной работе была реализована простейшая нейронная сеть на языке Matlab для идентификации гласных букв латинского алфавита. Проведенные тестовые испытания демонстрируют определенную способность нейронной сети к распознаванию гласных букв как в печатном, так и в рукописном вариантах. Однако, наблюдается значительное количество ложноположительных срабатываний – сеть часто ошибочно определяет согласные буквы как гласные. Это свидетельствует о недостаточной обобщающей способности сети и ее чувствительности к определенным признакам, которые характерны как для гласных, так и для некоторых согласных букв.

Библиографический список

1. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. / Пер. с англ. – М. / Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с. / ил. – Парал. тит. англ. – ISBN 5-8459-0890-6
2. Смит, С. В. Руководство по цифровой обработке сигналов для научных работников и инженеров / С. В. Смит ; пер. с англ. Котельникова Н.М. – 2-е изд. – [Б. м.] : Калифорнийское техническое изд-во, 2006. – ISBN 0-9660176-6-8

УДК 004.94; ГРНТИ 28.17.19

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ СВЯЗИ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СРЕДАХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Н.Д. Сивов, В.А. Волченков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, sivovnik@gmail.com*

Аннотация. В данной работе рассматриваются среды проектирования цифровых систем связи. Исследуется ряд приложений позволяющих на основе блочного моделирования применять различные методы канального кодирования с заданными параметрами. Проводится сравнение программы SimInTech, среды проектирования Engee и приложения Simulink, пакета MATLAB с выделением основных достоинств и недостатков каждой из них.

Ключевые слова: MATLAB, Simulink, SimInTech, КАМ, моделирование, модуляция, АБГШ, Engee, ОСШ, битовая ошибка.

RESEARCH OF METHODS AND ENVIRONMENTS FOR DESIGNING DIGITAL IIR-FILTERS

N.D. Sivov, V.A. Volchenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, sivovnik@gmail.com*

Abstract. This work examines design environments for digital communication systems. A number of applications based on block modeling are investigated, allowing the use of various channel coding methods with specified parameters. A comparison is made between the SimInTech program, the Engee design environment, and the Simulink application within the MATLAB package, highlighting the main advantages and disadvantages of each.

Keywords: MATLAB, Simulink, SimInTech, QAM, modeling, modulation, AWGN, Engee, SNR, BER.

Введение

Моделирование систем связи представляет собой важную область технических задач. Поскольку разработка и внедрение новых технологий в сфере связи может стоить не малых средств, существует необходимость заранее провести ряд расчетов и исследований для оценки возможных результатов.

Существуют различные среды для моделирования и анализа цифровых систем. К таким можно отнести приложение Simulink [1], среды программирования и пакета прикладных программ MATLAB для решения математических задач. Engage [2] – российской платформы для разработки технических систем. SimInTech [3] - среду разработки математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для контроллеров управления и графических дисплеев.

MATLAB

MATLAB [1] является одной из самых широко используемых сред для моделирования систем связи. Благодаря многолетнему развитию, MATLAB предоставляет большой набор инструментов для работы с цифровой обработкой сигналов, модуляцией, демодуляцией, кодированием и анализом помехоустойчивости.

Одним из ключевых преимуществ MATLAB является наличие специализированных библиотек, главной из которых можно назвать – Communications Toolbox [4], позволяющий моделировать различные схемы модуляции (QAM, PSK, FSK), а также исследовать влияние каналов распространения, включая AWGN, Райса и Релея. Кроме того, в MATLAB интегрирована среда Simulink, что облегчает разработку сложных моделей за счет использования блоков.

Однако, начиная с 5 марта 2022 года нельзя официально приобрести лицензию поскольку The MathWorks приостановил свою деятельность на территории РФ.

Моделирование в MATLAB Simulink

Как было упомянуто ранее MATLAB Simulink [1] обладает обширным функционалом. На рисунке 1 представлена схема QAM-64 модуляции с анализом BER [5]. Изменение ОСШ в AWGN канале позволяет снять, а в последствии по построить характеристику отношения BER к ОСШ, для оценки влияния шумов на различные виды модуляции. Блок Constellation Diagram позволяет отобразить СКС (рисунок 2, а) передаваемого сообщения. Однако, в MATLAB имеется отдельный удобный инструмент bertool (рисунок 2, б), позволяющий сразу отобразить отношение BER к ОСШ для различных видов модуляций и канального кодирования.

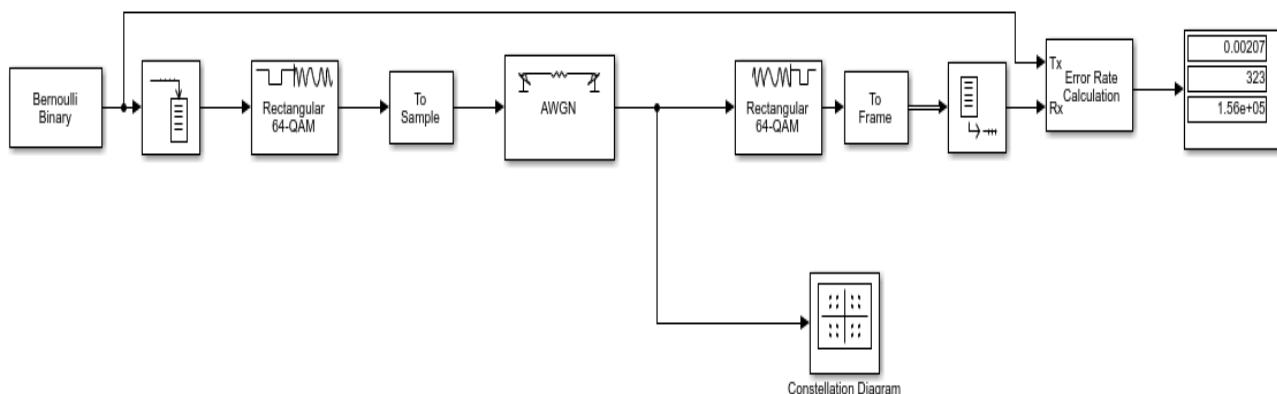


Рис. 1. Схема оценки BER для QAM-64 в Simulink

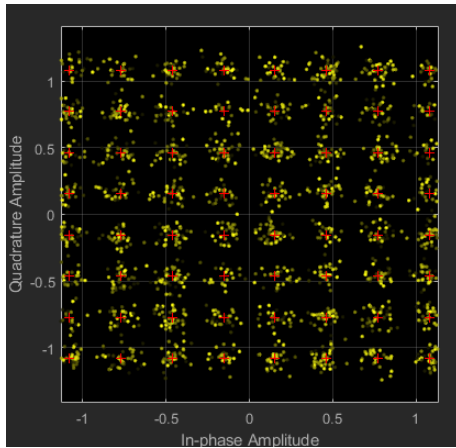


Рис. 2. отображение СКС передаваемого сообщения с помощью блока Constellation Diagram

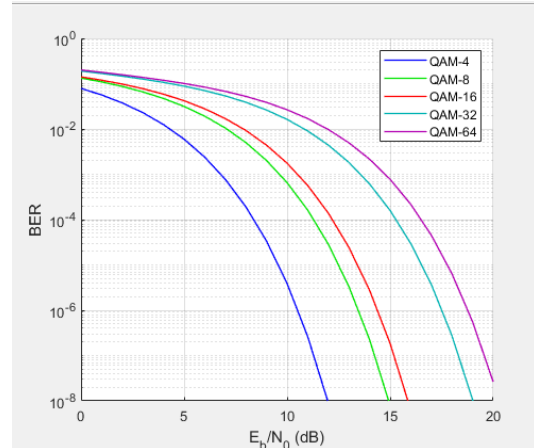


Рис. 3. Отображение отношение BER к ОСШ с помощью инструмента bertool

К основными достоинствам среды можно отнести:

1. Большая библиотека блоков Simulink.
2. Взаимодействие MATLAB и Simulink.
3. Наличие инструмента bertool.

К основными недостаткам среды можно отнести:

1. Отсутствие русского языка.
2. Уход с рынка РФ.
3. Высокое требование к производительности ПК.

Моделирование в Engage

Поскольку Engage [2] является прямым аналогом MATLAB, в ней присутствует аналог Simulink также позволяющий моделировать системы с помощью блоков (рисунок 4). В среде присутствуют блоки модуляции QAM и PSK, однако, только один вид канала – AWGN. На данный момент в среде отсутствует возможность вывода значений с блока Error Rate Calculation в самой среде моделирования, из-за чего необходимо использование скриптов (рисунок 5, а) для работы с полученными данными. Также, нет аналога bertool, ввиду чего, для вывода нескольких измерений (рисунок 5, б) на одном графике приходится, или усложнять схему и код, дублируя переменные и блоки, или проводить несколько измерений, меняя значения переменных в памяти.

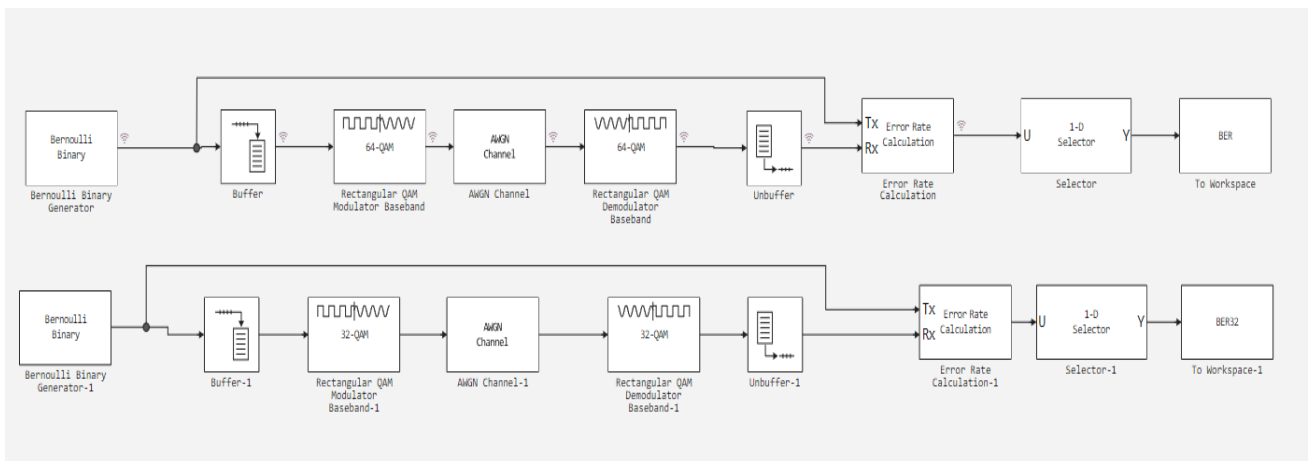


Рис. 4. Схема оценки BER для QAM-32 и QAM-64 в Engage

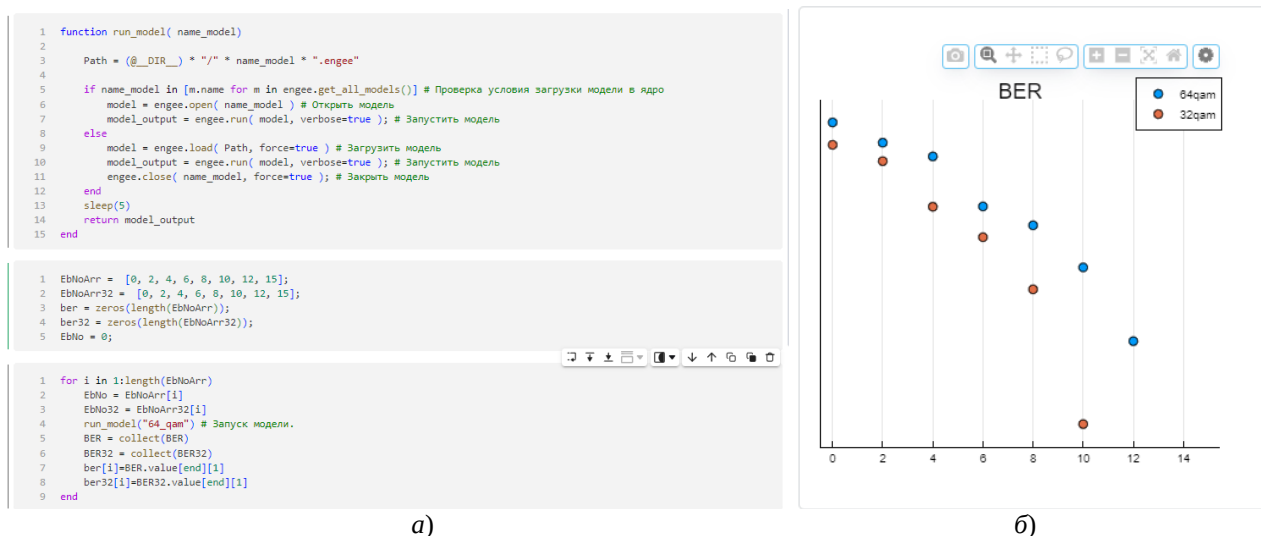


Рис. 5. Отображение данных анализа: а) – код для отображения значений на графике; б) – график отношения BER к SNR для QAM-32 и QAM-64

К основными достоинствам среды можно отнести:

1. Работа на удаленном сервере, что снижает требования к устройству пользователя.
2. Оптимальная библиотека блоков.
3. Русский язык.
4. Удобный интерфейс.
5. Русскоязычная техподдержка и документация.
6. Возможность просмотра работ других пользователей в вкладке “Сообщество”.

К основными недостаткам среды можно отнести:

1. Требуется стабильное подключение к Интернету.
2. Ограничение работы 20 часов в месяц.
3. Нет возможности напрямую работать с результатами в среде моделирования.
4. Нет аналога инструмента bertool.

Моделирование в SimInTech

SimInTech — это интегрированная среда моделирования, схожая по принципам работы с Simulink, предназначенная для моделирования различных физических процессов [3]. В ней также используется блочный подход, что позволяет пользователям создавать сложные модели, комбинируя стандартные компоненты. В SimInTech также, как и в Engee и Simulink есть набор блоков для создания моделей систем связи, с рядом особенностей. Например, только в SimInTech блок QAM-модуляции разделяет выходные данные на действительную и мнимую части. Главным недостатком, следует выделить неудобство вывода результатов моделирования. На рисунке 6 представленная итоговая схема из 3 подсистем. На рисунке 7 пример одной такой подсистемы для QAM-64. В виду того, что снятие результатов нельзя автоматизировать, приходится проводить одновременно несколько моделирований с различием в SNR в канале AWGN. А также, создать подсистему в виде опорных значений SNR (рис. 8), для вывода итогового отношения на рисунке 9.

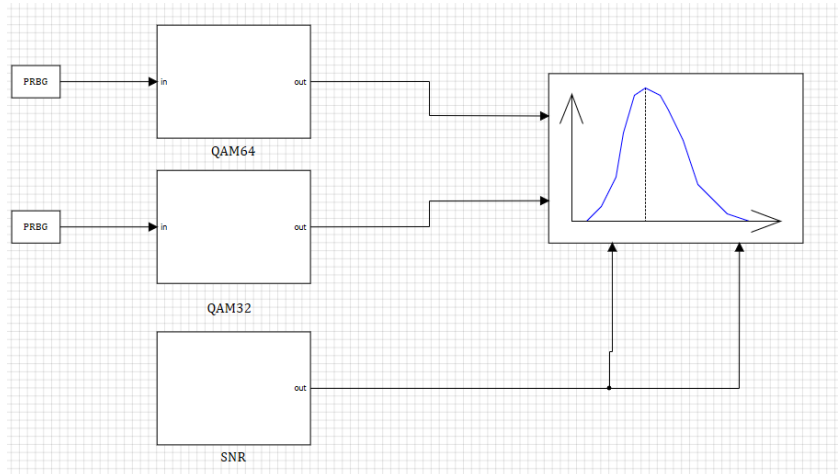


Рис. 6. Схема оценки BER для QAM-32 и QAM-64 в SimInTech

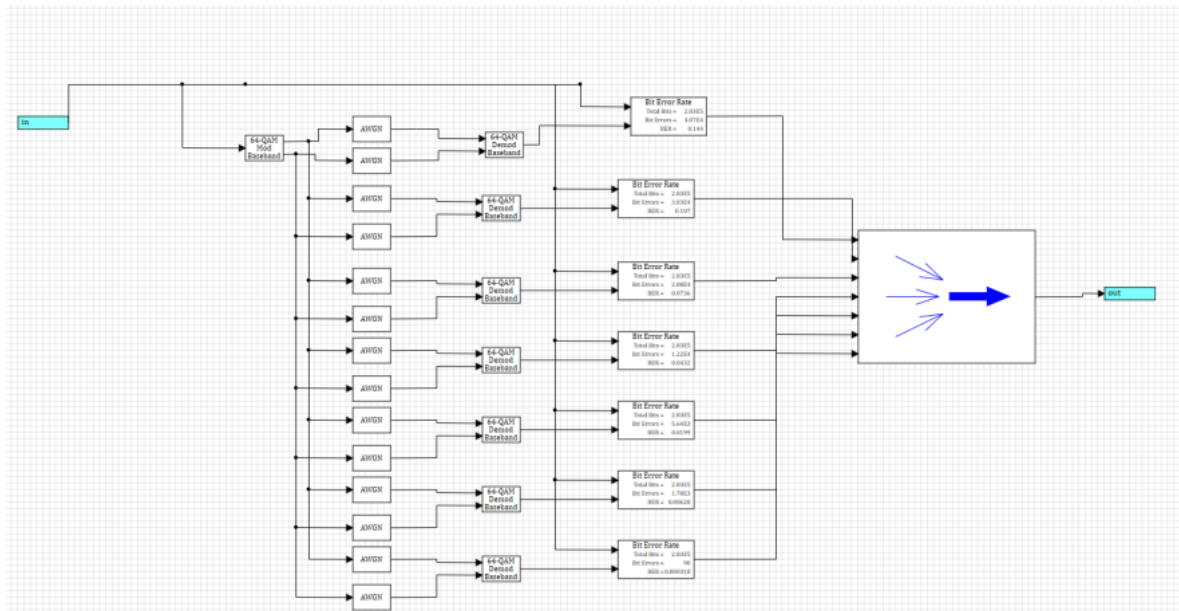


Рис. 7. Схема оценки BER для QAM-64 в SimInTech в 1 подсистеме

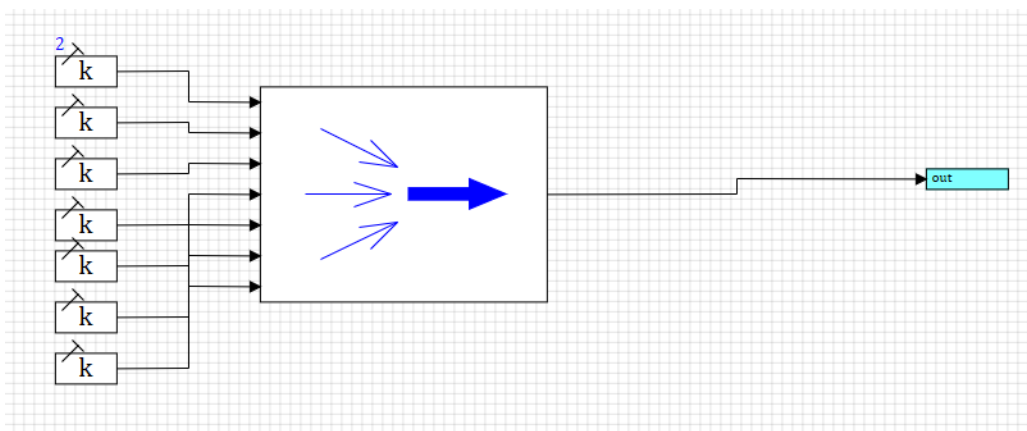


Рис. 8. Схема опорных значений ОСШ для графика

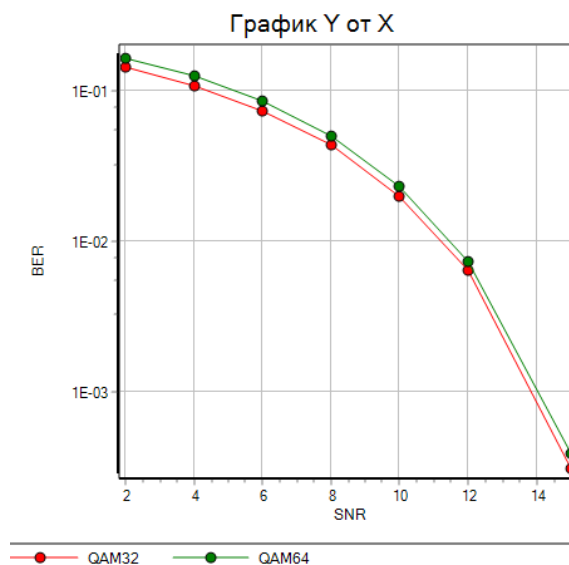


Рис. 9. Отношения SNR к BER

К основными достоинствам среды можно отнести:

1. Интерфейс на русском языке.
2. Удобство использования.
3. Оптимальная библиотека блоков.
4. Русскоязычная техподдержка и документация.
5. Возможность сохранить результаты в файл на ПК.

К основными недостаткам среды можно отнести:

1. Ограничение в 250 блоков для бесплатной версии.
2. Сложность в создании графиков.
3. Для снятия отношения SNR к BER требуется строить множество копий системы.
4. Нет аналога инструмента bertool

Выводы

Цифровые технологии, позволяющие передавать данные на больших скоростях, требовательны к точности переданной информации и поэтому моделирование систем связи для оценки их возможностей в различных условиях является важной частью разработки. На данный момент существует ряд программ, позволяющих моделировать и анализировать системы связи. Все они имеют свои достоинства и недостатки. В современных условиях западных санкций такие среды как SimInTech и Engee могут стать незаменимым инструментом в руках инженеров, ввиду невозможности приобрести лицензию на зарубежные аналоги.

Библиографический список

1. MATLAB: [сайт]. – URL: <https://www.mathworks.com/> (дата обращения: 15.02.2025).
2. Engee: [сайт]. – URL: <https://engee.com/account/> (дата обращения: 15.02.2025).
3. SimInTech: [сайт]. – URL: <https://simintech.ru/> (дата обращения: 15.02.2025).
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. — 3-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 768 с.
5. Цифровая связь: Методические указания к выполнению лабораторных работ / Сост.: О. В. Малинкина, А. Б. Натальин, А. Б. Сергиенко. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. 44 с.

УДК 523.6; ГРНТИ 47.49; 29.35.29

ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕОМЕТРИИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ ДОПЛЕРОВСКОГО СИГНАЛА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Ю.А. Бондарь, В.Д. Захарченко, И.Г. Коваленко

Волгоградский государственный университет,
Россия, Волгоград, bondar@volsu.ru

Аннотация. В работе предложен метод повышения быстродействия алгоритма оценивания асимметрии спектра доплеровских частот при радиолокационном зондировании движущихся и вращающихся космических объектов, таких как: астероиды, ядра комет и объекты космического мусора – путем использования дробного дифференцирования сигнала без спектральной обработки. Точная оценка коэффициента асимметрии спектра доплеровских сигналов может быть получена во временной области по мере поступления сигнала практически сразу после его прихода. Это реализуется путем вычисления производной порядка $3/2$ от сигнала. Рассмотрена реализация дробно-дифференцирующего фильтра порядка $3/2$ совокупностью астатических звеньев, что значительно упрощает его практическую реализацию. Использовано понятие предпроизводной порядка $3/2$, для которой построена структура соответствующего дробно-дифференцирующего фильтра.

Ключевые слова: околоземные объекты; потенциально опасные астероиды; асимметричный доплеровский спектр; измерения в реальном времени; дифференциальный фильтр; производные дробных порядков; астатические звенья, наилучшая аппроксимирующая функция

ESTIMATION OF THE GEOMETRY FEATURES OF SPACE OBJECTS OF COMPLEX SHAPE BASED ON THE FRACTIONAL DIFFERENTIATION OF THE DOPPLER SIGNAL IN REAL-TIME

Yu.A. Bondar, V.D. Zakharchenko, I.G. Kovalenko

Volgograd State University, Russia, Volgograd, bondar@volsu.ru,

Abstract. The performance improvement of the asymmetry estimation algorithm of the Doppler frequency spectrum during radar sounding of moving and rotating space objects? Such as asteroids, comet nuclei and space debris objects – is achieved by using fractional signal differentiation without spectral processing. An accurate estimate of the asymmetry coefficient of the Doppler spectrum can be obtained in the time domain as the signal arrives almost immediately after it arrives. This is accomplished by calculating a derivative of the order of $3/2$ of the signal. The implementation of a fractional-differentiating filter of the order of $3/2$ with a set of static links of automation is considered, which greatly simplifies the practical implementation. The concept of a pre-derivative of order $3/2$ is used, for which the structure of a fractional-differentiating filter of order $3/2$ is constructed.

Keywords: near-Earth objects; potentially hazardous asteroids; asymmetric Doppler spectrum; real-time measurements; differential filter; fractional derivative; best function approximation; exponential series.

Введение

С развитием технологий наблюдения околоземного пространства и потенциально опасных для Земли объектов стала остро осознаваться проблема астероидно-кометной угрозы. Понятие астероидно-кометной опасности (АКО) связано с угрозой столкновения Земли с космическими телами, которые достаточно велики в размерах, чтобы не сгореть в верхних слоях атмосферы планеты и при этом нанести ущерб Земле [6]. Вследствие существования реальных космических угроз возникла необходимость совершенствования методов и средств обнаружения и изучения небольших небесных тел в Солнечной системе.

Оптические средства астрономических наблюдений малых небесных тел с угловыми размерами на пределе разрешающей способности аппаратных средств традиционно включают в себя возможности получения информации о позиционировании, характеристиках движения и, косвенно, о размерах исследуемых тел путем определения их фотометрических ха-

рактических. Развивается отдельное направление – оценивание форм космических объектов по их оптическим характеристикам.

Возможности активной радиолокации (радиолокационная астрономия) могут расширить арсенал методов и средств распознавания небесных тел. Анализ спектральной плотности мощности (квадрат модуля спектра) доплеровского сигнала, отраженного космическим объектом, позволяет оценить характеристики движения объекта по спектру скоростей точек на его поверхности. При радиолокационном зондировании спектр скоростей будет адекватен спектру доплеровского сигнала. При использовании высокоразрешающих сигналов возможно получение радиолокационного портрета объекта (отклик на сверхкороткий радиоимпульс). По радиолокационному портрету можно судить о распределении отражающих элементов (блестящих точек) на поверхности объекта. Как правило, такими элементами являются участки поверхности двойной кривизны. Их распределение и интенсивность для каждого объекта уникальны и могут использоваться при распознавании.

Дробное дифференцирование сигнала в режиме реального времени как быстрый алгоритм определения центра тяжести и асимметрии доплеровского спектра

Преимуществами использования широкополосных и сверхширокополосных сигналов для зондирования опасных для Земли космических тел и обосновано ключевое требование для кинетического воздействия на астероид – попадание импактора точно в центр масс астероида. Имеется известное в теории радиолокации утверждение о связи между центром тяжести доплеровского спектра и положением центра масс мишени [7]. В работах [1,2,9] вводится понятие дробной производной и рассматривается альтернативная спектральному преобразованию методика определения положения центра тяжести спектра с использованием половинной производной сигнала.

Оценка частотных параметров спектра в теории сигналов основывается на применении метода моментов [4,7]. Так например, средняя частота спектра сигнала $x(t)$ на положительной полуоси частот определяется как центр тяжести ω_0 энергетического спектра $E(\omega)$

$$\omega_0 = \frac{\int_0^{\infty} \omega E(\omega) d\omega}{\int_0^{\infty} E(\omega) d\omega}. \quad (2)$$

Для оценки параметров спектра отраженного сигнала в традиционном подходе необходимо применение спектрального анализа, что не всегда отвечает требованию оперативности, поскольку получение спектра и его характеристик с использованием вычислительных устройств необходимо вести не в режиме реального времени, а после того, как сигнал уже получен, то есть за пределами интервала наблюдения $[0; T]$ [1,2,9]. В работе [1] показано, что альтернативно положение центра тяжести энергетического спектра доплеровского сигнала ω_0 можно вычислить, интегрируя квадрат модуля половинной производной сигнала:

$$\omega_0 = \frac{\int_0^{\infty} \omega E(\omega) d\omega}{\int_0^{\infty} E(\omega) d\omega} = \frac{\int_0^T |D^{1/2} x(t)|^2 dt}{\int_0^T |x(t)|^2 dt}, \quad (3)$$

здесь $E(\omega) = |x(\omega)|^2$ – энергия доплеровского спектра, а оператор $D^{1/2}x(t)$ называется дробной производной Лиувилля порядка $1/2$ и имеет вид [5]:

$$D^{1/2}x(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{d}{dt} \int_{-\infty}^t \frac{x(t')}{(t-t')^{1/2}} dt', \quad (4)$$

также предполагается, что $t \leq T$, а при $t < 0$ сигнал отсутствует.

Процедура вычисления дробной производной порядка $1/2$ представляет собой интегральное преобразование сигнала. Любую линейную операцию, выполняемую над функцией, можно представить как интегральное преобразование через интеграл Дюамеля, которое применимо и к дробной производной

$$D^{1/2}x(t) = \int_{-\infty}^t h(t-t')x(t')dt', \quad (5)$$

с импульсной характеристикой вида [2]

$$h(t) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{\delta(t-t')}{\sqrt{\varepsilon}} - \frac{\sigma(t-t')}{2(t-t'+\varepsilon)^{3/2}} \right), \quad (6)$$

где $\delta(t)$, $\sigma(t)$ – дельта-функция и функция Хевисайда соответственно.

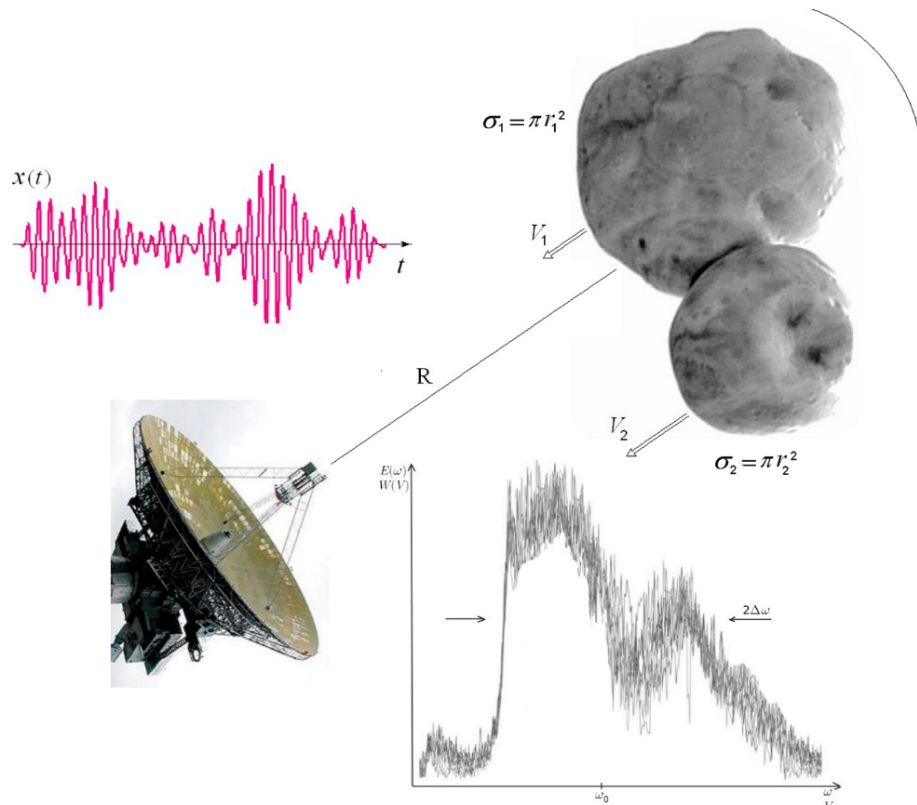


Рис. 1. Схема радиолокационного зондирования астероида. К определению параметров спектра (средняя частота ω_0 , полуширина $\Delta\omega$, коэффициент асимметрии γ) доплеровского сигнала $x(t)$ по методу моментов. Например, вращение астероида вокруг своей оси приводит к уширению его доплеровского спектра, а вращение астероида со смещенным центром тяжести – к появлению асимметрии спектра. Здесь $W(V)$ – распределение скоростей отражающих элементов поверхности объекта, а $E(\omega)$ – энергетический спектр сигнала.

Следует заметить, что импульсная характеристика оператора дробной производной принципиально отличается от импульсной характеристики оператора производной целого порядка: последняя имеет локальный характер, так как она задается в виде конечного набора дельта-функций, расположенных в бесконечно малой окрестности друг друга. Импульсная характеристика оператора дробной производной нелокальна, поскольку она отлична от нуля на полубесконечном интервале, который является областью определения сигнала. Таким образом, производная целого порядка – это локальная процедура, результат выполнения которой зависит от поведения функции в окрестности точки, в то время как дробная производная определяется поведением функции во всей ее области определения.

Процедуру дробного дифференцирования в режиме онлайн на борту космического аппарата может выполнить специальное устройство – цифровой (ЦДДФ) или аналоговый дробно-дифференцирующий фильтр (АДДФ).

В численных расчетах, в отличие от строгого определения (5), приходится ограничиваться выражениями близкими к предельным, но не предельными. В [10] введено понятие предпроизводной

$$D_{\varepsilon}^{1/2} x(t) = \int_{-\infty}^t h_{\varepsilon}(t-t') x(t') dt' = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^t \left(\frac{\delta(t-t')}{\sqrt{\varepsilon}} - \frac{\sigma(t-t')}{2(t-t'+\varepsilon)^{3/2}} \right) x(t') dt'. \quad (7)$$

Дискретизация ядра оператора предпроизводной приводит к искомой процедуре построения ЦДДФ [12]. С другой стороны, аппроксимация ядра набором затухающих экспонент [10] позволяет построить АДДФ, собранный из астатических звеньев автоматики первого порядка.

Под малым, но конечным здесь понимается минимальный временной масштаб в задаче, который принимается за характерную единицу времени. Таким масштабом является типичное время задержки сигнала в фильтре, которое обычно имеет порядок 1 мкс. Это позволяет обезразмерить независимую переменную. С данного момента будет считаться, что время нормировано на время задержки в фильтре. Первая часть подынтегрального выражения является локальной, она действует при подсчете только текущий отчет, а вторая – нелокальной частью, которая учитывает память о сигнале. Можно сказать, что дробная производная Лиувилля имеет физический смысл скорости стирания памяти о сигнале.

Малые небесные тела асферической формы

Популяция известных астероидов и ядер комет, существенно выросшая за последние годы, вызывает необходимость систематизации их описания и каталогизации объектов по геометрическим характеристикам. Значительную ценность представляет определение принадлежности космических объектов к некоторым уже сложившимся классам. Для решения задач космогонии Солнечной системы важно селективировать объекты на имеющие простую, близкую к сферической, форму и объекты сложной формы. Под сложной формой объектов понимается отличная от сферы форма, имеющая больше одного локального участка отражения. К таким объектам «неправильной» формы относятся, например, вытянутые космические объекты, объекты V-образной формы или объекты, образованные из слипшихся фрагментов (контактно-двойные астероиды), представленные на рисунке 2. «Неправильность» формы объекта проявляется в асимметрии спектра радиосигнала, отраженного от поверхности объекта.

Если зондировать такой вращающийся асимметричный астероид, то спектр будет также асимметричным. Асимметрия доплеровского спектра свидетельствует либо о несферической форме астероида, либо (или одновременно с этим) о смещении его центра тяжести. Последнее, в частности, предполагает, что форма может быть и в точности сферической, но из-за неравномерно распределенной массы внутри объекта, центр тяжести объекта не совпадает с его геометрическим центром.

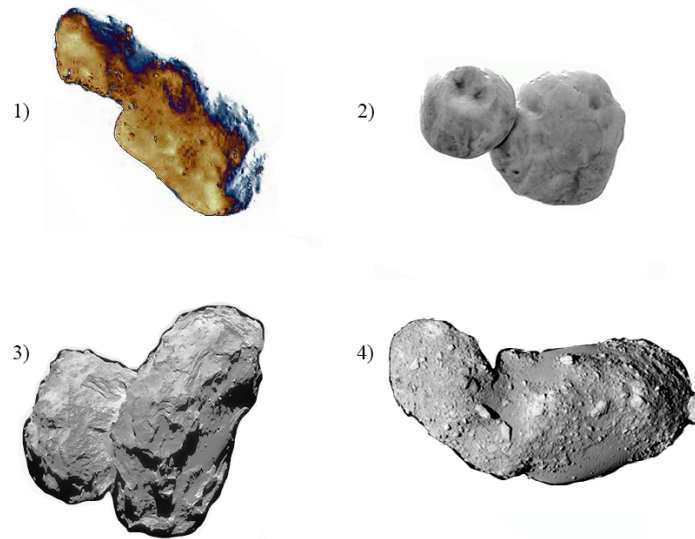


Рис. 2. Небесные тела несферической формы: 1) астероид Таутатис; 2) контактно-двойной астероид 2014MU; 3) ядро кометы Чурюмова-Герасименко; 4) астероид Итокава.

Метод моментов, расчет дробной производной порядка 3/2 и структура дробно-дифференцирующего фильтра

Для задач распознавания в радиолокации широко используются в качестве признаков сигналов функционалы от их спектральной плотности мощности – спектральные моменты [11]. Так, например, первый начальный момент M_1 распределения определяет среднюю скорость движения центра масс астероида и может служить для прогноза его траектории.

В работах [9, 10] было показано, что для быстрой оценки момента M_1 спектра

$$M_1 = \langle \omega \rangle = \omega_0 = \frac{1}{E_0} \int_0^{\infty} \omega E(\omega) d\omega = \frac{1}{E_0} \int_0^{\infty} |\sqrt{i\omega} S(\omega)|^2 d\omega = \frac{\|D^{1/2}x\|^2}{\|x\|^2} \quad (8)$$

следует использовать дробную производную Лиувилля порядка $1/2$ доплеровского сигнала. Преимущество метода дробного дифференцирования сигнала состоит в том, что сигнал подвергается обработке непосредственно в ходе приема сигнала, а не после получения всего сигнала, как в стандартном методе преобразования Фурье; это потенциально дает возможность ускорить процесс обработки на несколько порядков [1,2,9].

О реализации вычисления полуцелой производной в темпе поступления входной информации с помощью линейных дробно-дифференцирующих фильтров (ДДФ) со стационарной импульсной характеристикой описано в первой главе. Моменты четного порядка, такие как M_2 вида

$$M_2 = \langle \omega^2 \rangle = \frac{1}{E_0} \int_0^{\infty} \omega^2 E(\omega) d\omega = \frac{1}{E_0} \int_0^{\infty} |i\omega S(\omega)|^2 d\omega = \frac{\|D^1x\|^2}{\|x\|^2} \quad (9)$$

вычисляются с помощью производных целого порядка.

Третий центральный момент M_3 вида

$$M_3 = \langle \omega^3 \rangle = \frac{1}{E_0} \int_0^{\infty} \omega^3 E(\omega) d\omega = \frac{1}{E_0} \int_0^{\infty} |(i\omega)^{3/2} S(\omega)|^2 d\omega = \frac{\|D^{3/2}x\|^2}{\|x\|^2} \quad (10)$$

определяет асимметрию распределения скоростей точек поверхности при вращении и может служить показателем смещения центра масс астероида или степени его отличия от сферичности. Во всех моментах i – мнимая единица, $S(\omega)$ – спектральная плотность амплитуды сигнала.

Аналогично дробной производной порядка $\frac{1}{2}$ в численных расчетах приходится ограничиваться выражениями близкими к предельным, но не предельной точности, поэтому также вводится предпроизводная вида

$$D_\varepsilon^{3/2}x(t) = \int_{-\infty}^t h_\varepsilon(a, t-t')x(t')dt' = -\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^t \left(-\frac{2}{\sqrt{\varepsilon}} \cdot \frac{d\delta(t-t')}{d(t-t')} + \frac{\delta(t-t')}{\varepsilon^{3/2}} - \frac{3\sigma(t-t')}{2(t-t'+\varepsilon)^{5/2}} \right) x(t')dt'. \quad (11)$$

На рисунке 3 представлена схема структуры АДДФ для вычисления дробной производной порядка $\frac{3}{2}$. Данная схема подобная схеме, которая была приведена в работе [10] для вычисления дробной производной порядка $\frac{1}{2}$. Для сокращения аппаратных затрат можно было бы предложить объединенную структуру, которая позволит в два раза сократить число астатических звеньев по сравнению с независимым вычислением производных порядка $\frac{1}{2}$ и $\frac{3}{2}$.

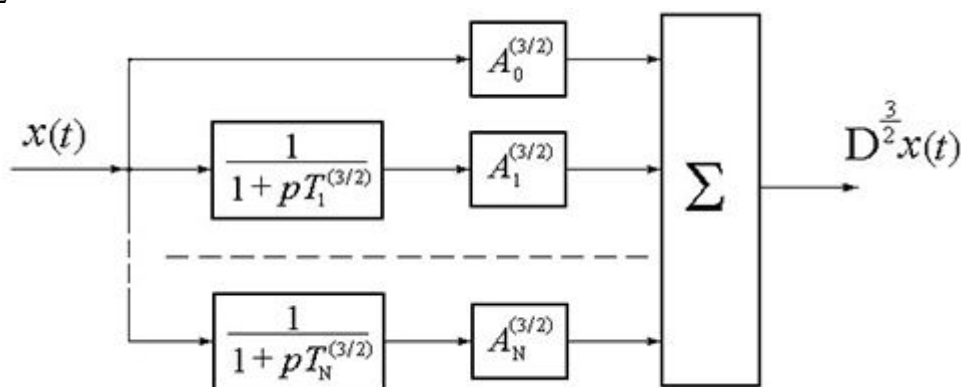


Рис. 3. Структура аналогового дробно-дифференцирующего фильтра для вычисления дробной производной порядка $3/2$.

Заключение

В работе был предложен алгоритм определения центра тяжести и асимметрии доплеровского спектра. Алгоритм реализован на основе дробного дифференцирования, которое предложено осуществлять с помощью аналогового и цифрового фильтров. Также рассмотрена схема аналогового дробно-дифференцирующего фильтра порядка $\frac{3}{2}$, с помощью которого вычисляются моменты доплеровского спектра вплоть до третьего порядка. Моменты позволяют определить асимметрию распределения скоростей точек поверхности при вращении, что может служить показателем смещения центра масс астероида или степени его отличия от сферичности. Предложена структура аналогового дробно-дифференцирующего фильтра, позволяющего одновременно вычислять производные порядка $\frac{1}{2}$ и $\frac{3}{2}$ сигнала с высокой скоростью по сравнению со стандартной процедурой спектральной обработки.

Примечание

Исследования выполнены за счет средств РНФ совместно с грантом Администрации Волгоградской области, номер проекта 25-22-20082.

Библиографический список

1. Захарченко В. Д. Оценка средней частоты доплеровских сигналов методом дробного дифференцирования // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 1999. – Т.2. – С.39–41.
2. Захарченко В. Д., Коваленко И. Г. Оценка радиальной скорости объектов методом дробного дифференцирования доплеровского сигнала РЛС // 23-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2013): Материалы конф. в 2-х томах (Севастополь, 9–13 сент. 2013 г.). – Севастополь: Вебер, 2013. Т.2. С. 1120-1121.
3. Калиткин Н. Н. Численные методы // Главная редакция физико-математической литературы. – 1978. – М.: Издательство «Наука». – С. 512.
4. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – 1987 – М.: Издательство «Мир».
5. Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка, и некоторые их приложения. – 1987. – Минск: Издательство «Наука и техника». – С. 688.
6. Шустов Б.М., Рыхлова Л.В. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра // Институт астрономии РАН – 2009.
7. Franks L.E. Signal Theory. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 1969.
8. Frigo M., Johnson S.G. A Modified Split-Radix FFT With Fewer Arithmetic Operations // IEEE Trans. on Signal Process. – 2007. – №55(1). – P.111-119.
9. Zakharchenko V. D., Kovalenko I. G. On protecting the planet against cosmic attack: ultrafast real-time estimate of the asteroid's radial velocity // Acta Astronautica. – 2014. – Vol. 98. – P. 158–162.
10. Zakharchenko V. D., Kovalenko I. G. Best approximation of the fractional semi-derivative operator by exponential series // Mathematics. – 2018. –Vol.6, Issue 1. – id 12. – P.1–12.
11. Khan G.; Shapiro S. Statistical models in engineering problems.; Publisher: World, Russia, 1969.
12. Левчук (Бондарь) Ю.А., Коваленко И.Г., Захарченко В.Д. Цифровой дробно-дифференцирующий фильтр для сверхбыстрой оценки лучевой скорости потенциально опасных для Земли астероидов. Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове. – 2018 – № 226 – С. 32-34.

СЕКЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»

УДК 691.328.5

**МЕТОДОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРЫ
В ЭФФЕКТИВНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ИЗДЕЛИЯХ****В.В. Белов, К.А. Эквист***Тверской государственной технической университет,
Россия, Тверь, vladim-bel@yandex.ru*

Аннотация. Приведен обзор по применению базальтового волокна (фибры) и других дополнительных составляющих (таких как микрокальцит) для улучшения строительно-технических свойств бетона. Анализ источников показал, что применение базальтового волокна в качестве армирующего компонента положительно влияет на ряд свойств материала, таких как прочность на изгиб, прочность на сжатие и морозостойкость, а микрокальцит позволяет уменьшить пористость материала и увеличить плотность. Учет оптимального распределения структурных элементов в объеме строительного материала позволяет достаточно полно описать поведение материала и, в частности, существенно повысить прочность бетона и получить его новые перспективные виды.

Ключевые слова: базальтовая фибра, микроармирующий компонент, фибробетон, микрокальцит

**METHODOLOGY FOR USING BASALT FIBER
IN EFFICIENT THIN-WALLED CLADDING PRODUCTS****V.V. Belov, K.A. Equist***Tver State Technical University,
Russia, Tver, vladim-bel@yandex.ru*

Abstract. An overview is given on the use of basalt fiber (fiber) and other additional components (such as microcalcite) to improve the construction and technical properties of concrete. Analysis of the sources showed that the use of basalt fiber as a reinforcing component has a positive effect on a number of material properties, such as bending strength, compressive strength and frost resistance, and microcalcite can reduce the porosity of the material and increase the density. Taking into account the optimal distribution of structural elements in the volume of construction material makes it possible to fully describe the material management and, in particular, significantly increase the strength of concrete and obtain its new promising types.

Keywords: basalt fiber, micro reinforcing component, fiber concrete, microcalcite

Актуальность данной работы обуславливается тем, что бетонные тонкостенные облицовочные изделия все больше набирают популярность в современном строительстве, а, следовательно, возникает необходимость создания состава, изделия из которого с одной стороны, должны выглядеть эстетично, а с другой стороны, обладать рядом необходимых строительно-технических свойств. Готовые изделия должны отвечать жестким требованиям к прочности, трещиностойкости, морозостойкости и коррозионной стойкости.

Такие сложные задачи требуют наиболее новых, прогрессивных решений. Такое стало возможным с применением в состав бетона ввода дисперсных волокон. Для армирования используют различные виды волокон, имеющих металлическое, неметаллическое, органическое и природное происхождение. Названия такому бетону дают в зависимости от волокон, используемых в его составе - фиброармированный бетон, сталефибробетон, стеклофибробетон и т.д.

Номенклатура таких волокон чрезвычайно обширна. Здесь могут применяться дефицитные волокна, такие как кремний, углерод, вольфрам, и довольно распространенные в промышленности базальт, стекло, сталь, полимеры. Несомненно, можно применять в качестве армирования и природные древесные волокна, но они в отношении конструкции и ряде прочностных характеристик уступают искусственным волокнам [1].

Различными отечественными и зарубежными учеными показана принципиальная возможность применения базальтовых волокон для улучшения эксплуатационных и физико-механических свойств мелкозернистого бетона. Массовое применение базальтофибробетона (БФБ) в строительстве сдерживается недостаточной изученностью его долговечности, износостойкости и эксплуатационной пригодности в различных условиях эксплуатации. Препятствие для широкого внедрения этого материала создают отсутствие технологических решений, направленных на получение БФБ с нормируемыми физикомеханическими характеристиками, неоднозначность результатов исследований стойкости базальтового волокна в цементных матрицах, а также данных по долговечности в нормативных и руководящих материалах для проектирования [2].

Базальтовые волокна представляют интерес для применения в строительстве благодаря их механическим характеристикам, основные из которых: диаметр волокон от 10 до 20 мкм, температура применения от -200 до $+600$ °С, плотность 2800 кг/м³, модуль упругости от 9100 до 11000 МПа.

Исследования образцов из высокопрочного бетона свидетельствуют, что добавление в них базальтовой фибры повышает его прочность при растяжении на $42-48$ % [3]. В [4] также было отмечено, что базальтовая фибра существенно увеличивает энергоёмкость разрушения мелкозернистого бетона до $2,2$ раз.

В результате изучения влияния содержания базальтовой фибры на энергоёмкость ударного разрушения после определенного числа циклов замораживания и оттаивания в работе [5] получены следующие данные: энергозатраты на разрушение образцов, содержащих 2 и 4 % базальтовой фибры после 5 циклов замораживания/оттаивания превосходят энергозатраты на разрушение образцов контрольной (неармированной) серии на 19 и 60 % соответственно, что свидетельствует о повышении морозостойкости материала, армированного базальтовым волокном (рис. 1).

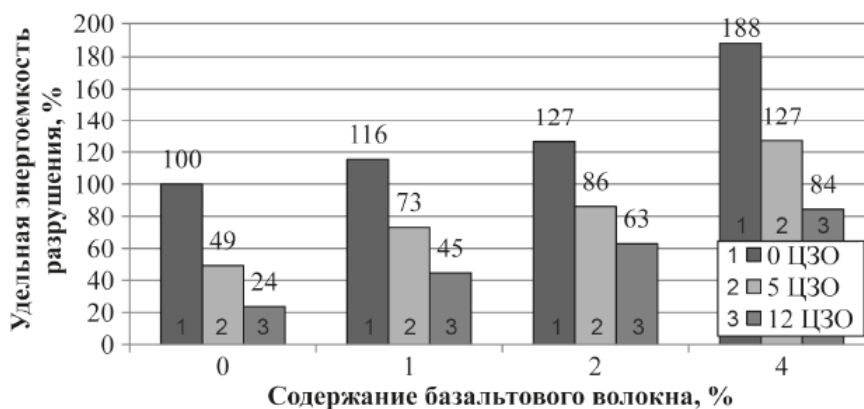


Рис. 1. Изменения удельной энергоёмкости разрушения мелкозернистого бетона, армированного базальтовым волокном при неизменном количестве сбрасываний груза, в зависимости от количества циклов замораживания-оттаивания [5]

Решением вопросов экономии, энерго- и ресурсосбережения при производстве фибробетона может стать использование техногенных отходов, в большом количестве получаемых при реконструкции и ремонте промышленных зданий и сооружений или коммуникационных сетей, где одним из основных отходов является минеральная или стеклянная вата [6].

Проведенные в работе [7] экспериментальные исследования показали, что применение базальтовых волокон при дисперсном армировании бетонов позволяет не только увеличить прочностные показатели при сжатии и растяжении в $1,5$ и $1,3$ раза соответственно, но и значительно улучшить деформативные характеристики материала: увеличить значения пре-

дельных деформаций при сжатии на 79 % и при растяжении на 56 %, повысить начальный модуль упругости на 23 %.

За рубежом также проводятся исследования свойств фибробетонов. Д. Брэнстон [8] обнаружил, что добавление базальтовой фибры в бетон является эффективным средством для предотвращения трещинообразования в результате снижения свободной усадки бетона, а также замедления роста трещин, если они все же возникают.

В работе [9] выявлено, что добавление всего лишь 1 % фибры от массы вяжущего значительно повышает момент трещинообразования в бетоне (рис. 2).

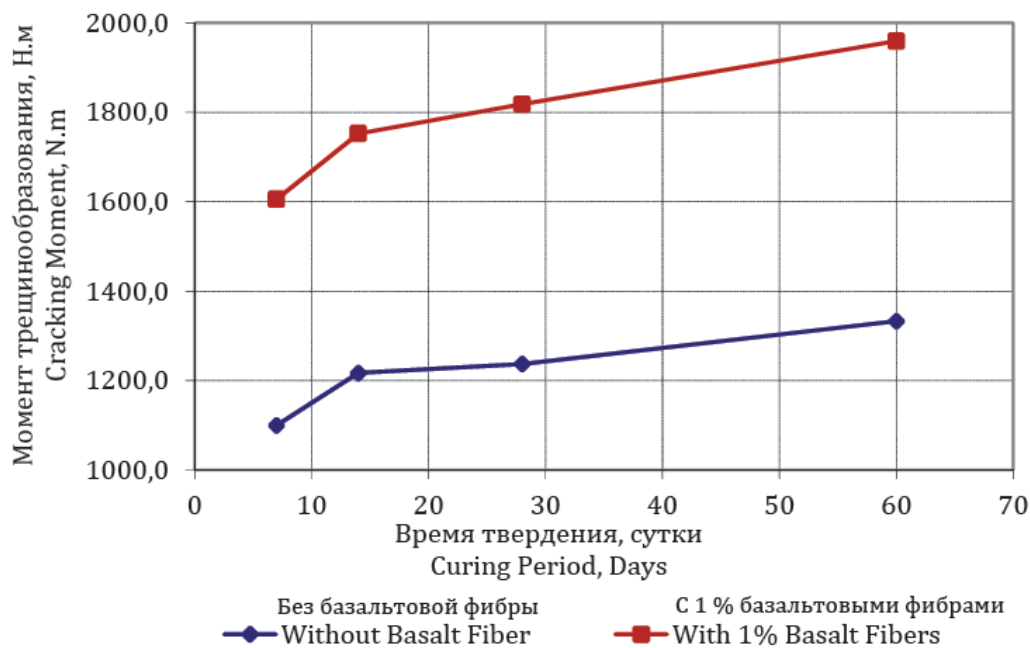


Рис. 2. Момент трещинообразования образцов из высокопрочного бетона в зависимости от времени твердения [12]

Другой насущной проблемой экологического и технического характера при получении эффективных цементобетонных изделий является модифицирование цемента путем использования дисперсных добавок. В производстве цемента выделяется CO_2 в атмосферу, как непосредственно при нагревании карбоната кальция с образованием извести и диоксида углерода, так и косвенно, за счет сжигания большого количества топлива. Цементная промышленность производит около 10 % глобальных антропогенных выбросов CO_2 , из которых 60 % приходится на химический процесс, а 40 % – на сжигание топлива. Согласно проведенным исследованиям на 4 млрд. т. цемента, производимого ежегодно, приходится 8 % мировых выбросов CO_2 . Эти выбросы могут быть уменьшены за счет снижения содержания клинкера в цементе, а также с помощью альтернативных методов производства цемента, таких как использование тонкодисперсных добавок на основе вторичного сырья промышленного производства и переработки горных пород: шлаков, зол, микрокремнезема, карбонатной муки. Присутствие в строительной смеси эффективных модифицирующих добавок может обеспечить снижение расхода цемента на 1 м^3 растворной или бетонной смеси до 15–30 %, а также повысить свойства материала при правильном подборе состава [10].

Микрокальцит – минеральный наполнитель высокого качества, который используют в качестве добавки к бетону и не только. Любая каменная мука, и особенно полученная из мрамора, т.е. микрокальцит повышает строительные качества бетона: делает его прочнее, увеличивает стойкость к коррозии и снижает водопоглощение. Так в бетонах повышенной прочности каменную муку (обобщенное наименование микрокальцита) применяют в качест-

ве окрашивающего наполнителя. С его использованием производится ряд строительных смесей, а именно: сухие штукатурочные покрытия; шпаклевки; затирки, замазки; строительные растворы декоративного применения; красящие составы; побелки.

Тонкодисперсные наполнители получили широкую популярность в бетонном производстве, поскольку добавляют бетону ряд специальных свойств: повышают плотность структуры материала; снижают вероятность образования пор и пустот; повышают водонепроницаемость смесей; уплотняют контактную зону цемента с наполнителем.

Установлено, что в мраморе имеется какое-то количество растворимых соединений, представленных по большей части бикарбонатом кальция, который в свою очередь может помогать формированию указанных выше соединений не только на поверхности мрамора, но и внутри цементного камня. Протекание химических реакций мрамора с продуктами гидратации цемента приводит к повышению прочности бетона, а также снижению его водопоглощения и повышению морозостойкости вследствие уплотнения внутрипорового пространства цементного камня [11].

В работе [12] опытным путем получено, что с повышением дисперсности микрокальцита происходит постепенное улучшение всех свойств цементного камня. Так если прочность на сжатие бездобавочного состава составляла 53 МПа, а на изгиб – 21 МПа, то прочность состава, содержащего микрокальцит дисперсностью 300 мкм, на сжатие – 82 МПа, а на изгиб – 53 МПа. При введении 5 % микрокальцита и с ростом его фракции значение пористости плавно уменьшается с 7,1 % до 4,8 %. При повышении дисперсности микрокальцита наблюдается снижение значений водопоглощения от 3,4 % для бездобавочного состава до 2,1 % для состава, содержащего микрокальцит с фракцией 300 мкм.

Озвученные выше рецептурные факторы не единственное, что необходимо учитывать при получении эффективных тонкостенных облицовочных материалов, которые сегодня приобретают большую популярность. При использовании многослойных конструкций особое место в архитектуре занимает именно отделочный слой. Важными свойствами, кроме эстетической стороны, является долговечность и прочность. Масштабы объектов капитального строительства растут с каждым годом, и сложность их обслуживания тоже возрастает, поэтому особое внимание уделяется размерам, весу и удобству эксплуатации облицовочных материалов.

К числу востребованных на рынке форм-факторов облицовочных материалов принадлежат бетонные тонкостенные панели. Применение новых большиеразмерных изделий является основной задачей для проектировщиков-архитекторов. Одним из самых эффективных материалов для таких изделий и является фибробетон. Преимущества этого материала: высокая прочность на сжатие и растяжение при изгибе, огнестойкость, атмосферостойкость, эстетичность, практически водонепроницаемость материала, – наиболее полно реализуемые в фибробетонных тонкостенных облицовочных панелях, достигаются в том числе за счет эффективной технологии изготовления этих изделий. Наиболее часто применяемая технология делится на 2 вида – вибролитье и торкретирование. В первом случае раствор мелкодисперсной бетонной смеси с фиброй вымешивается в смесителе и формируется путем литья и вибрационного воздействия (рис. 3). Во втором случае смесь наносится с помощью специализированного оборудования (рис. 4).

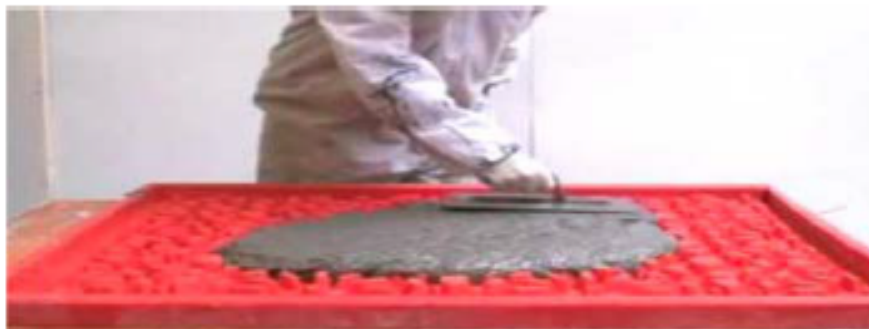


Рис. 3. Технология вибротелья [13]

Малый вес фибробетонных тонкостенных облицовочных панелей достигается прежде всего за счет их толщины. Имея достаточно большую плотность (до 1800 кг/м^3), при толщине изделий от 25 до 40 мм их средняя масса составляет 54 кг/м^2 .

У технологии торкретирования важным преимуществом является относительная быстрота изготовления, возможность получения изделий сложной конфигурации и способность к нанесению сразу на подоснову (несущую стену, кладку и т.п.) Отрицательные черты этого метода – относительная пористость материала, появление на лицевой поверхности волосков фибры, что отрицательно сказывается на эстетической стороне изделий, а также неоднородность нанесения, которая сильно зависит от профессионального навыка изготовителя.



Рис. 4. Технология торкретирования [13]

Второй способ позволяет получать материалы с высокой плотностью (до 2350 кг/м^3) и прочностью, а также качеством лицевого слоя за счет высокочастотного вибрирования (фибра под вибрацией поднимается с поверхности формообразователя). Использование дополнительной вибрации в целом улучшает качество материала, но усложняет процесс изготовления [13].

Фибробетонные плиты эффективно использовать в фасадных системах быстровозводимых зданий. Стоимость фибробетона значительно выше стоимости обычного бетона. Данный недостаток компенсируется долговечностью материала. Фибробетоны дают экономический эффект за счет высоких показателей долговечности, эксплуатационной пригодности, износостойкости, трещиностойкости, ударопрочности, а также повышения межремонтного ресурса и безопасности зданий и сооружений при пожарах и сейсмических воздействиях.

Этот продукт отвечает как требованиям качества, так и стремлению к использованию тонких и сравнительно легких большеразмерных изделий. В целом использование фибробе-

тона является гораздо более экономичным, чем использование железобетона, особенно с учетом экономии сырьевых ресурсов и затрат на транспортировку и монтаж конструкций. Фибробетон обладает отличными характеристиками, которые позволяют использовать его в особо суровых климатических условиях: термостойкость и морозостойкость, негорючесть и стойкость к воздействию микроорганизмов [14].

В заключении можно сделать вывод о том, что наличие базальтового волокна в составе фибробетона (в определенной пропорции) значительно повышает многие эксплуатационные характеристики, такие как: прочность на сжатие и изгиб, морозостойкость, трещиностойкость. Микрокальцит в составе бетона положительно сказывается на прочности и плотности готового изделия, увеличивая их. На основе двух данных компонентов можно получить эффективные облицовочные изделия.

Библиографический список

1. Котляревская А.В., Лубенец Я.В., Котляревский А.А. Актуальность применения базальтовой фибры в современном строительстве // Инженерный вестник Дона. 2021. № 11. С. 507-516.
2. Окольников Г.Э., Йочич М., Курлин М. Перспективы применения полидисперсно-армированных фибробетонов // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 86-88.
3. Плевков В.С., Колупаева С.Н., Кудряков К.Л. Расчетные диаграммы нелинейного деформирования базальтофибробетона при статических и кратковременных динамических воздействиях // Вестник ТГАСУ. 2016. № 3. С. 95-109.
4. Алексеев К.Н., Курилко А.С., Захаров Е.В. Влияние базальтового волокна (фибры) на вязкость и энергоемкость разрушения мелкозернистого бетона // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 12. С. 56-63.
5. Алексеев К.Н. Влияние циклов замораживания-оттаивания на способность мелкозернистого бетона сопротивляться динамическим (ударным) нагрузкам в зависимости от содержания базальтовой фибры // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 12. С. 84-91.
6. Демьяненко О.В., Копаница Н.О., Ничинский А.Н. Физико-технические свойства фибробетонов с использованием вторичного минераловатного сырья // Современные бетоны: наука и практика. 2019. С. 16-20.
7. Бучкин А.В. Мелкозернистый бетон высокой коррозионной стойкости, армированный тонким базальтовым волокном. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2011. 20 с.
8. Branston J., Das S., Kenno S. Y., Taylor C. Influence of basalt fibres on free and restrained plastic shrinkage," Cement and Concrete Composites // Using Eccentrically Sample to Find the Relationship between Resistivity and Cracking Time in Cement Paste Vides Mechanical Strength and Electrical Resistivity. 2016. pp. 182-190.
9. Харун М., Коротеев Д.Д., Дхар П., Ждеро С., Елроба Ш.М. Физико-механические свойства базальтоволокнистого высокопрочного бетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. С. 396-403.
10. Копаница Н.О., Демьяненко О.В., Куликова А.А. Комплексные добавки на основе вторичных ресурсов для модификации цементных композиций // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 1. С. 136-144.
11. Сарайкина К.А., Голубев В.А., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н. Повышение коррозионной стойкости базальтового волокна в цементных бетонах / Доклады 8-ой Международной конференции «Нанотехнологии в строительстве». 2016. С. 27-30.
12. Урбанов А.В., Манушина А.С., Дмитриева Е.А., Курдюмова С.Е., Потапова Е.Н. Разработка строительной смеси для малых архитектурных форм // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Том 31. №1. С. 25-27.
13. Огнева К.Н. Применение тонкостенных армированных материалов для облицовки гражданских зданий / Научные труды калужского государственного университета имени К.Э. Циолковского. Сер. Естественные и технические науки. 2020. С. 48-52.
14. Давтян А.С., Киракосян В.А. Предпосылки развития тонкостенных конструкций в перспективе использования в строительстве быстровозводимых зданий / Проектирование и строительство. Сборник научных трудов 4-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров. Юго-Западный государственный университет. 2020. С. 104-108.

УДК 543.062; ГРНТИ 31.19.15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ МЕТОДОМ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ

К.А. Ветшев, А.Ю. Мишанина

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, vetshev.k.a@rsreu.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается применение спектрофотометрии как основного инструмента аналитической химии для изучения взаимодействия света с химическими веществами. Эксперимент был проведен на растворах сульфата меди и гидроксида тетрааминмеди (II) с концентрацией 0,5 моль/л. Полученные спектры показали, что катион тетрааминмеди (II) обладает более высоким коэффициентом светопропускания в диапазоне 380–450 нм с максимумом на 420 нм, в то время как сульфат меди демонстрирует максимум на 480 нм. Также была рассчитана оптическая плотность растворов.

Ключевые слова: спектрофотометрия, коэффициент светопропускания, сульфат меди, гидроксид тетрааминмеди (II), концентрация, спектры.

DETERMINATION OF COMPLEX COMPOUNDS OF COPPER BY SPECTROPHOTOMETRY

K.A. Vetshev, A.Yu. Mishanina

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, vetshev.k.a@rsreu.ru

Abstract. This paper discusses the use of spectrophotometry as a basic tool in analytical chemistry for studying the interaction of light with chemicals. The experiment was conducted on solutions of copper sulfate and tetraamine copper (II) hydroxide with a concentration of 0.5 mol/L. The obtained spectra showed that the tetraamine copper (II) cation has a higher transmittance in the range of 380–450 nm with a maximum at 420 nm, while copper sulfate demonstrates a maximum at 480 nm. The optical density of the solutions was also calculated.

Keywords: spectrophotometry, transmittance, copper sulfate, tetraamine copper (II) hydroxide, concentration, spectra.

Спектрофотометрия является одним из основных инструментов аналитической химии и предоставляет мощные средства для изучения взаимодействия света с веществом. Этот метод позволяет исследовать абсорбцию, отражение и рассеяние света, что делает его особенно полезным для анализа сложных химических смесей. В последние годы спектрофотометрия активно применяется для определения концентраций различных химических соединений, включая металлы и их комплексы [1].

Принцип работы спектрофотометра основан на измерении количества света, поглощаемого веществом при определенной длине волны. Каждый химический соединение имеет уникальный спектр поглощения, что позволяет идентифицировать и количественно оценивать присутствие исследуемого элемента в растворе.

Избирательное поглощение в определённой области спектра связано с наличием в молекулах определённых атомных групп, которые содержат одну или несколько кратных связей и/или имеют неподелённые электронные пары. Эти группы атомов, отвечающие за цвет вещества при поглощении в видимой области спектра, называются хромофорами. К ним относятся карбонильные, карбоксильные, азометиновые, этиленовые, нитритные, нитратные и нитрозогруппы, а также хиноидная структура. Наличие одной и той же атомной группы в различных молекулах, относящихся к разным классам соединений, приводит к возникновению аналогичного, характерного для этой группы максимума поглощения, хотя и с некоторыми искажениями, вызванными окружающей средой [2].

Определение содержания веществ с помощью молекулярной абсорбционной спектроскопии (спектрофотометрии) может осуществляться как напрямую, так и с применением специализированных фотометрических реагентов. Чтобы выявить «бесцветные» катионы и анионы, сначала нужно преобразовать исследуемый компонент в окрашенный продукт с помощью подходящего реагента. В этом процессе применяются как неорганические, так и ор-

ганические реагенты. Одним из вариантов такого процесса является перевод исследуемого вещества в комплексное состояние.

Аммиак образует довольно устойчивые окрашенные комплексные ионы с медью, никелем и кобальтом, такими как $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ и $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, при этом молярный коэффициент поглощения ϵ составляет примерно 100–700. Для аммиачных комплексов металлов характерен процесс ступенчатого комплексообразования. В результате, при определенном значении pH в равновесии могут находиться несколько комплексных соединений ионов металлов с различными координационными числами. В таких случаях спектральная полоса имеет значительную ширину, и спектры выглядят размытыми [3].

Изначально был приготовлен раствор сульфата меди 5-водного с концентрацией 0,5 моль/л. Далее был снят спектр вещества в диапазоне длин волн от 380 до 780.

Следующим этапом был приготовлен раствор гидроксида тетрааминмеди (II) с аналогичной концентрацией 0,5 моль/л. Затем была получена зависимость коэффициента светопропускания от длины волны видимой области спектра.

Полученные спектры сульфата меди и гидроксида тетрааминмеди (II) представлены на рисунке 1.

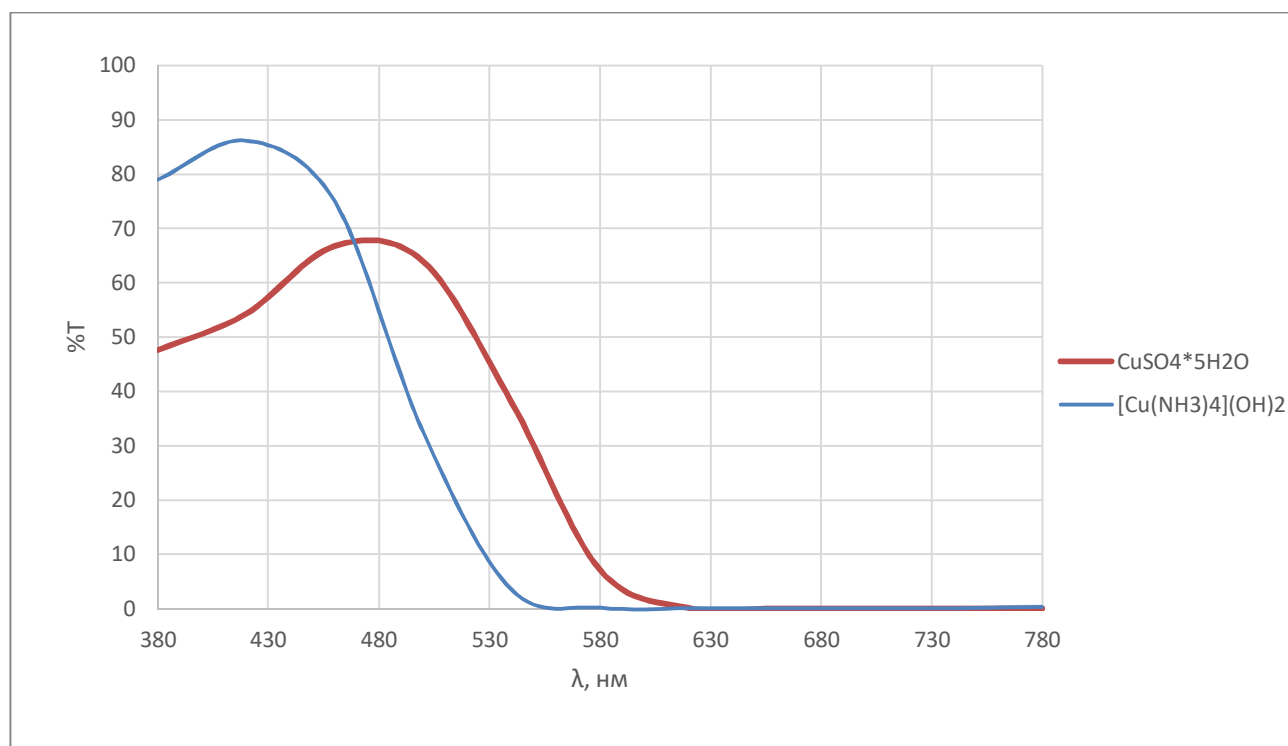


Рис. 1. Спектры сульфата меди и гидроксида тетрааминмеди (II) с концентрацией 0,5М

Как видно из полученных данных катион тетрааминмеди (2+) на диапазоне длин волн от 380 до 450 имеет больший коэффициент светопропускания с максимумом в точке 420 нм – 86,2. В то же время у сульфата меди максимум находится в точке 480 нм и равен 66,8.

Далее по формуле 1 производился расчет оптической плотности по полученным пикам. Она используется для оценки концентрации веществ в растворе. Чем выше оптическая плотность, тем больше света поглощается веществом, что указывает на более высокую концентрацию анализируемого компонента. Оптическая плотность может варьироваться от 0 при отсутствии поглощения до бесконечности при полном поглощении света.

$$D = -\lg(T). \quad (1)$$

На рисунке 2 показана полученная зависимость оптической плотности от длины волны для растворов сульфата меди и гидроксида тетрааминмеди (II).

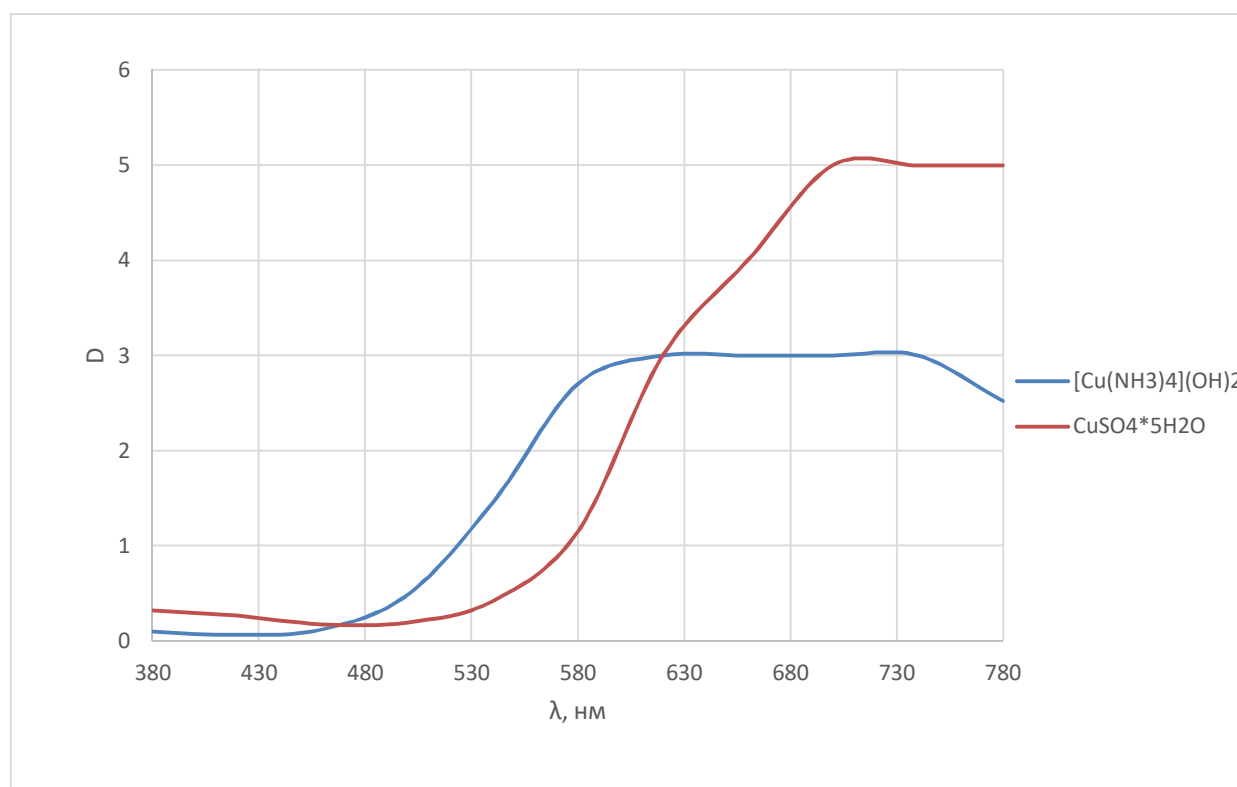


Рис. 4. Оптическая плотность гидроксид тетрааминмеди (II) и сульфата меди относительно длины волны

Из анализа полученных данных следует то, что сульфат меди неачинает поглощать все длины волн спектра после 530 нм. В то же время гидроксид тетрааминмеди (II) поглощает все длины волн после 480 нм.

По результатам работы можно сделать следующий вывод: катион тетрааминмеди (II) демонстрирует более высокий коэффициент светопропускания в диапазоне длин волн от 380 до 450 нм, с максимумом в 420 нм, что указывает на его более выраженное поглощение света по сравнению с сульфатом меди, у которого максимум поглощения находится на 480 нм. Это отличие в спектрах подтверждает присутствие различных хромофоров в молекулах соединений и их уникальные оптические характеристики, что позволяет проводить идентификацию комплексных соединений меди.

Библиографический список

1. Юстратова, В. Ф. Аналитическая химия. Количественный химический анализ : учебное пособие / В. Ф. Юстратова, Г. Н. Микилева, И. А. Мочалова ; под редакцией В. Ф. Юстратова. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2005. — 161 с. — ISBN 5-89289-312-X. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14352.html> (дата обращения: 01.03.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Сизова, Л. С. Аналитическая химия. Оптические методы анализа : учебное пособие / Л. С. Сизова. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2006. — 179 с. — ISBN 5-89289-384-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14353.html> (дата обращения: 01.03.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
3. Мамбетова, Г. Ш. Спектральные методы анализа / Г. Ш. Мамбетова, Р. З. Мусин, М. Ф. Галимова. — Казань : Издательство КНИТУ, 2022. — 112 с. — ISBN 978-5-7882-3140-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/129260.html> (дата обращения: 03.03.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

УДК 543.062; ГРНТИ 31.19.15

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ МЕДИ И НИКЕЛЯ В РАСТВОРЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

К.А. Ветшев, О.А. Бодрова, В.А. Тарасюк, С.Д. Чикина

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, vetshev.k.a@rsreu.ru

Аннотация. В данной статье исследуется применение спектрофотометрии для количественного и качественного анализа смеси сульфата меди и никеля. Оценены спектры в диапазоне видимого света (380-780 нм) при различных концентрациях (0,25М, 0,5М, 0,25М и 1М), выявлено, что с уменьшением концентрации увеличивается коэффициент светопропускания, а сульфат никеля демонстрирует значительное поглощение света в диапазоне 380-480 нм. Оптимальная длина волны для количественного анализа определена на уровне 420 нм, что позволило составить таблицу для определения процентного содержания компонентов смеси. Результаты подчеркивают эффективность спектрофотометрии для анализа сложных химических смесей и её применение в контроле качества и мониторинге.

Ключевые слова: спектрофотометрия, коэффициент светопропускания, сульфат меди, сульфат никеля, концентрация, спектры.

STUDY OF THE QUANTITATIVE CONTENT OF COPPER AND NICKEL IONS IN SOLUTION BY SPECTROPHOTOMETRIC METHOD

K.A. Vetshev, O.A. Bodrova, V.A. Tarasyuk, S.D. Chikina

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, vetshev.k.a@rsreu.ru

Abstract. This paper investigates the application of spectrophotometry for the quantitative and qualitative analysis of a copper-nickel sulfate mixture. The spectra in the visible light range (380-780 nm) were evaluated at different concentrations (0.25 M, 0.5 M, 0.25 M, and 1 M). It was found that the transmittance increased with decreasing concentration, and nickel sulfate demonstrated significant light absorption in the range of 380-480 nm. The optimal wavelength for quantitative analysis was determined to be 420 nm, which allowed us to compile a table for determining the percentage content of the mixture components. The results highlight the effectiveness of spectrophotometry for the analysis of complex chemical mixtures and its application in quality control and monitoring.

Keywords: spectrophotometry, transmittance, copper sulfate, nickel sulfate, concentration, spectra.

Спектрофотометрия — это один из основных методов аналитической химии, используемых для количественного и качественного анализа химических веществ. Он основан на принципе взаимодействия света с веществом и позволяет исследовать абсорбцию, отражение и рассеяние света, что делает его незаменимым инструментом в химии, биохимии, фармацевтике, экологии и многих других областях науки и техники. Спектрофотометрия может использоваться для контроля качества в производственных процессах, мониторинга окружающей среды и исследования свойств новых материалов [1].

Одним из ключевых аспектов спектрофотометрии является ее способность анализировать сложные смеси веществ [2]. В данном исследовании будет изучена смесь сульфата меди и никеля.

Изначально были приготовлены растворы чистых веществ при следующих концентрациях: 0,5М; 0,25М и 0,05М. Затем на спектрофотометре были получены спектры этих смесей в диапазоне видимого света: 380-780 нм. На рисунках 1 и 2 показаны спектры сульфатов меди и никеля при заданных концентрациях.

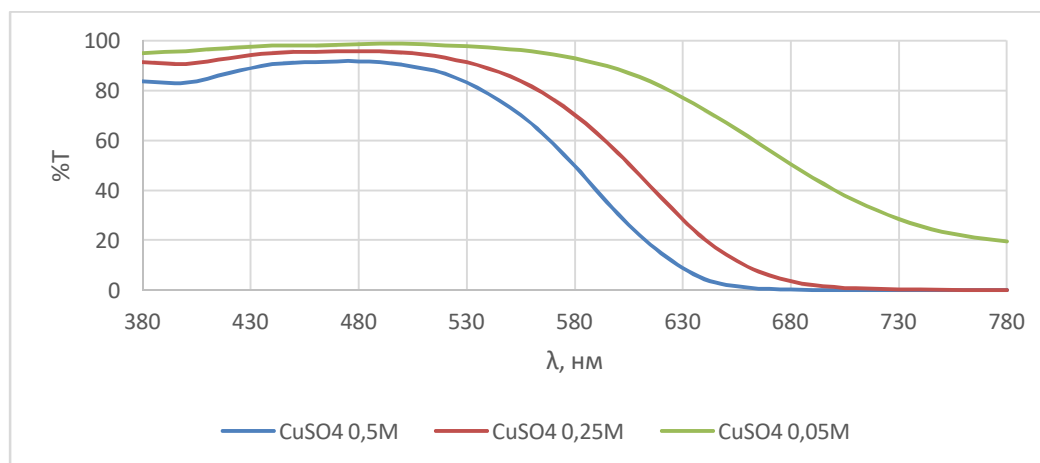


Рис. 1. Спектры сульфата меди при разных концентрациях

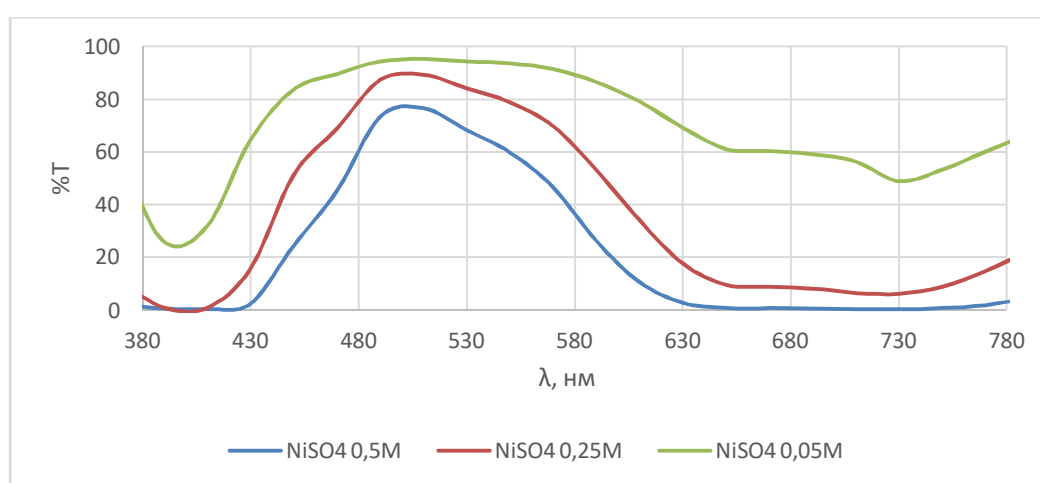


Рис. 2. Спектры сульфата никеля при разных концентрациях

На полученных спектрах хорошо просматривается общая закономерность: при снижении концентрации раствора увеличивается коэффициент светопропускания. Можно заметить, что в диапазоне длин волн от 380 до 480 нм у сульфата никеля наблюдается сильное поглощение света, в то время как у сульфата меди в этом диапазоне данное поглощение отсутствует. Можно предположить, что для идентификации данных веществ стоит использовать именно этот диапазон длин волн. На рисунке 3 представлены спектры сульфатов никеля и меди с концентрациями 0,5М, помещенные на один график.

Для подтверждения выявленной зависимости были приготовлены смеси растворов сульфата меди и никеля при их совместном присутствии. В таблице 1 представлены выбранные соотношения компонентов смеси.

Таблица 1. Соотношения компонентов в смеси

CuSO ₄ 0,5M	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
NiSO ₄ 0,5M	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%

В дальнейшем были сняты зависимости длин волн в области видимого спектра от коэффициента светопропускания. Концентрация каждого компонента смеси была выбрана 0,5М. Полученные результаты представлены в виде плоскости, показанной на рисунке 4.

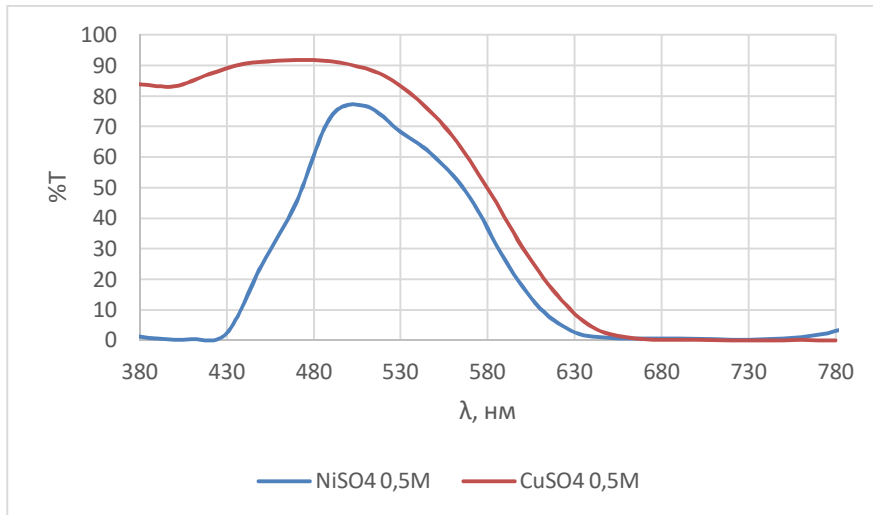


Рис. 3. Спектры сульфата никеля и сульфата меди с концентрацией 0,5М

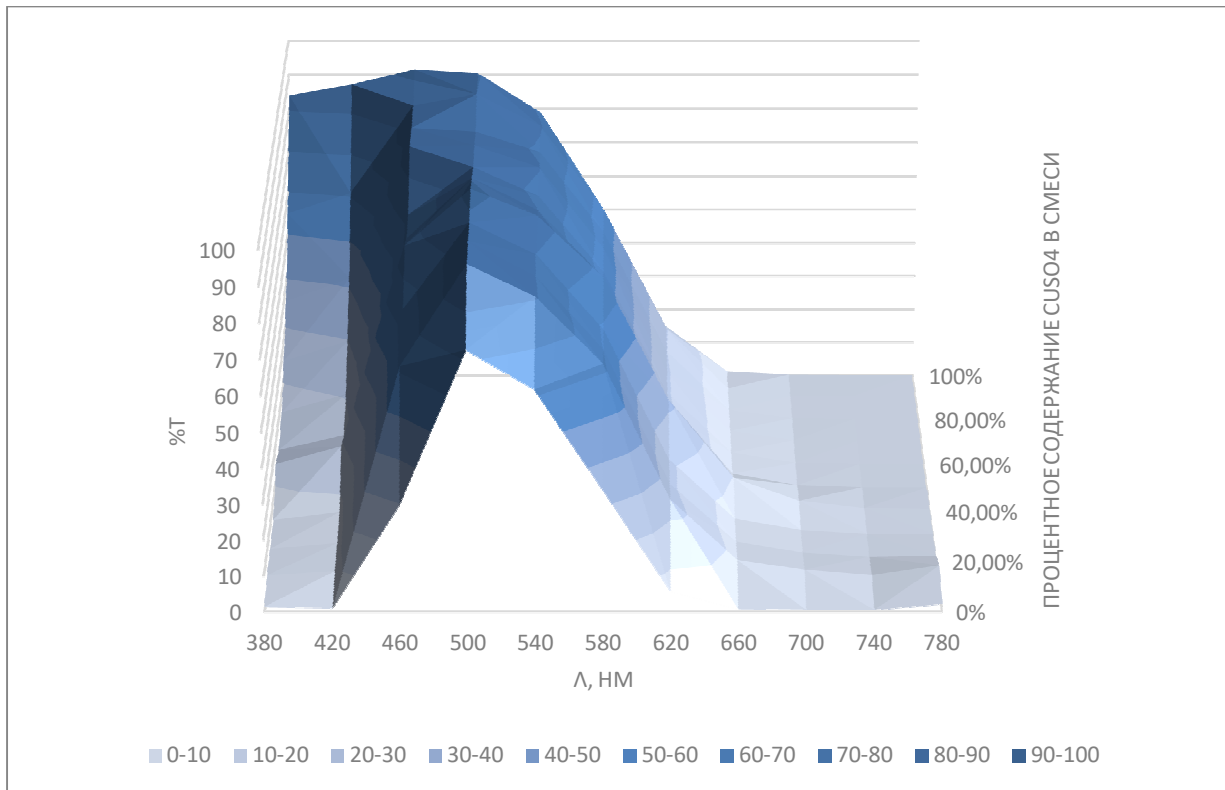


Рис. 4. Плоскость пиков светопропускания для разных соотношений смеси сульфата меди и никеля

Можно сделать вывод, что наиболее подходящей для определения содержания меди и никеля в растворе будет длина волны равная 420 нм. На ней наблюдается четкий переход по коэффициенту светопропускания от 0% при отсутствии сульфата меди в смеси и до 87% при отсутствии сульфата никеля в смеси.

Далее готовились растворы смесей с разными концентрациями: от 0,25М до 1М, для которых измерялся коэффициент светопропускания на выбранной длине волны. На рисунке 5 представлена плоскость полученных значений.

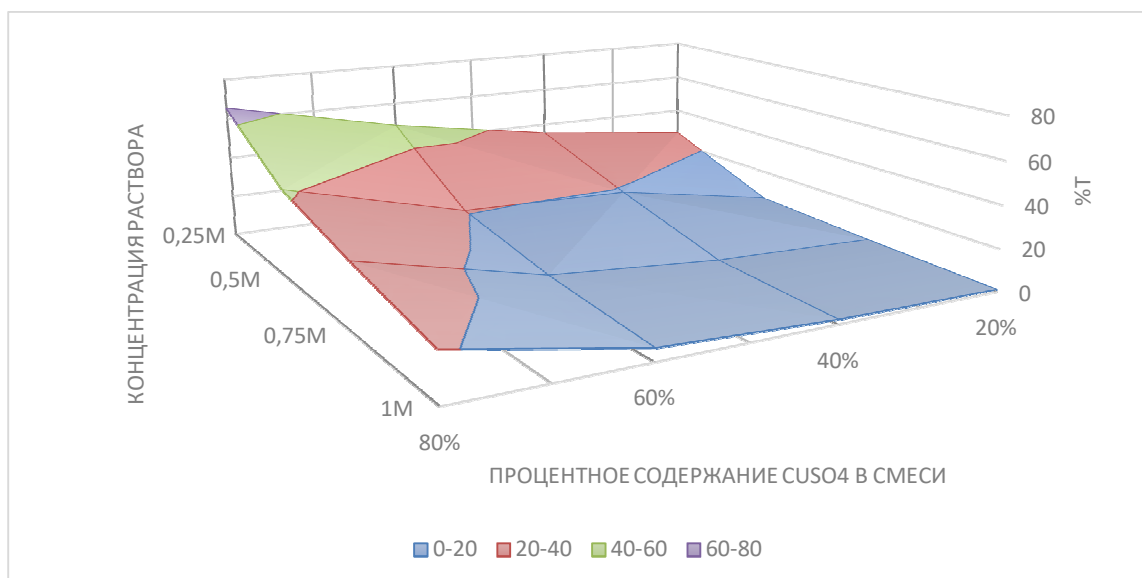


Рис. 5. Плоскость светопоглощения для разных соотношений смеси сульфата меди и никеля при различных концентрациях на длине волны 420 нм

Полученные результаты были сведены в таблицу 2, которую можно использовать для определения содержания компонентов в смеси по известному значению коэффициента светопропускания на длине волны 420 нм.

Таблица 2. Значения коэффициентов светопропускания для разных концентраций и соотношений смеси CuSO_4 и NiSO_4 на длине волны 420 нм

Содержание CuSO_4 в смеси, %	Содержание NiSO_4 в смеси, %	Концентрация раствора, моль/л			
		0,25	0,5	0,75	1
		%T			
20	80	26,3	4,9	2,6	1
40	60	34,9	18,9	5	2,1
60	40	47,9	20,6	11,3	5,8
80	20	65,3	41,8	30,9	21,5

В результате данного исследования была подобрана наиболее оптимальная длина волны для количественного определения сульфата меди и никеля при их совместном присутствии равная 420 нм. Также по экспериментальным данным составлена таблица для определения процентного содержания компонентов смеси сульфата меди и никеля для различных концентраций исходного раствора.

Библиографический список

- Юстратова, В. Ф. Аналитическая химия. Количественный химический анализ : учебное пособие / В. Ф. Юстратова, Г. Н. Микилева, И. А. Мочалова ; под редакцией В. Ф. Юстратова. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2005. — 161 с. — ISBN 5-89289-312-X. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14352.html> (дата обращения: 01.03.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
- Сизова, Л. С. Аналитическая химия. Оптические методы анализа : учебное пособие / Л. С. Сизова. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2006. — 179 с. — ISBN 5-89289-384-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14353.html> (дата обращения: 01.03.2025). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей.

УДК 620.197.3 ГРНТИ 61.31.59

ПОДБОР ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ В КИСЛОЙ СРЕДЕ

Е.В. Воробьева, А.Р. Есина

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань.

Аннотация. В работе представлены результаты исследования в области защиты металлов от коррозии в агрессивных средах кислот.

Ключевые слова: ингибитор, коррозия, эффективность ингибирования, металлы, сплавы, синтетические ингибиторы.

SELECTION OF A CORROSION INHIBITOR IN AN ACIDIC ENVIRONMENT

E.V. Vorobyova, A.R. Esina

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan

Annotation. The paper presents the results of a study in the field of protection of metals from corrosion in aggressive environments and acids.

Keywords: inhibitor, corrosion, inhibition efficiency, metals, alloys, synthetic inhibitors.

Металлы широко используются во всех отраслях промышленности, но их применение осложняется происходящими коррозионными процессами под действием агрессивных сред. Под коррозией подразумевают самопроизвольный процесс, взаимодействия металла со средой. В результате изменяются и ухудшаются характеристики металла. Борьба с коррозией осуществляется различными способами, например, использование защитных покрытий, электрохимическая защита, введение ингибиторов.

Ингибиторы – это химические соединения или соединения на их основе, которые вводят в небольших количествах (до 1%) в коррозионную среду, при этом сильно снижается скорость коррозии либо совсем приостанавливается [1]. Использование ингибиторов позволяет достичь необходимого результата без дополнительных затрат на оборудование. Поэтому подбор эффективного ингибитора весьма актуален. Он должен обеспечивать защитный эффект, не нарушать технологический режим и не оказывать негативное воздействие на окружающую среду, т.е. быть экологичным.

Широкое применение нашли неорганические ингибиторы, содержащие катионы (кальция, мышьяка, цинка, висмута и никеля) или анионы (хромат-, дихромат-, нитрит- и силикат-ионы). В качестве экранирующих ингибиторов в водной среде используют гидрокарбонат кальция, соли цинка. Принцип действия заключается в образовании пленок на поверхности металла. Подобный эффект дают анодные ингибиторы, например, гидроксид или карбонат натрия, фосфаты. Также используют ингибиторы органические, оказывающие смешанное действие, изменяя скорости анодных и катодных процессов, адсорбируясь только на поверхности. Поэтому, их часто используют при кислотном травлении. Это алифатические, ароматические соединения, содержащие атомы кислорода, серы или азота.

Анализ источников литературы, патентов показал, что наибольший эффект имеют четвертично-аммониевые соединения и производные типа нонилфенолов, неололов, алкилфенолов [3, 4].

Эффективность действия ингибиторов зависит от pH среды, поэтому их делят на кислотные, щелочные и нейтральные. Воздействие ингибиторов на поверхность металла приводит к изменению его состояния в ходе процесса адсорбции, уменьшается реакционная поверхность, могут образовываться труднорастворимые соединения. Все это приводит к торможению коррозионного процесса [2].

В ходе нашей исследовательской работы, были изучены коррозионные процессы стали в кислой среде и осуществлен подбор ингибитора. Исследования проводились на базе ООО «Завод Лоджикруф», в лаборатории качества и контроля. Для эксперимента использо-

вали фиксанал 0,1н соляной кислоты, неонол, гидроксилламин гидрохлорид, полиакриламид, карбамидоформальдегид и стальные пластинки $S=0,16 \text{ см}^2$. В качестве среды для погружения пластинок использовали фиксанал с разными ингибиторами в соотношении 99,9:0,1 соответственно. На рисунке 1 показан этап приготовления эксперимента.



Рис. 1. Подготовка эксперимента

На первом этапе изучалось влияние ингибиторов на коррозию стальных пластинок в кислой среде, также варьировалась масса пластинок. Лабораторные исследования проводились следующим образом. Сначала зачищали поверхность, обезжировали, измеряли площадь и массу пластинки, готовились рабочие растворы. Пластины помещали в 0,1н раствор соляной кислоты, в раствор кислоты в присутствии ингибиторов. Исследование проводилось в три недели при комнатной температуре. Периодически пластинки доставали, очищали и взвешивали на лабораторных аналитических весах. В таблице 1 и на рисунке 2 представлены данные начала эксперимента.

Таблица 1. Масса пластинок в начале эксперимента

№пп	Раствор	Масса пластинки
1	HCl 0,1 н	10,20
2	HCl 0,1 н+ неонол	10,52
3	HCl 0,1 н + гидроксилламингидрохлорид	10,18
4	HCl 0,1 н + полиакриламид	10,15
5	HCl 0,1 н + карбамидоформальдегид	10,54



Рис. 2. Начало эксперимента

В таблице 2 представлены результаты первой серии эксперимента.

Таблица 2. Масса пластинок спустя неделю от начала эксперимента

№пп	Раствор	Масса пластинки
1	HCl 0,1 н	10,03
2	HCl 0,1 н+ неонол	10,41
3	HCl 0,1 н + гидроксилламингидрохлорид	10,02
4	HCl 0,1 н+полиакриламид	10,01
5	HCl 0,1 н+карбомидоформальдегид	10,39

В таблице 3 представлены результаты второй серии эксперимента.

Таблица 3. Масса пластинок спустя 2 недели от начала эксперимента

№пп	Раствор	Масса пластинки
1	HCl 0,1 н	10,01
2	HCl 0,1 н+ неонол	10,38
3	HCl 0,1 н + гидроксилламингидрохлорид	10,00
4	HCl 0,1 н+полиакриламид	10,00
5	HCl 0,1 н+карбомидоформальдегид	10,37

В таблице 4 и на рисунке 3 представлены результаты всего эксперимента.

Таблица 4 - Сводная таблица по окончании эксперимента

№пп	Раствор	Масса пластинки	Масса пластинки через неделю от начала эксперимента	Масса пластинки через 2 недели от начала эксперимента	Общая потеря массы
1	HCl (0,1 н)	10,20	10,03	10,01	0,19
2	HCl (0,1 н) + неонол	10,52	10,41	10,38	0,14
3	HCl (0,1 н) + гидроксиламингидрохлорид	10,18	10,02	10,00	0,18
4	HCl (0,1 н) + полиакриламид	10,15	10,01	10,00	0,15
5	HCl (0,1н) + карбомидоформальдегид	10,54	10,39	10,37	0,17



Рис. 3. Завершение эксперимента

На втором этапе исследования была рассчитана скорость коррозионного процесса в пересчете на год. Для расчета скорости коррозии была применена следующая формула:

$$g = \frac{m1 - m2}{S \times t} \times 525600,$$

где $m1$ – начальная масса пластинки (г);
 $m2$ – конечная масса пластинки (г);
 S – площадь пластинки (m^2); $S = 0,16 m^2$
 t – время эксперимента (мин).

В таблице 5 представлены результаты расчета скорости коррозии.

Таблица 5. Расчет скорости коррозии в год

Раствор	Скорость коррозии в год, г/м ² ·мин
HCl (0,1 н)	30,95
HCl (0,1 н) + неонол	22,81
HCl (0,1 н) + гидроксиламингидрохлорид	29,33
HCl (0,1 н) + полиакриламид	24,44
HCl (0,1 н) + карбомидоформальдегид	27,70

Проведенные исследования и анализ их результатов отчетливо показывают, что добавление ингибитора позволяет замедлить процесс коррозии в агрессивной среде соляной кислоты. Ингибиторы действительно замедляют коррозию, данный эффект наблюдается во всех случаях. Расчет скорости коррозии и пересчет на год, позволяет выделить неонол, как более эффективный.

Библиографический список

1. Иванов, Е.С. Ингибиторы коррозии металлов в кислых средах. – Л.:Металлургия, 2005. – 175 с.
2. Федосова Н.Л. Антикоррозионная защита металлов. – Иваново, 2009. – 187 с
3. Пат. 2487193 РФ, МПК С23F11/04. Ингибитор коррозии металлов в серной и соляной кислотах / Кравцов Е.Е., Вострикова Д.А., Исмаилова Ф.Г., Гибадуллин Р.Ф., Китаева Э.Б., Сычев М.А., Калиев С.Г., Огородникова Н.П., Старкова Н.Н., Кондратенко Т.С.; патентообладатели: ФГОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», Кравцов Е.Е., Вострикова Д.А. – № 2011151252/02; заявл. 14.12.2011; опубл. 10.07.2013.
4. Пат. 2324766 РФ, МПК С23F11/04. Ингибитор коррозии металлов в серной, соляной и ортофосфорной кислотах / Кравцов Е.Е., Баламедова У.А., Сидорова А.С., Идиатулин Р.А., Петровский А.В., Старкова Н.Н., Огородникова Н.П., Кондратенко Т.С.; патентообладатель: ФГОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет. – № 2005123786/02; заявл. 26.07.2005; опубл. 20.05.2008.

УДК 66.01; ГРНТИ 61.29

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.В. Коваленко, П.А. Нахаева

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, vikvaskov@mail.ru, npolina.01.01.2005@mail.ru*

Аннотация. В работе анализируются ароматические углеводороды — класс органических соединений, их свойства, промышленное применение и значимость в современном мире. Особое внимание уделяется основным представителям этой группы, таким как бензол, толуол, ксилолы, кумол и стирол, а также их производным.

В тексте ароматические углеводороды играют ключевую роль в производстве различных материалов, включая пластмассы, резину, красители, лекарства и пестициды. Однако некоторые из этих соединений представляют опасность для человека, что требует соблюдения мер предосторожности при работе с ними.

В завершающей части текста обсуждается актуальность использования ароматических соединений в химической промышленности в условиях растущего населения, увеличения потребления химической продукции и глобальных климатических изменений. Особое внимание уделяется необходимости перехода на более экологически безопасные технологии и материалы.

Ключевые слова: ароматические углеводороды, промышленное применение, нефтехимическая промышленность.

PROBLEMS AND PROSPECTS USE OF AROMATIC COMPOUNDS AS RAW MATERIALS FOR THE CHEMICAL INDUSTRY INDUSTRIES

V.V. Kovalenko, P. A. Nakhaeva

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, vikvaskov@mail.ru, npolina.01.01.2005@mail.ru

The summary. The paper analyzes aromatic hydrocarbons — a class of organic compounds, their properties, industrial application and significance in the modern world. Special attention is paid to the main representatives of this group, such as benzene, toluene, xylenes, cumene and styrene, as well as their derivatives.

In the text, aromatic hydrocarbons play a key role in the production of various materials, including plastics, rubber, dyes, medicines, and pesticides. However, some of these compounds are dangerous to humans, which requires taking precautions when handling them.

The final part of the text discusses the relevance of the use of aromatic compounds in the chemical industry in the context of a growing population, increasing consumption of chemical products and global climate change. Special attention is paid to the need to switch to more environmentally friendly technologies and materials.

Keywords: aromatic hydrocarbons, industrial applications, petrochemical industry.

Ароматические углеводороды — это класс органических соединений с одним или несколькими бензольными кольцами в молекуле. Бензол (С₆Н₆) — наиболее известный представитель этой группы, обладающий высокой устойчивостью и характерным запахом. Эти соединения отличаются устойчивостью к химическим реакциям и токсичностью. Некоторые из них, такие как бензол, толуол и ксилолы, могут быть опасны при вдыхании или контакте с кожей, что требует соблюдения мер предосторожности при работе с ними.

Благодаря своим уникальным свойствам, ароматические углеводороды находят широкое применение в промышленности и науке. Они служат сырьём для производства пластмасс, резиновых изделий, красителей, лекарственных препаратов и пестицидов. В химической промышленности бензол и его производные используются для синтеза пластмасс, каучуков, синтетических волокон, красителей и фармацевтических препаратов. Ароматические соединения находят применение не только в химической промышленности, но и в других отраслях, таких как производство косметики, парфюмерии, красителей для текстиля и бумаги. Они используются в качестве растворителей, пластификаторов, антиоксидантов и других функциональных добавок в различных материалах и продуктах.

Бензол запрещен к использованию в товарах широкого потребления и во многих странах выведен из оборота в качестве растворителя и компонента жидкостей для сухой химчистки. Ранее он применялся для производства стирола, фенолов, малеинового ангидрида, детергентов, взрывчатых веществ, фармацевтических препаратов и красителей. Также бензол использовался как топливо, химический реагент и экстрагирующий агент для семян и орехов.

Толуол применяется в качестве растворителя для масел, смол, натурального и синтетического каучука, пеков, асфальта, дегтя, ацетилцеллюлозы. В смеси с этиловым спиртом он используется для растворения ацетилцеллюлозы. Толуол служит растворителем для эфирцеллюлозных красок и лаков, а также чернил для гелиографюры. В смеси с водой он образует азеотропные смеси для получения матовых поверхностей. Толуол также входит в состав чистящих средств, используемых в промышленности и кустарных промыслах, а также применяется при производстве детергентов и искусственной кожи.

Ксилол используется в промышленности как разбавитель для красок и лаков, в фармацевтике — как высокооктановая добавка к авиационному топливу, а также в синтезе красителей и производстве фталевых кислот.

Кумол применяется как высокооктановая добавка к авиационному топливу, разбавитель для эфирцеллюлозных красок и лаков, а также как исходный материал для синтеза фенола и ацетона. Он также используется для крекингвого производства стирола. Кумол вхо-

дит в состав промышленных нефтяных растворителей с температурой кипения 150–160°C. Он может быть получен гидрированием моноциклических терпенов и используется в основном совместно с другими растворителями и ароматическими углеводородами как разбавитель для лаков.

Стирол применяется для производства разнообразных полимеров, таких как полистирол, и сополимерных эластомеров, включая бутадиен-стирольные и акрилонитрил-бутадиен-стирольные каучуки. Эти материалы получают сополимеризацией стирола с 1,3-бутадиеном и акрилонитрилом. Стирол также используется для производства прозрачных пластмасс.

Кумарин применяется как дезодорирующий компонент и усилитель запаха в производстве мыла, табака, резиновых изделий, духов и фармацевтических препаратов.

Нафталин используется как исходное сырье для органического синтеза различных химических соединений, а также как средство защиты от моли и компонент составов для защиты древесины. Нафталин применяется при производстве индиго и используется для уничтожения вшей у домашних животных и птиц.

Дифенилметан применяется в мыловаренной промышленности как ароматизатор и растворитель для эфироцеллюлозных лаков. Он также нашел применение в качестве пестицида.

Производство ароматических углеводородов, таких как бензол, толуол и ксилолы, является важным элементом нефтехимической промышленности. Эти вещества применяются в органическом синтезе благодаря высокой реакционной способности. Основные источники ароматических углеводородов — бензиновые фракции нефти, перерабатываемые с помощью каталитического риформинга, пиролиза и экстракции.

Современные технологии позволяют получать ароматические углеводороды высокой степени чистоты (до 95%) и управлять их ассортиментом. Это важно для удовлетворения растущего спроса на эти соединения в производстве пластмасс, синтетических волокон и других материалов. Развитие технологий переработки нефти и каталитического риформинга способствует устойчивому развитию химической промышленности и созданию новых материалов с улучшенными свойствами.

Актуальность проблемы использования ароматических соединений в химической промышленности определяется несколькими факторами. Во-первых, с ростом населения и увеличением потребления химической продукции возрастает потребность в устойчивых и безопасных источниках сырья. Во-вторых, глобальные изменения климата и экологические катастрофы подчеркивают необходимость перехода на более экологически чистые технологии и материалы. Кроме того, общественное мнение и законодательство все больше требуют от компаний повышения уровня экологической ответственности и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

В данной статье рассматриваются роль ароматических соединений в химической промышленности, их применение в производстве разнообразных продуктов, а также связанные с этим проблемы и ограничения. Это позволяет лучше понять значение ароматических соединений и необходимость поиска решений для их более безопасного и эффективного использования.

Проблемы использования ароматических соединений

1. Экологические проблемы

Ароматические соединения, часто получаемые из нефти, способствуют загрязнению окружающей среды. Процессы их производства могут включать выбросы вредных веществ, таких как сернистый газ и оксиды азота, что усугубляет проблему кислотных дождей и смога. Кроме того, многие ароматические соединения, такие как бензол и толуол, могут накапливаться в экосистемах, вызывая долгосрочные негативные последствия для флоры и фауны.

Важно также отметить, что многие из этих соединений не разлагаются естественным образом, что приводит к их накоплению в окружающей среде.

2. Проблемы безопасности

Безопасность на производственных площадках, где используются ароматические соединения, является критически важной. Работники могут подвергаться воздействию токсичных паров, что может привести к серьезным заболеваниям, включая рак и другие хронические заболевания. В связи с этим, предприятия должны внедрять строгие меры безопасности, включая использование защитного оборудования, регулярные медицинские осмотры и обучение сотрудников. Также необходимо учитывать риски, связанные с авариями и утечками, которые могут иметь катастрофические последствия для окружающей среды и здоровья людей.

3. Зависимость от ископаемых ресурсов

Зависимость от нефти и газа не только делает химическую промышленность уязвимой к колебаниям цен на энергоносители, но и создает дополнительные экологические риски, связанные с добычей и транспортировкой этих ресурсов. Это подчеркивает необходимость перехода на более устойчивые источники сырья, такие как биомасса или вторичные материалы.

Возможные пути решения проблем использования ароматических соединений

1. Экологические проблемы

Переход на более экологичные технологии производства.

Утилизация отходов. Внедрение систем переработки и утилизации отходов производства ароматических соединений может помочь снизить загрязнение окружающей среды.

Мониторинг и контроль. Внедрение систем мониторинга и контроля за выбросами вредных веществ может помочь отслеживать и снижать негативное воздействие на окружающую среду.

2. Проблемы безопасности

Строгие меры безопасности. Внедрение и соблюдение строгих мер безопасности на производственных площадках, включая использование защитного оборудования и регулярные медицинские осмотры, может снизить риски для здоровья работников.

Обучение и повышение квалификации. Проведение обучения и повышение квалификации сотрудников может помочь им лучше понимать риски, связанные с использованием ароматических соединений, и принимать меры предосторожности.

3. Зависимость от ископаемых ресурсов

Переход на более устойчивые источники сырья. Переход на биомассу, вторичные материалы или другие возобновляемые источники сырья может снизить зависимость от нефти и газа и сделать производство ароматических соединений более устойчивым.

Разработка и внедрение новых технологий производства ароматических соединений.

Стимулирование исследований. Стимулирование исследований в области разработки более устойчивых источников сырья и новых технологий может ускорить переход на более экологичные методы производства.

Несмотря на существующие проблемы, использование ароматических соединений в химической промышленности имеет хорошие перспективы.

1. Разработка новых технологий

Современные исследования в области химии направлены на создание более эффективных и безопасных технологий для производства ароматических соединений. Например, использование катализаторов для снижения температуры и давления в процессе производства может значительно уменьшить потребление энергии и выбросы углерода. Внедрение тех-

нологий, основанных на циркулярной экономике, также может помочь в переработке ароматических соединений, тем самым снижая потребность в первичном сырье.

2. Экологически чистые альтернативы

Разработка новых экологически чистых альтернатив ароматическим соединениям, таких как биопластики, натуральные ароматизаторы и экстракты, открывает новые возможности для устойчивого развития. Эти материалы могут быть получены из возобновляемых источников и не содержат токсичных компонентов, что делает их более безопасными для здоровья и окружающей среды. Например, использование растительных масел и экстрактов для производства красителей и ароматизаторов может значительно снизить экологический след.

3. Инновации в области переработки

Переработка ароматических соединений становится важным направлением для устойчивого развития. Создание замкнутых циклов в производстве позволяет не только снизить количество отходов, но и вернуть в производство ранее использованные материалы. Это может включать переработку пластиковых отходов в новые ароматические соединения или использование отработанных продуктов в качестве сырья для новых химических процессов.

4. Устойчивое развитие и корпоративная ответственность

Компании, которые понимают важность устойчивого развития, могут не только минимизировать свои экологические риски, но и получить конкурентные преимущества. Инвестиции в экологически чистые технологии и соблюдение стандартов экологической безопасности помогут укрепить репутацию компании и доверие потребителей. Применение принципов корпоративной социальной ответственности (КСО) становится важным фактором для привлечения клиентов и партнеров, которые ценят экологическую устойчивость.

Использование ароматических соединений в химической промышленности сталкивается с рядом серьезных проблем, связанных с экологией, безопасностью и зависимостью от ископаемых ресурсов. Тем не менее, перспективы их использования остаются многообещающими благодаря разработке новых технологий, экологически чистых альтернатив и инновациям в области переработки. Переход к более устойчивым методам производства и использования ароматических соединений не только поможет минимизировать негативное воздействие на окружающую среду, но и создаст новые возможности для развития химической промышленности в будущем. Необходимо продолжать исследования и внедрять инновации, чтобы обеспечить безопасное и устойчивое использование ароматических соединений в интересах общества и природы.

Ароматические углеводороды остаются важными продуктами химической промышленности благодаря своей универсальности и широкому спектру применения. Они продолжают играть ключевую роль в производстве пластмасс, резиновых изделий, красителей, лекарственных препаратов и пестицидов, что делает их востребованными в различных секторах экономики и науки.

Библиографический список

1. Слесаренко, А. В. Современные возможности применения ароматических соединений / А. В. Слесаренко, Д. Р. Марченко, А. Д. Виленко. — Текст : электронный // Материалы XIV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». — URL: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018031737>.
2. Удивительное применение ароматических углеводородов в промышленности / FB.ru. — Текст : электронный. — 2024. — URL: <https://fb.ru/article/567827/2024-aromaticheskie-uglevodorody-ih-udivitelnoe-primenenie-v-promyishlennosti>.
3. Производство и применение ароматических углеводородов / Neftegaz.ru. — Текст : электронный. — URL: <https://neftegaz.ru/science/petrochemistry/331666-proizvodstvo-i-primenenie-aromaticheskikh-uglevodorodov/>.
4. Ароматические углеводороды. — Текст : электронный // PetroChemVR. Базовая нефтехимия. — URL: <https://petrochemvr.ru/blog/bazovaya-neftekhimiya/aromaticheskie-uglevodorody/>.
5. Ваганова, Е. С. Получение и свойства ароматических углеводородов и их соединений : учебное пособие / Е. С. Ваганова, О. А. Давыдова, Е. С. Климов. — Ульяновск : УлГТУ, 2017. — 100 с.

УДК 004.94; ГРНТИ 28.17.33

ПРИМЕНЕНИЕ ГИПОТЕТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ

В.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Россия, Рязань, xt-kontakt@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается процесс создания банка гипотетических компонентов в программе моделирования процессов разделения ChemSep пакета моделирования химико-технологических процессов COCO.

Ключевые слова: COCO, ChemSep, псевдокомпоненты, гипотетические компоненты, кривая истинной точки кипения.

THE USE OF HYPOTHETICAL COMPONENTS IN MODELING THE SEPARATION OF OIL FRACTIONS

V.V. Kovalenko, N.U. Kulavina, G.A. Shashkina

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, xt-kontakt@mail.ru*

Annotation. This paper examines the process of creating a bank of hypothetical components in the ChemSep separation process modeling program of the COCO chemical process modeling package.

Keywords: COCO, ChemSep, pseudo-components, hypothetical components, true boiling point curve.

Эффективность исследования, проектирования и оптимизации химико-технологических процессов в значительной степени повышается при использовании программ моделирования, которые имеют расчетные средства, позволяющие учесть влияние на процесс большого количества параметров, получить качественные и количественные характеристики процесса с экономией временных и финансовых ресурсов.

Программы моделирования химико-технологических процессов имеют обширные базы данных по чистым компонентам с известными физическими и химическими свойствами и позволяют выполнять статические расчеты технологических схем, основанные на фазовых и химических превращениях, динамическое моделирование отдельных процессов и технологических схем, расчет геометрических размеров и конструктивных характеристик основных аппаратов и т.д.

Моделирование процессов нефтеперерабатывающих производств существенно усложняет многокомпонентность исходного продукта. Для создания даже сильно приближенной модели требуется определение качественного и количественного состава сырья, физико-химических параметров каждого компонента [1].

Состав жидких углеводородов, в виду их огромного количества, не разделяется на индивидуальные компоненты, а представляется в виде псевдокомпонентов, в которые объединяются по несколько компонентов с близкими характеристиками.

Группирование отдельных компонентов в условные или псевдокомпоненты, также называемых гипотетическими компонентами, используется для создания моделей химико-технологических процессов в нефтепереработке. Гипотетические компоненты должны отражать состав и свойства фракций нефти как по отдельности, так и в смеси.

Состав и свойства группы компонентов рассматриваются по принципу «черного ящика». В расчетах модели используются данные, характеризующие группу компонентов, представляющих собой фракции с заданными интервалами кипения. Минимально достаточная информация о группе – интервал температур кипения, объем и вес или плотность фракции.

Основные характеристики псевдокомпонента получают по данным разгонки истинных температур кипения (ИТК), которая представляют собой зависимость объема выкипев-

ших компонентов смеси нефтепродуктов от интервала температур кипения. Данные ИТК позволяют определить количество и свойства каждого компонента с узким интервалом кипения, входящего в состав нефтепродукта. На основании полученных при разгонке значений температур и плотности фракции, с учетом свойств углеводородов определяются свойства псевдокомпонентов, которые дают возможность построить адекватную модель процесса нефтепереработки [2].

Расчет основных характеристик гипотетического компонента: интервала кипения, средней температуры кипения, объема, плотности, молярной массы, критического давления, критической температуры, ацентрического фактора производится в программе моделирования.

Продемонстрировать процесс создания псевдокомпонентов позволяет программа моделирования процессов разделения ChemSep, версия Lite, которая включена в пакет моделирования химико-технологических процессов COCO [3].

В качестве примера демонстрируется моделирование процесса извлечения парафина из прямого керосина, для которого разработан процесс создания банка гипотетических компонентов.

Для использования библиотеки псевдокомпонентов в визуальном блоке пакета COCO банк данных гипотетических компонентов создается из среды моделирования схем COFE. При формировании параметров конфигурации схемы подключается модуль ChemSep и создается библиотека псевдокомпонентов.

Для гипотетических соединений предпочтительно создавать новые библиотеки. Это позволит сохранить существующие в программе банки данных других соединений и облегчить поиск компонентов при загрузке в рабочую конфигурацию.

Для расчета свойства гипотетического компонента необходимо задать для него основную информацию – температуру кипения и плотность API или относительную плотность SG, например, для исследуемой керосиновой фракции известны значения ИТК (Т_б и API)

Для создания библиотеки в модуле ChemSep использованы псевдокомпоненты прямого керосина. Смесь разделена на восемь гипотетических компонентов на основе кривой истинной точки кипения ИТК (true boiling point TBP) []. Плотность фракций в кг/м³ переведена в градусы API (таблица 1) [4].

Температура кипения фракций переведена из градусов Цельсия (Т_б(С)) в градусы Кельвина (К).

Таблица 1

№ компонента	Имя псевдокомпонента	Т _б (С)	Т _б (К)	Плотность, кг/м ³	API
1	Фр-121	121,07	394.22	742,496	58.72
2	Фр-146	146,933	420.08	758,393	55.23
3	Фр-172	172,8	445.95	773,65	51.78
4	Фр-198	198,667	471.82	788,328	48.14
5	Фр-224	224,533	497.68	802,478	45.27
6	Фр-250	250,4	523.55	816,147	42.11
7	Фр-276	276,28	549.43	829,38	39.36
8	Фр-289	289,2	562.35	835,8	38.12

В окне генерации псевдокомпонентов выбирается способ задания температуры кипения и относительной плотности (API или SG).

Задаются значения температуры и плотности API псевдокомпонента [5] (рис. 1).

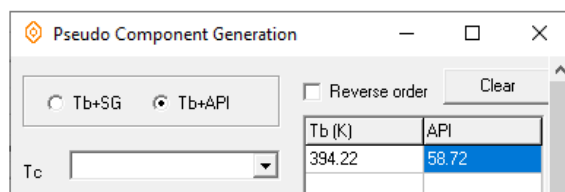


Рис. 1. Внесение значений температуры и плотности в окно генерации компонентов

Следующая задача - выбрать методы, которые будут использоваться программой для расчета свойств компонента (нормальная температура кипения, молекулярный вес, плотность, критическая температура, критическое давление, критический объем, ацентрический фактор).

Методы расчета параметров гипотетической смеси выбираются из имеющихся в программе вариантов. Выбор метода зависит от ряда условий, которые определяются исходными данными компонента, например, для расчета критической температуры и давления применяется метод Ли-Кеслера (при температурах больше 800 К и плотности больше 1067 кг/м³), метод Бергмана (при температурах меньше 548.15 К и плотности меньше 800 кг/м³), метод Каветта в остальных случаях. Для расчета критического объема выбирается метод Рирази – Дауберта и т.д.. Название гипотетического соединения в файле библиотеки определяется в ячейке Name (рисунок 2).

Рекомендации по выбору методов расчета приведены в [5].

Рассчитанные параметры появляются в окне PCD библиотеки.

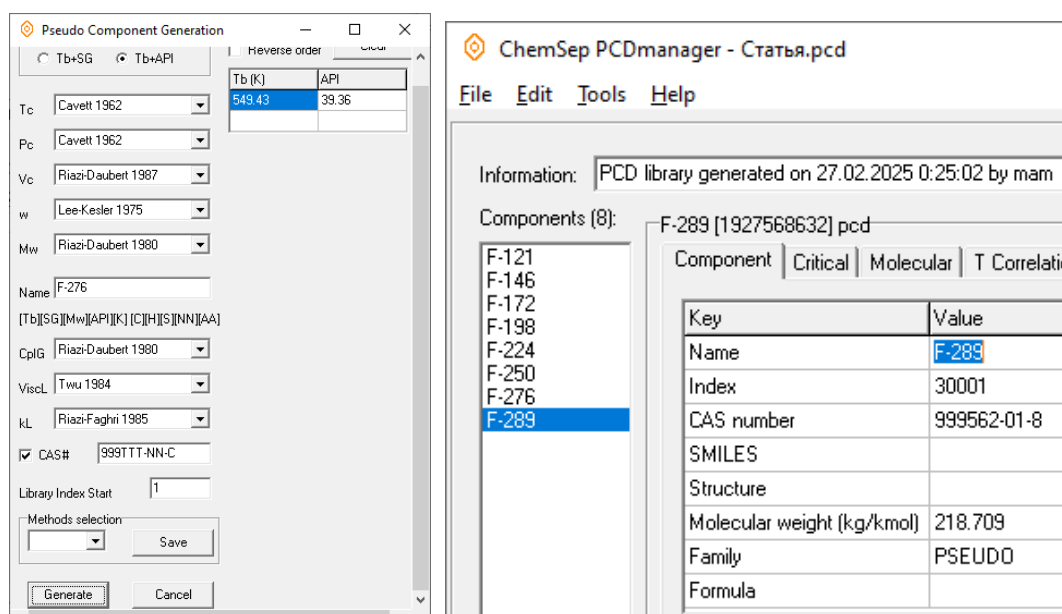


Рис. 2. Выбор методов расчета и набор псевдокомпонентов в окне менеджера PCD

После формирования списка всей группы псевдокомпонентов в конфигурацию схемы добавляется весь набор для данной модели.

Для извлечения парафина из прямого керосина выбрана равновесная колонна и создана конфигурация модели колонны с дополнительным выходом [6]. Для этого выбирается операция Complex Column с конденсатором и ребойлером, количество тарелок 40, тарелка подачи питания 27, дополнительный выходной поток с 12 тарелки простой дистилляции. Заданы мольные доли псевдокомпонентов в потоке на входе в колонну, температура, давление

и расход исходной смеси. Для увеличения давления и температуры смеси на входе в колонну используются модели насоса и теплообменника (рисунок 5).

Давление исходной смеси 120кПа повышается и составляет 138 кПа, температура повышается с 25 до 352,32 °С. В спецификации по качеству дистиллята заданы коэффициент рефлюкса 6, в спецификации по качеству остатка – паровое число 1,2, выход для среднего потока 48 моль/с.

В результате расчетов модели получены значения расходов по каждому из псевдокомпонентов, представленные на рисунке 5.

В таблице расходов по потокам верхний расход продукта составил 20,64 моль/с, средний - 37 моль/с нижний – 10,36 моль/с. Распределение компонентов по выходным потокам: компоненты F121-F146 преобладают в верхнем потоке, F171 – F276 - в среднем, F-289 – в нижнем.

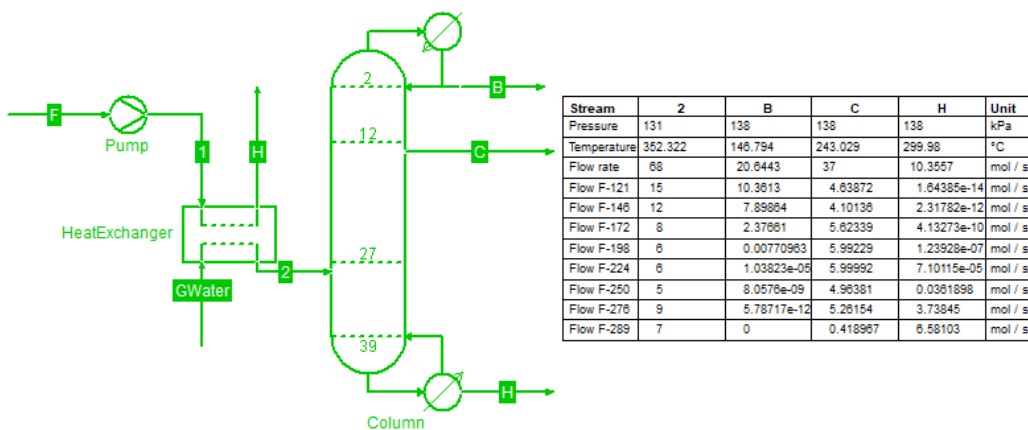


Рис. 5. Модель схемы разделения псевдокомпонентов

Проверена возможность оптимизации модели [7]. Исследовалась зависимость максимального выхода по компоненту F-276 в потоке Н и F-172 в потоке С от температуры входного потока (рисунок 6). Выявлено, что максимальный значение этих компонентов в потоке Н возможно при температуре входного потока F равной

job	init	Temperature stream F	Mole flow F-276 stream H	Mole flow F-172 stream C	Status
22	23	152	8.8982693	7.8870476	OK
23	24	164	8.9999917	7.979761	OK
24	25	176	9	7.9924657	OK
25	26	188	9	7.9992566	OK
26		200	8.9999999	7.9991282	OK

Рис. 6. Результаты параметрического исследования

В связи с тем, что в современных условиях остро стоит вопрос замены дорогостоящих импортных инструментов создания цифровых двойников нефтехимических процессов на отечественные или открытые программы [3], изучение механизмов и инструментов этих программ, в том числе механизма создания и использования банка гипотетических компонентов, дает новые возможности для разработки моделей процессов нефтехимии и нефтепереработки, моделирования поведения и оптимизации процессов нефтяных фракций и их отдельных компонентов. При использовании библиотек псевдокомпонентов могут быть получены адекватные модели достаточно сложных процессов, с помощью которых возможно осуществить выбор рациональных режимов работы всей схемы процесса и отдельных аппаратов, корректировать реальные процессы после отработки вариантов работы на модели.

Библиографический список

1. Международный студенческий научный вестник. 2022. № 3 URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=20977>.
2. Фракционный состав нефти и методы его изучения: Учебно-методическое пособие по изучению фракционного состава нефтей для студентов специалистов, обучающихся по специальности 020305-Геология и геохимия горючих ископаемых, и студентов бакалавров, обучающихся по специальности 020700-Геология, профиль: геология и геохимия нефти и газа. – Казань: Казанский университет, 2012. – 30 с.
3. ChemSep. https://www.cocosimulator.org/index_help.php?page=ChemSep/chemsep.htm.
4. Плотность нефти. Режим доступа: <https://petrodigest.ru/terms/plotnost-nefti>.
5. ChemSep Tutorial: PCDmanager.
http://www.chemsep.com/downloads/docs/ChemSepTutorial_PCDManager.pdf
6. ChemSep Tutorial: Distillation with Hypothetical Components.
http://www.chemsep.org/downloads/docs/ChemSepTutorial_DistillationOfHypotheticals.pdf
7. Parametric studies. https://www.cocosimulator.org/index_help.php?page=COFE/parametric.htm

УДК 543.51; ГРНТИ 31.19

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ВВОДА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА АНАЛИТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРИПОЛЬНОГО МАСС-АНАЛИЗАТОРА

М.В. Дубков, К.А. Ветшев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, dubkov.m.v@rsreu.ru, vetshev.k.a@rsreu.ru*

Аннотация. Рассмотрено моделирование системы с использованием трипольного анализатора, где исследуются параметры входной апертуры. Результаты показывают, что изменение формы отверстия входной апертуры может значительно улучшить характеристики масс-спектрометров. Оптимальной признана овальная форма, вытянутая по оси ОХ. Работа подчеркивает важность дальнейших исследований для повышения эффективности масс-спектрометрии и разработки новых конструктивных решений.

Ключевые слова: трипольный масс-анализатор, входная апертура, массовый пик, разрешающая способность, интенсивность массового пика.

STUDY OF THE INFLUENCE OF VARIOUS CONDITIONS OF CHARGED PARTICLE INJECTION ON THE ANALYTICAL CHARACTERISTICS OF A TRIPOL MASS ANALYZER

M.V. Dubkov, K.A. Vetshev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, dubkov.m.v@rsreu.ru, vetshev.k.a@rsreu.ru*

Abstract. The modeling of the system using a tripole analyzer is considered, where the parameters of the input aperture are investigated. The results show that changing the shape of the input aperture can significantly improve the characteristics of mass spectrometers. The oval shape elongated along the OX axis is recognized as optimal. The work emphasizes the importance of further research to improve the efficiency of mass spectrometry and the development of new design solutions.

Keywords: tripole mass analyzer, input aperture, mass peak, resolving power, mass peak intensity.

Масс-спектрометрический анализ представляет собой один из самых универсальных и эффективных методов для определения состава веществ. Он находит широкое применение в различных научных областях, включая химию, биохимию, медицину и материаловедение. Основой этого метода является анализ массы ионов, получаемых путем ионизации молекул, что позволяет с высокой точностью и чувствительностью исследовать химический состав сложных веществ.

В последние годы в области масс-спектрометрии произошло несколько значительных достижений, включая разработку новых методов ионизации, таких как матрично-активная лазерная десорбция/ионизация (MALDI) и электроспрей-ионизация (ESI), что расширило возможности анализа сложных молекул, включая белки и нуклеиновые кислоты. Увеличение разрешающей способности современных масс-анализаторов, таких как высокоразрешающие квадрупольные и ионные ловушки, повысило точность и чувствительность измерений. Интеграция масс-спектрометрии с другими аналитическими методами, например, хроматографией, улучшила исследование сложных смесей. Современные системы становятся более автоматизированными, что позволяет ускорить анализы и снизить затраты.

Несмотря на достигнутые успехи, дальнейшее исследование различных параметров процесса может повысить его эффективность и привести к созданию новых конструктивных решений для масс-спектрометров. Одним из менее изученных типов масс-анализаторов является трипольный, который состоит из трех симметрично расположенных электродов и одного уголкового электрода с нулевым потенциалом. Трипольный анализатор демонстрирует хорошую разрешающую способность и достаточную чувствительность, достигая лучших результатов по сравнению с монопольными анализаторами, но уступая квадрупольным.

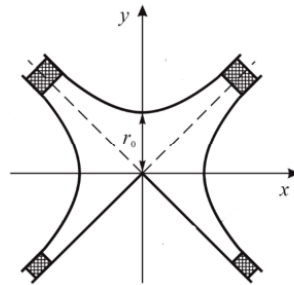


Рис. 1. Электродная конфигурация трипольного масс анализатора с уголковым электродом

Для моделирования системы, применяемой в данном исследовании, задаются исходные значения, представлены в таблице 1. Начальные фазы и координаты ионов задаются случайным образом.

Таблица 1. Начальные условия системы

Параметр	Значение
Начальное q_u	2,87
Конечное q_u	2,89
Шаг q_u	0,0001
Начальные скорости по координатам X и Y	0
λ_1	1,235
Радиус отверстия ввода ионов r_0	0,1
Количество вводимых ионов	20000
Шаг расчета Рунге-Кутты	0,005
Конечное время (число периодов)	50

На рисунке 2 показаны полученные массовые пики для различных варинатов входной апертуры.

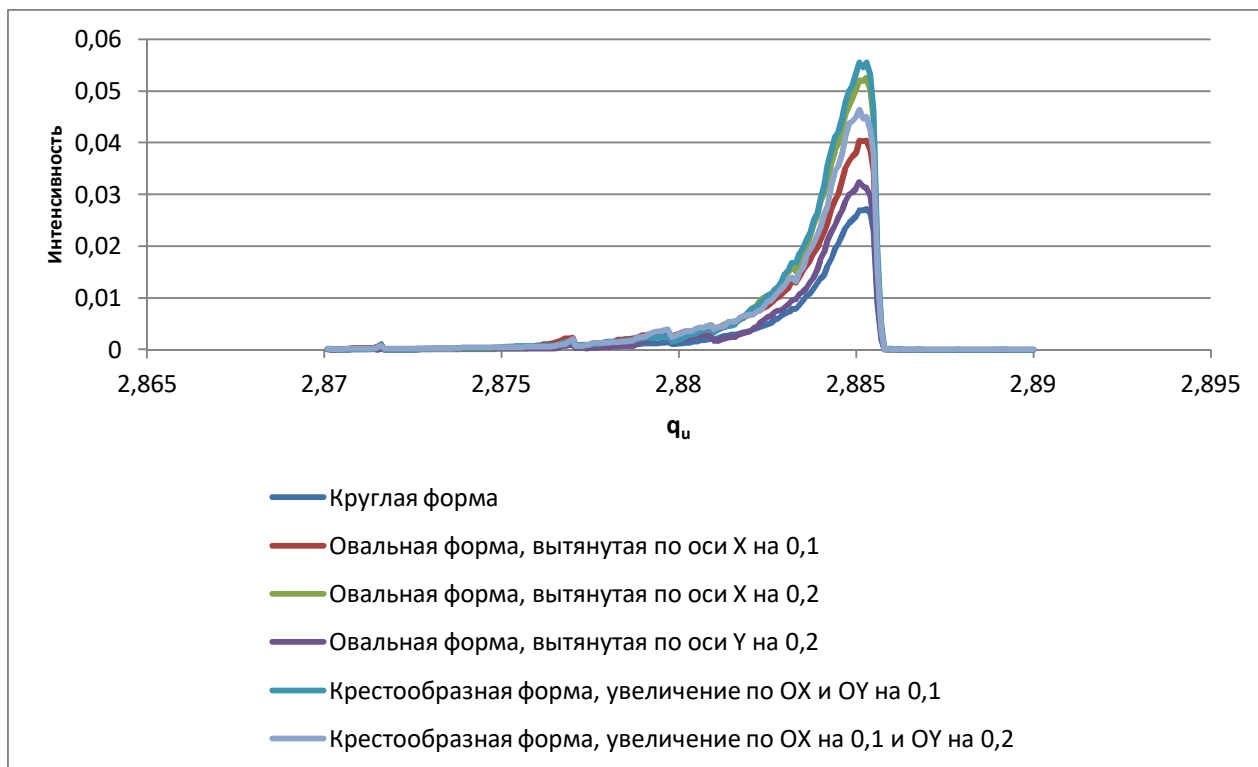


Рис. 2. Массовые пики для разных конфигураций входной апертуры

На рисунке 3 показаны зависимости добротности от значений увеличения входной апертуры при различных конфигурациях.

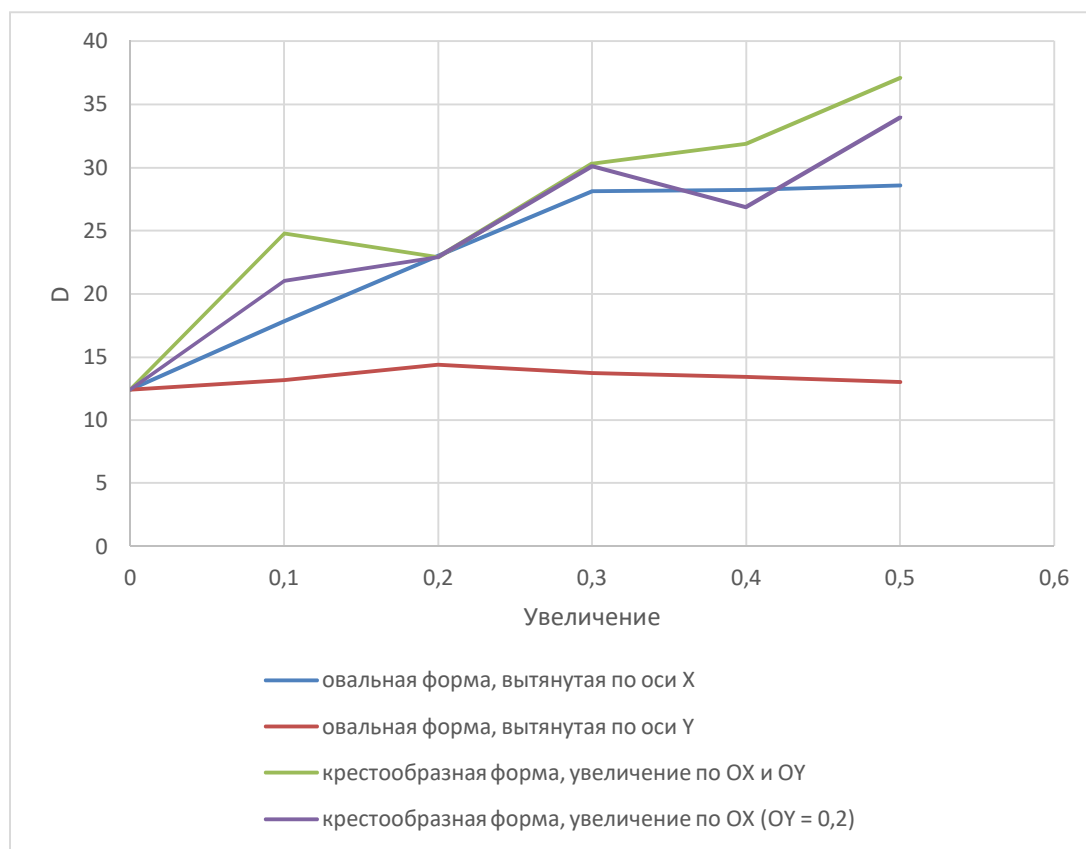


Рис. 3. График добротности для разных конфигураций входной апертуры

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Изменение формы отверстия входной апертуры позволяет добиться улучшения некоторых параметров пика. Наиболее оптимальными вариантами можно считать овальную форму, вытянутую по оси ОХ в пределах от $0,1 \cdot r_0$ до $0,2 \cdot r_0$. Увеличение отверстия входной апертуры более $0,2 \cdot r_0$ приводит к вырождению пика и ухудшению большинства параметров.

За счет применения различных входных апертур можно добиться улучшения характеристик масс-спектрометров с трипольной электродной системой. Наибольший эффект показывает применение отверстия ввода ионов овальной формы, вытянутой по оси Х.

Библиографический список

1. Шеретов Э.П., Дубков М.В., Карнав Т.Б., Иванов В.В. и др. Триполь (фильтр масс с угловым электродом) // Тезисы II съезда ВМСО «Масс-спектрометрия и ее прикладные проблемы». Москва. 2005. С. 189.
2. Слободенюк Г.И. Квадрупольные масс-спектрометры. М.: Атомиздат, 1974. 272 с.
3. Дубков М.В., Буробин М.А., Иванов В.В., Малютин А.Е. Влияние условий ввода заряженных частиц в анализатор квадрупольного фильтра масс на его аналитические характеристики // Радиотехника. 2020. Т. 84. № 11(21).
4. Дубков М.В., Буробин М.А., Иванов В.В., Ветшев К.А., Рубцова А.Д. Влияние условий ввода заряженных частиц на аналитические характеристики трипольного масс-анализатора // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2024. № 90. С. 144-152.

УДК 543.51; ГРНТИ 31.19

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТАНДЕМНОГО КВАДРУПОЛЬНОГО МАСС-ФИЛЬТРА ВО ВТОРОЙ ЗОНЕ ДИАГРАММЫ СТАБИЛЬНОСТИ

М.В. Дубков, А.Д. Ветшева

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, adr1999@list.ru

Аннотация. Тандемные масс-спектрометры представляют собой мощный инструментальный аналитической химии. Такие устройства позволяют проводить точный и эффективный анализ сложных систем. Существует несколько типов тандемных масс-спектрометров, различающихся по конструкции и принципу работы, среди которых наиболее распространённым является квадрупольный тандемный масс-спектрометр. Особый исследовательский интерес представляет изучение работы квадрупольных тандемных масс-спектрометров во второй зоне диаграммы стабильности ионных траекторий. В данной работе акцент сделан на подбор значений углового коэффициента λ во второй зоне диаграммы стабильности таким образом, чтобы разрешающая способность прибора составляла порядка 300 единиц и выше.

Ключевые слова: масс-спектрометрия, тандемный масс-спектрометр, квадрупольный масс-анализатор, квадрупольный тандемный масс-спектрометр, разрешающая способность масс-спектрометра.

STUDY OF A TANDEM QUADRUPOLE MASS FILTER OPERATION IN THE SECOND ZONE OF THE STABILITY DIAGRAM

M.V. Dubkov, A.D. Vetsheva

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, adr1999@list.ru

The summary. Tandem mass spectrometers are powerful tools in analytical chemistry. Such devices allow for accurate and efficient analysis of complex systems. There are several types of tandem mass spectrometers, differing in design and operating principle, among which the most common is the quadrupole tandem mass spectrometer. Of particular research interest is the study of the operation of quadrupole tandem mass spectrometers in the second zone of the ion trajectory stability diagram. In this paper, the emphasis is on selecting the values of the angular coefficient λ in the se-

cond zone of the stability diagram so that the resolving power of the device is about 300 units or higher.

Keywords: mass spectrometry, tandem mass spectrometer, quadrupole mass analyzer, quadrupole tandem mass spectrometer, mass spectrometer resolution.

Тандемные масс-спектрометры открывают новые горизонты в аналитической химии, позволяя более точно и эффективно анализировать сложные системы. В настоящее время известно несколько типов тандемов, различных по конструкционным особенностям и принципу работы. Наиболее распространенным считается квадрупольный тандемный масс-спектрометр [1]. Принцип работы такого устройства основан на последовательном анализе ионов с использованием нескольких квадрупольных фильтров масс, соединенных между собой. Данное инструментальное исполнение масс-спектрометров отличается простотой изготовления и эксплуатации, а также обеспечивает высокую чувствительность и специфичность анализа. Все это обуславливает широкий спектр применения тандемных квадрупольных масс-спектрометров при решении задач химии, биологии, медицины, сельского хозяйства, экологии и т. д.

Одним из перспективных направлений исследований является изучение работы квадрупольных тандемных масс-спектрометров во второй зоне диаграммы стабильности ионных траекторий [2]. Подобные диаграммы отображают области стабильности заряженных частиц аналита в зависимости от различных параметров, таких как напряжение, угловые переменные и т.д. Такая визуализация позволяет определить оптимальные условия удержания ионов для их дальнейшей идентификации. Подбор наилучших параметров работы квадрупольных масс-фильтров тандемного масс-спектрометра в данном случае позволит оптимизировать анализ сложных небинарных смесей веществ и молекул с высокой молекулярной массой.

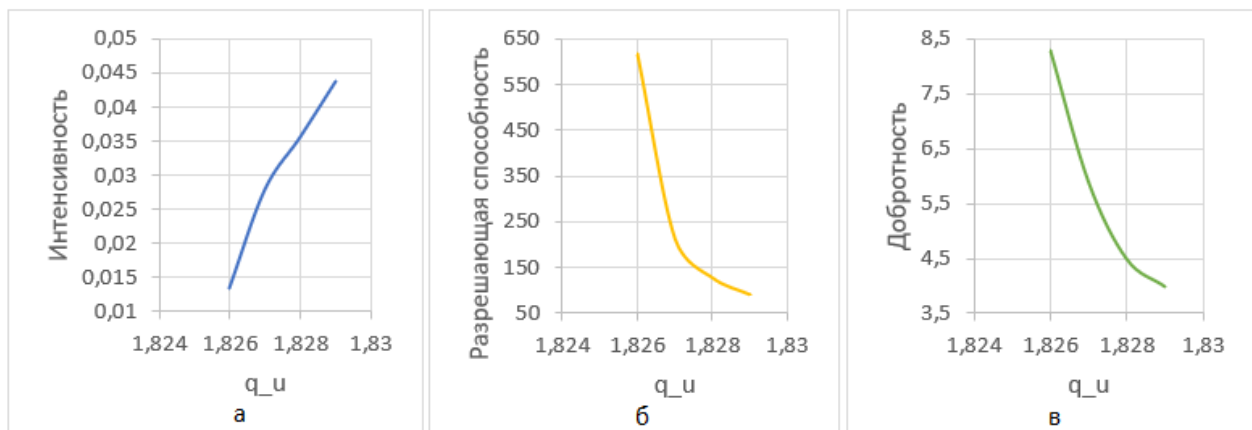
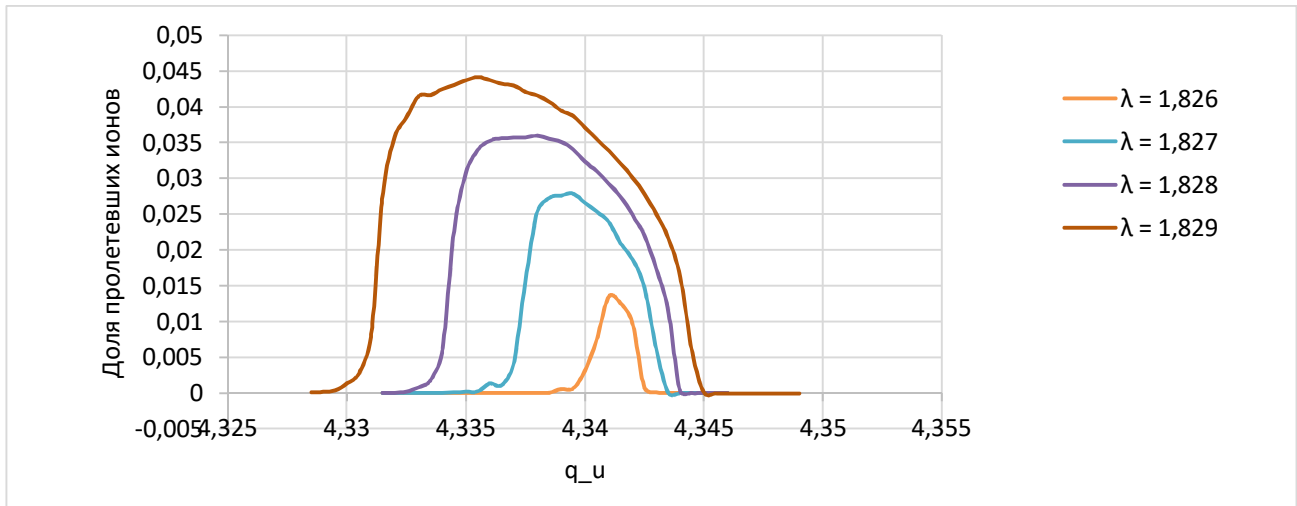
В данном исследовании осуществлялся подбор значений углового коэффициента λ таким образом, чтобы разрешающая способность работы квадрупольных масс-фильтров в нижней точке второй зоны диаграммы стабильности держалась на уровне 300 и более единиц. Моделирование производилось в программе PeakSolver, работа которой была описана в ранних работах [3].

Моделирование работы одиночного квадрупольного масс-фильтра

Исходные данные для моделирования массовых пиков:

шаг расчета Рунге-Кутты.....0,005;
количество вводимых ионов.....20000;
время пролета.....60с;
длина масс-фильтра.....200 мм.

В нижней точке второй зоны диаграммы стабильности положительная динамика наблюдается при уменьшении значений углового коэффициента. Это отражено на рисунках 1-2. Форма массовых пиков стабильна, интенсивность уменьшается (2а), разрешающая способность (2б) и добротность (2в) увеличиваются. При выходе за границы диапазона угловых коэффициентов 1,825-1,829 происходит вырождение массового пика либо резкое ухудшение его качественных характеристик (разрешающая способность падает до уровня 80 единиц).



Поиск оптимального значения углового коэффициента производился в диапазоне 1,8265-1,82656. Выбор такого диапазона значений неслучаен: характеристики получаемых пиков здесь стабильны, разрешающая способность получается больше 300 единиц. Результаты моделирования интерпретированы в виде графиков зависимостей основных качественных характеристик от различных угловых коэффициентов и представлены на рисунках 3-5. Наиболее оптимальным можно считать $\lambda = 1,82652$. При таком значении углового коэффициента до детектора долетает порядка 2,26% ионов, разрешающая способность составляет 313,1, а добротность равна 7,1.

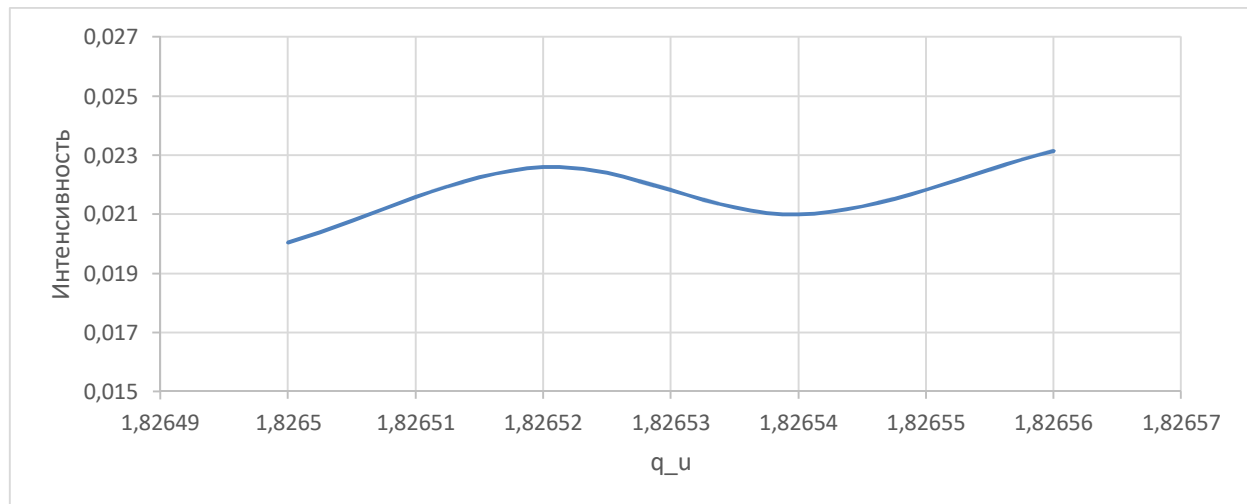


Рис. 3. Зависимость интенсивности от углового коэффициента в диапазоне значений 1,8265-1,82656

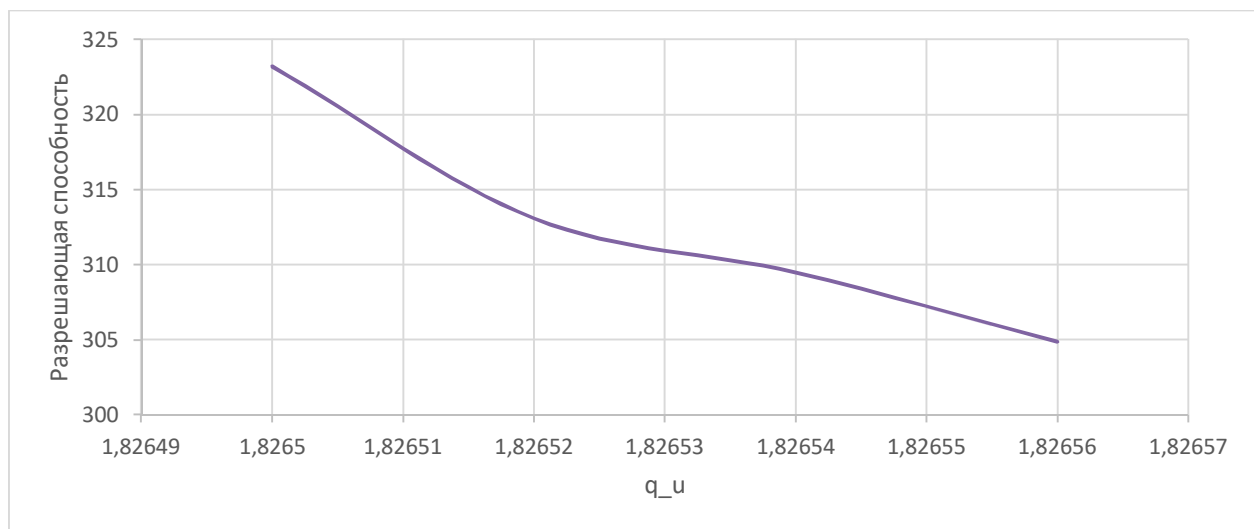


Рис. 4. Зависимость разрешающей способности от углового коэффициента в диапазоне значений 1,8265-1,82656

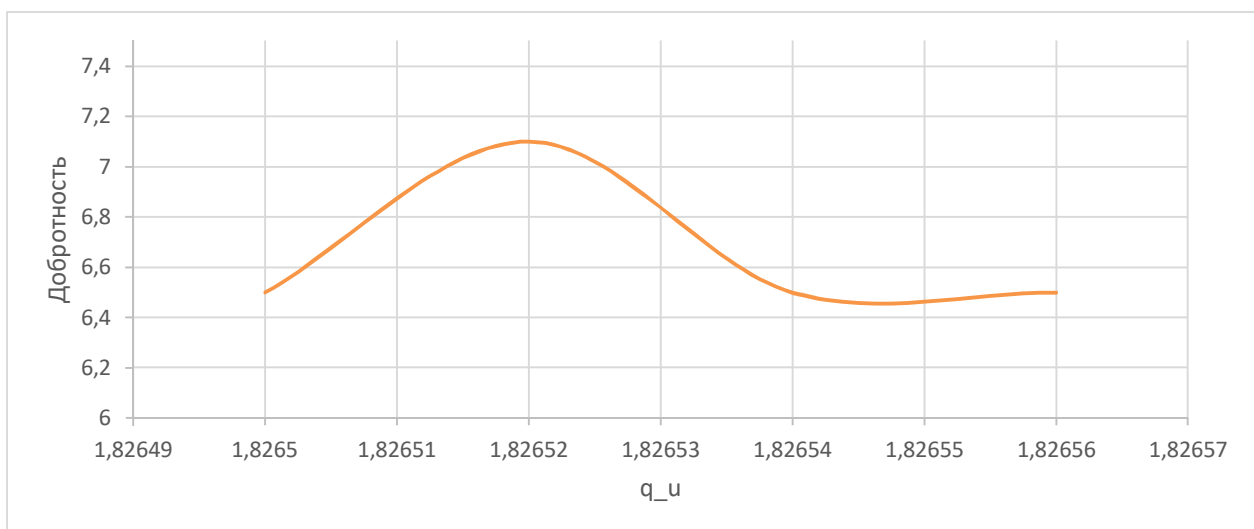


Рис. 5. Зависимость добротности от углового коэффициента в диапазоне значений 1,8265-1,82656

Далее посредством программы PeakSolver была промоделирована работа тандема из двух квадрупольных масс-фильтров.

Моделирование работы тандема из двух квадрупольных масс-фильтров

На основании результатов моделирования работы одиночного квадрупольного масс-фильтра (QMS) и тандема из двух последовательных квадрупольных масс-фильтров (QMS-QMS) при значении углового коэффициента равном 1,82652, можно сделать вывод, что использование тандемной технологии способствует получению более четких массовых пиков. Обсуждаемые пики представлены на рисунке 6. Качественные характеристики при работе анализируемых типов сборок масс-фильтров практически одинаковы, что продемонстрировано в таблице 1.

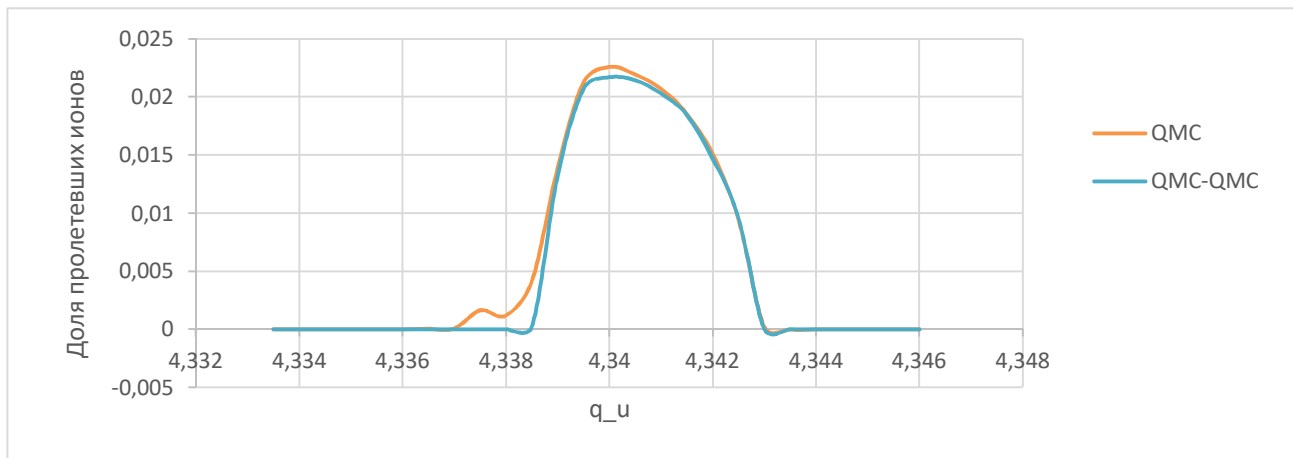


Рис. 6. Массовые пики, полученные в результате моделирования работы приборов типа QMC и QMC-QMC

Таблица 1. Качественные характеристики массовых пиков в нижней точке

Тип масс-фильтра	QMC	QMC- QMC
Максимальная интенсивность пика, %	2,26	2,17
Разрешающая способность	313,1	313,3
Добротность	7,1	6,8

Согласно установленной ранее общей закономерности, уменьшение углового коэффициента приводит к снижению интенсивности и повышению разрешающей способности, добротности. Достоверность данного утверждения была апробирована ранее на одном квадрупольном масс-фильтре. Однако закономерность сохраняется и в случае тандема из двух последовательных квадрупольных масс-фильтров. В качестве подтверждения рассмотрим рисунки 7-10.

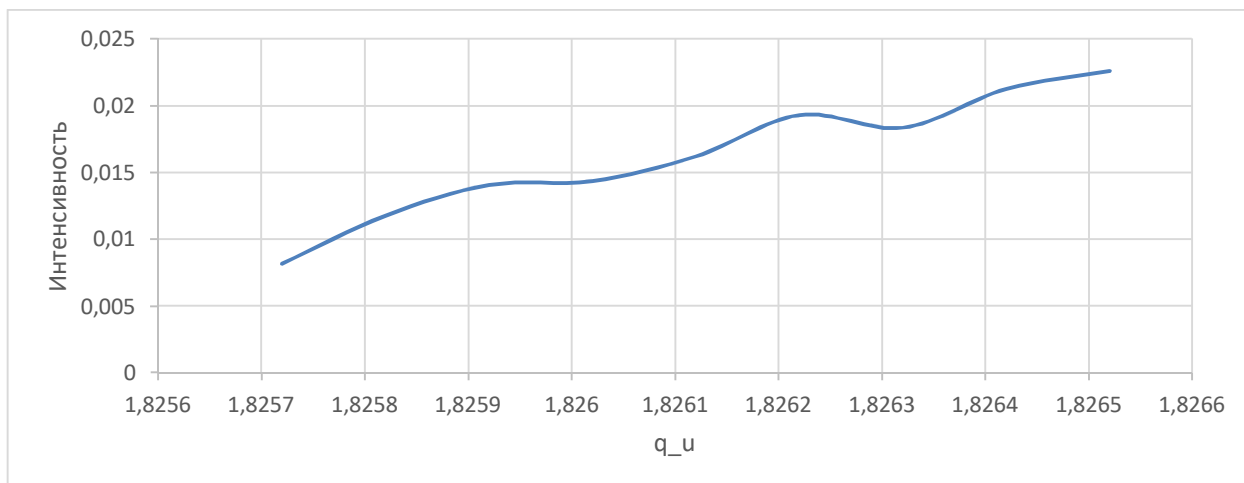


Рис. 7. Зависимость интенсивности от углового коэффициента при моделировании работы QMC-QMC

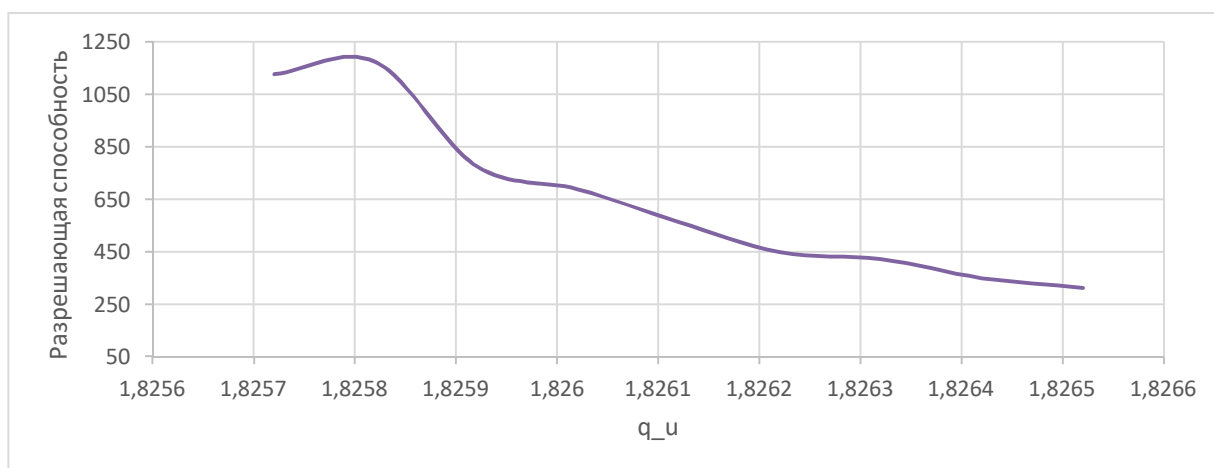


Рис. 8. Зависимость разрешающей способности от углового коэффициента при моделировании работы QMC-QMC

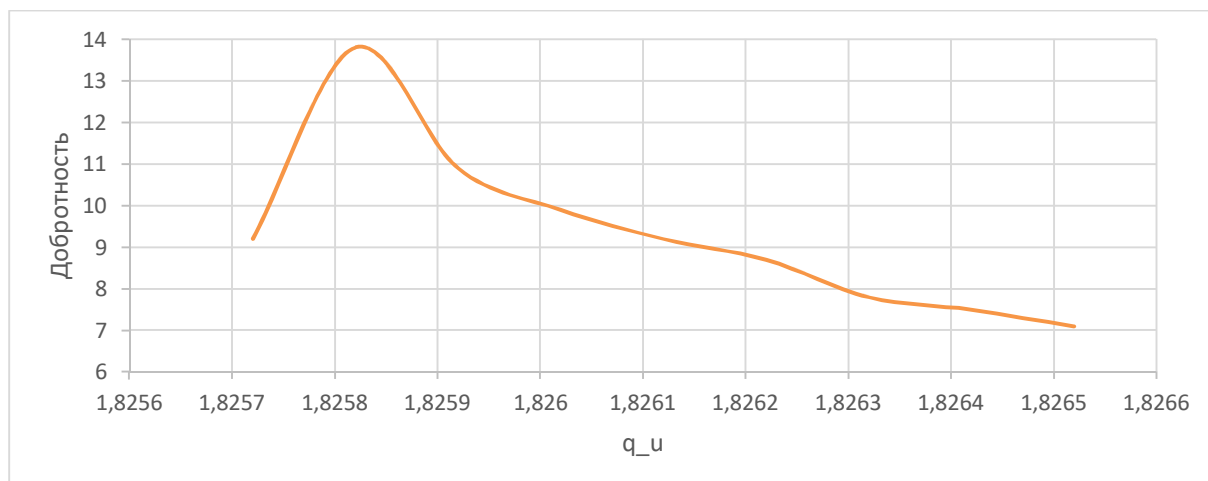


Рис. 9. Зависимость добротности от углового коэффициента при моделировании работы QMC-QMC

При уменьшении углового коэффициента происходит последовательное снижение интенсивности массовых пиков. Они становятся меньше в целом: вершина смещается ниже, боковые части сужаются. Показатели разрешающей способности и добротности при этом

увеличиваются. Отмечается более явные изменения во всех показателях и характеристиках в сравнении с одним квадрупольным масс-фильтром.

Оптимальным диапазоном значений углового коэффициента можно назвать промежуток от 1,82622 до 1,82642. В установленных границах интенсивность не падает ниже 1,9%, а максимально достижимая разрешающая способность составляет порядка 450 единиц.

Библиографический список

1. Дубков М.В., Ветшев К.А., Рубцова А.Д. Квадрупольная тандемная масс-спектрометрия // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2024 [текст]: сб. тр. VII междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.3./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2024.

2. Дубков М.В., Буробин М.А., Иванов В.В., Ветшев К.А., Рубцова А.Д. Исследование особенностей работы квадрупольного фильтра масс в верхней и нижней вершинах четырехугольника стабильности при наличии нелинейности электрического поля // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2024. № 86. С. 162-171.

3. Дубков М.В., Ветшев К.А., Рубцова А.Д. Расчет формы массового пика посредством метода Рунге-Кутты для решения задач аналитической химии // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2023 [текст]: сб. тр. VI междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.3./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2023.

УДК 621.9.048.4; ГРНТИ

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНО-ГРУППОВОГО СОСТАВА КЕРОСИНО-ГАЗОЙЛЕВЫХ ФРАКЦИЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Д.С. Архипова¹, А.В. Емельянов², П.В. Лызлов³,
М.В. Лызлова⁴, Г.И. Мельник⁵

^{1,2,4}Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Российская Федерация, Рязань, ¹dasha445891@gmail.com, ²snk69k@inbox.ru ⁴lyzlova.m.v@mail.ru,

³Московский политехнический университет,

Российская Федерация, Москва, petr.lyzlov@yandex.ru,

⁵Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, Российская Федерация, Рязань, galame@yandex.ru

Аннотация. Изготовление деталей со сложными поверхностями, применение труднообрабатываемых материалов, требования к качеству поверхности изделий в настоящее время привели к увеличению использования технологии электроэрозионной обработки (ЭЭО). В настоящей работе проведены исследования керосино-газойлевых фракций с целью применения в качестве рабочих жидкостей (РЖ) процессов ЭЭО. Выполнены расчеты структурно-группового состава и определены физико-химические показатели узких фракций, даны рекомендации по использованию отдельных фракций в различных видах ЭЭО.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка (ЭЭО), структурно-групповой состав керосино-газойлевых фракций, показатели качества рабочих жидкостей (РЖ).

STUDY OF STRUCTURAL-GROUP COMPOSITION OF KEROSENE-GAS OIL FRACTIONS FOR USE AS WORKING FLUID IN ELECTRIC DISCHARGE MACHINING OF MATERIALS

D.S. Arkhipova¹, A.V. Emelianov², P.V. Lyzlov^{3*},
M.V. Lyzlova⁴, G.I. Melnik⁵

^{1,2,4}Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Russian Federation, Ryazan, ¹dasha445891@gmail.com, ²snk69k@inbox.ru ⁴lyzlova.m.v@mail.ru,

³Moscow Polytechnic University,

Russian Federation, Moscow, petr.lyzlov@yandex.ru,

⁵Ryazan Institute (branch) of Moscow Polytechnic University, Russian Federation, Ryazan, galame@yandex.ru

Abstract. Manufacturing of parts with complex surfaces, application of difficult-to-machine materials, requirements for the quality of the product surface have currently led to an increase in the use of electrical discharge machining (EDM) technology. In this paper, studies of kerosene-gas oil fractions were conducted for the purpose of using them as working fluids (WF) in EDM processes. Calculations of the structural-group composition were performed and physicochemical indicators of narrow fractions were determined, recommendations were given for the use of individual fractions in various types of EDM.

Keywords: electrical discharge machining (EDM), structural-group composition of kerosene-gas oil fractions, quality indicators of working fluids (WF).

В настоящее время увеличивается спрос на сложно конструктивные изделия и детали из современных труднообрабатываемых материалов. Конструкторы все чаще закладывают в разрабатываемые изделия высокие требования к качеству получаемых поверхностей, достичь которых при изготовлении только классической механической обработкой не всегда удается. Для изготовления изделий со сложными геометрическими поверхностями или получения отверстий и пазов в труднодоступных местах, на производстве приходится решать комплекс различных проблем, начиная с применения специальных станков и заканчивая оснасткой и специальными приспособлениями при обработке. Одним из эффективных методов обработки деталей со сложной конфигурацией является электроэрозионная обработка (ЭЭО) [1, 2, 3].

Процесс электроэрозионной обработки, осуществляемый последовательностью импульсных электрических разрядов между электродом-деталью и электродом-инструментом невозможен без специальной среды, способствующей высвобождению продуктов эрозии из межэлектродного промежутка и формообразованию. Для того, чтобы процесс электроэрозионного съема металла происходил с максимальной эффективностью используется специальная рабочая жидкость (РЖ). Достаточно часто применяются углеводородные жидкости, к которым предъявляются определенные требования.

РЖ должна обеспечивать высокие технологические показатели и оптимальный режим обработки: на черновых режимах рекомендуется применять РЖ с вязкостью 5-6 мм²/с, на чистовых – 1,8-3 мм²/с. РЖ должна обладать термической стабильностью физико-химических свойств при воздействии электрических разрядов, низкой коррозионной активностью к материалам электроинструмента и заготовки, высокой температурой вспышки (не ниже 61 °С), низкой испаряемостью, хорошей фильтруемостью, отсутствием запаха и низкой токсичностью. Эти свойства зависят от структурно-группового состава углеводородных фракций, получаемых из нефти в процессе ее переработки.

Задача настоящей работы заключалась в изучении структурно-группового состава керосино-газойлевых фракций с целью их применения в качестве рабочих жидкостей ЭЭО. Известно, что нефтепродукты обладают индивидуальными соотношениями углеводородов различного строения, образующими их групповой состав, в зависимости от температуры кипения фракции. Основными группами являются парафиновые, нафтеновые и ароматические углеводороды, от наличия которых зависят свойства углеводородной фракции, применяемой в дальнейшем в качестве рабочей жидкости ЭЭО. Так, например, температура вспышки определяет безопасность работы на оборудовании электроэрозионной обработки, и ее минимальное значение определяет возможность использования этих углеводородов в определенном виде обработки. Основные показатели качества углеводородного сырья, используемого в ЭЭО: температура вспышки в закрытом тигле ($t_{всп}$) °С, кинематическая вязкость при 20 °С (ν_{20}), мм²/с, плотность (ρ_{20}), кг/м³, содержание аренов (X_A), %, температура кипения (t_k , °С) приведены в таблице 1. Исследованию данных показателей и соотношению углеводородов разных классов в нефтяных фракциях посвящена настоящая работа.

Таблица 1. Основные показатели рабочих жидкостей, применяемых при ЭЭО

Область применения	Наименование РЖ	Показатели				
		$t_{всп}, ^\circ\text{C}$	$\nu_{20}, \text{мм}^2/\text{с}$	$\rho_{20}, \text{кг}/\text{м}^3$	$X_A, \%$	$t_{к}, ^\circ\text{C}$
ЭЭВ	Керосин	50-90	1,8	-	18-20	150
ЭЭОК, ЭЭПр, ЭЭОт	Масло промышленное И12, И30, И40	100	12	-	30	-
ЭЭОК, ЭЭПр, ЭЭОт	Смесь керосин : масло промышленное И12 1:1	61-63	6,0	830	22-25	-
ЭЭВ, ЭЭОК, ЭЭПр, ЭЭОт	Сырье углеводородное	64	3,0	790	3,5-6,5	185
ЭЭВ	Рабочая жидкость РЖЗ	80	3,0	-	5,5	200
Маркирование	Дизельное топливо Л	40-61	-	860	-	-

В работе из трех образцов нефти фракционированием получили широкие керосино-газойлевые фракции, которые затем разогнали на узкие фракции (рисунок 1). Для каждой из узких фракций определили основные физико-химические показатели: относительную плотность при 20°C (ρ_4^{20}), показатель преломления (n_D^{20}), молярную массу (М), содержание серы (S % мас.), кинематическую вязкость при температурах 20°C , и 50°C (ν_{20} , ν_{50}) (рисунки 2–6). Полученные данные использовались для расчетов по определению группового состава методом n - ρ - M , который описан в работе К. Ван-Неса и Х. Ван-Вестена [4] и работах [5, 6, 7, 8] и предполагает вычисление процентного содержания углерода в группах структурно-различающихся углеводородов, содержащихся в составе нефтепродуктов.

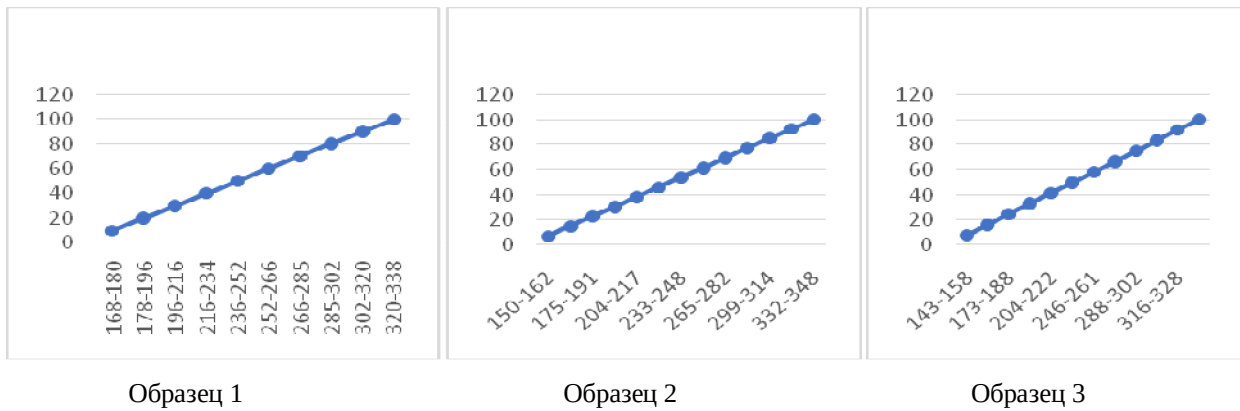


Рис. 1. Фракционный состав

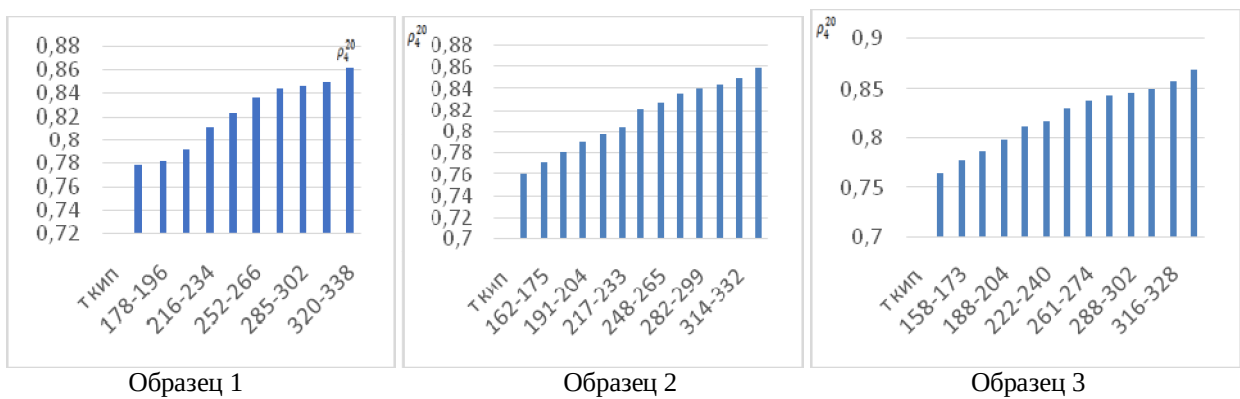


Рис. 2. Плотность в зависимости от температуры кипения

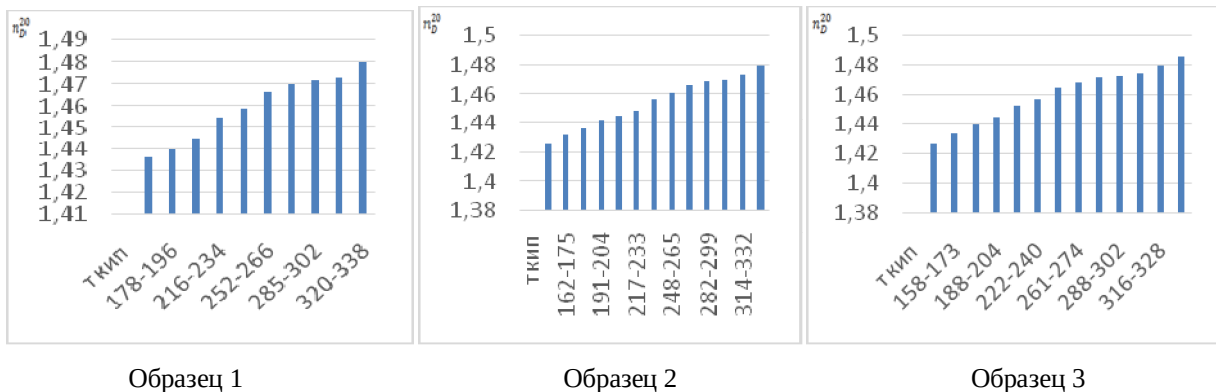


Рис. 3. Показатель преломления в зависимости от температуры кипения

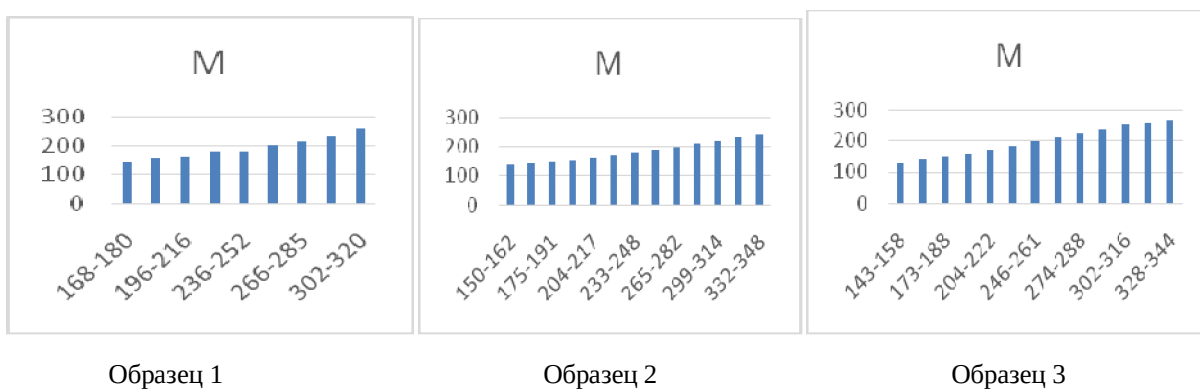


Рис. 4. Молярная масса в зависимости от температуры кипения

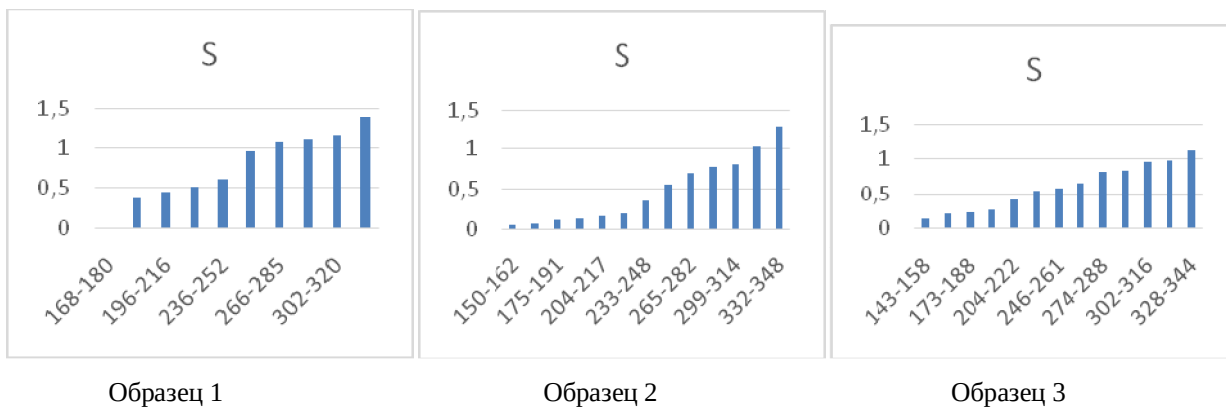


Рис. 5. Содержание серы в зависимости от температуры кипения

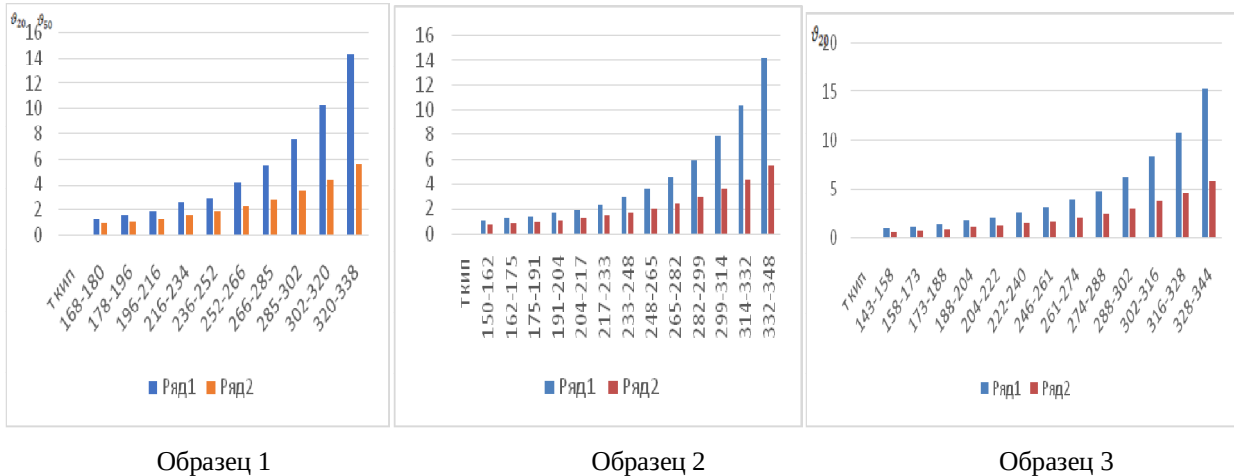


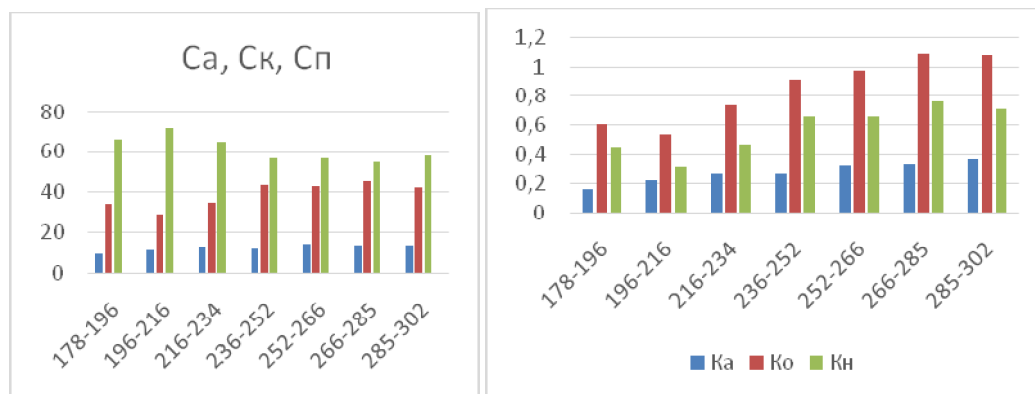
Рис. 6. Кинематическая вязкость в зависимости от температуры кипения

В таблице 2 представлены расчётные формулы, используемые для проведения вычислений структурно-группового состава нефтяных фракций методом n - p - M .

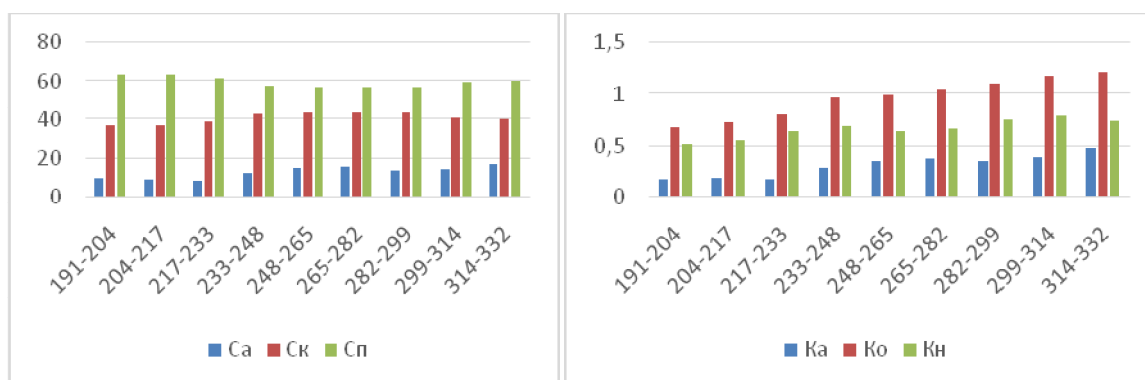
Таблица 2. Последовательность расчёта по методам К. Ван-Неса

Значения факторов X и Y для расчёта распределения углерода по структурам	$X = 2,51(n_D^{20} - 1.4750) - (\rho_4^{20} - 0.8510)$ $Y = (\rho_4^{20} - 0.8510) - 1,11(n_D^{20} - 1.4750)$
Массовая доля углерода в кольцевых структурах C_K , %	$C_K = 820Y - 3S + \frac{10000}{M} \quad \text{при } Y > 0$
Массовая доля углерода в ареновых кольцах C_A , %	$C_A = 430X + \frac{3660}{M} \quad \text{при } X > 0$
Массовая доля углерода в нафтеновых кольцах C_H , %	$C_H = C_K - C_A$
Массовая доля углерода в парафиновых структурах C_P , %	$C_P = 100 - C_K$
Число ареновых колец в «средней молекуле» фракции	$K_A = 0,44 + 0,05MX \quad \text{при } X > 0$
Общее число колец в «средней молекуле» фракции	$K_O = 1,33 + 0,146M(Y - 0.005S) \quad \text{при } Y > 0.$
Число циклоалкановых колец в «средней молекуле» фракции	$K_H = K_O - K_A$

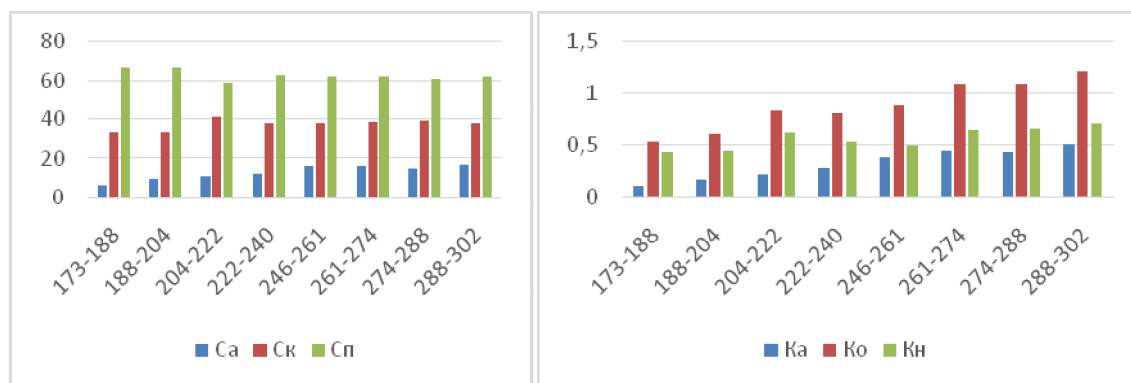
Итоги расчётов, представляющие собой процентное содержание углерода в парафиновых, нафтеновых и ароматических структурах керосино-газойлевых фракций и содержание колец в средней молекуле фракции, произведённых по методам К. Ван-Неса и Х. Ван-Вестена, изображены на рисунке 7. Для расчета составов были выделены фракции, имеющие температуру вспышки больше 50°C и значения кинематической вязкости при 20°C около $7 \text{ мм}^2/\text{с}$: образец 1 – $178\text{-}302^\circ\text{C}$, образец 2 – $191\text{-}314^\circ\text{C}$, образец 3 – $173\text{-}302^\circ\text{C}$.



Образец 1 температура вспышки 60 °С



Образец 2 температура вспышки 68 °С



Образец 3 температура вспышки 56 °С

Рис. 7. Содержание углерода в структурных группах фракций (C_A, C_к, C_п) и содержание колец в «средней молекуле» фракции (K_A, K_O, K_н) по методу К. Ван-Неса, Х. Ван-Вестена

Анализ группового состава трех образцов керосино-газойлевых фракций показал, что наличие ароматических углеводородов в узкой фракции с началом кипения 178 °С (образец 1– 9,16), 191 °С (образец 2– 9,09) и 173 °С (образец 3– 6,01), влияет на испаряемость углеводородной смеси и, соответственно, на температуру вспышки: образец 1– 60 °С, образец 2– 68 °С и образец 3– 56 °С. По данному показателю образец 2 можно использовать в качестве рабочей жидкости процессов электроэрозионного объемного копирования (ЭЭОК), электроэрозионного прошивания (ЭЭПр), электроэрозионной отрезки (ЭЭОт), образец 1 и образец 3 – в электроэрозионном вырезании (ЭЭВ) и электроэрозионном маркировании (ЭЭМ). Если в образце 1 осуществлять отбор фракции, начиная с температуры кипения 196 °С, то количест-

во аренов возрастет до 11,2 %, что приведет к увеличению температуры вспышки и возможности применения этой фракции в качестве РЖ процессов ЭЭОК, ЭЭПр, ЭЭОт.

Шероховатость поверхности после обработки – один из основных показателей качества проведенного технологического процесса. На шероховатость обрабатываемой поверхности в процессе ЭЭО влияет вязкость рабочей жидкости. Наибольшей вязкостью обладают углеводороды, количество которых увеличивается для образца 1 и практически не изменяется для образцов 2 и 3. При этом минимальное значение вязкости по фракциям имеет образец 3 (от 1,78 до 6,29 мм²/с), а максимальное – образец 1 (от 1,87 до 7,53 мм²/с). Таким образом, максимальную чистоту обработки поверхности обеспечит РЖ на основе углеводородов образца 3 в процесс ЭЭВ.

Охлаждение рабочей зоны и предотвращение оплавления поверхности электрода инструмента – одна из важнейших функций рабочей жидкости в технологии ЭЭО. При снижении температуры увеличивается вязкость, подвижность особенно парафиновых углеводородов резко снижается с увеличением температуры кипения фракции. Практически во всех образцах содержание парафиновых углеводородов находится в пределах 60 %, образцы 1 и 2 содержат меньше парафинов в высококипящих фракциях и, следовательно, обладают меньшими значениями температур застывания.

Таким образом, изучение структурно-группового состава керосино-газойлевых фракций с применением расчетного метода К. Ван-Неса и Х. Ван-Вестена совместно с определением физико-химических показателей позволяет выбрать рабочую жидкость ЭЭО.

Библиографический список

1. Наукоёмкие технологии машиностроительного производства. Физико-химические методы и технологии: учебное пособие / Ю.А. Моргунов, Д.В. Панов, Б.П. Саушкин, С.Б. Саушкин; под редакцией Б.П. Саушкина. – Москва: ФОРУМ, 2013. – 928 с.
2. Немилев, Е.Ф. Справочник по электроэрозионной обработке материалов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1989. – 164 с.
3. Савицкий, В.В. Электроэрозионные методы обработки материалов. Учеб. пособие / В.В. Савицкий. – Витебск: УО «ВГТУ», 2006. – 276 с.
4. Состав масляных фракций нефтей и их анализ / К. Ван-Нес, Х. Ван-Вестен. Москва: Изд-во иностр. лит., 1954. – 463 с.
5. Riazi M., Daubert T.E. Prediction of molecular – type analysis of petroleum fractions and coal liquids // Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 1988.V. 25. № 4. P. 1009-1015.
6. Иванова, Л.В. Регулирование низкотемпературных свойств нефтяных систем разного уровня сложности: дис. канд. химич. наук/ Л.В. Иванова. – Москва, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, 2016. – 256 с.
7. Ветшев, К.А. Исследование группового состава прямогонного и гидроочищенного вакуумного газойля/ К.А. Ветшев, М.В. Воронов, М.В. Лызлова, Г.И. Мельник А.Д. Рубцова, Д.С. Трунькин// Сб.: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2021.: Материалы IV Международного научно-технического форума/ В 10-ти томах, под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: 2021. т. 3 – С. 57-61
8. Емельянов А.В. Исследование физико-химических свойств рабочей жидкости электроэрозионной обработки материалов/ А.В.Емельянов, В.О. Свирина, М.В. Скрипкина, М.В. Лызлова, Г.И. Мельник // Сб. Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2024 [текст]: сб. тр. XXXVII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 4-6 декабря 2024 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2024. – С. 225-230

УДК 692.415

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МЕМБРАННЫХ КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.Ю. Храпова*, Г.И. Мельник**

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, hrapovakeit2000@gmail.com,

**Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета,
Российская Федерация, Рязань, galame@yandex.ru

Аннотация. Поливинилхлорид (ПВХ), зарекомендовавший себя как универсальный материал, нашел широкое применение в самых разных сферах промышленности. Ключевым фактором, определяющим характеристики готовых изделий, является состав полимерных композиций. В случае ПВХ-мембран, именно состав оказывает решающее влияние на их физико-химические свойства и, соответственно, на эксплуатационные характеристики. Данная работа посвящена всестороннему анализу ПВХ-мембран, призванному выявить их сильные и слабые стороны. Цель исследования – детальное изучение эксплуатационных свойств этих материалов, чтобы получить полное представление об их достоинствах и потенциальных ограничениях при использовании в кровельных системах.

Ключевые слова: полимерная кровля, ПВХ-мембрана, пластификаторы, физико-механические показатели

THE EFFECT OF COMPOSITION ON THE OPERATIONAL PROPERTIES OF MEMBRANE ROOFING MATERIALS

E.Y. Khrapova*, G.I. Melnik **

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, hrapovakeit2000@gmail.com

**Ryazan Institute (branch) of Moscow Polytechnic University,
Russian Federation, Ryazan, galame@yandex.ru

Abstract. Polyvinyl chloride (PVC), which has proven itself to be a versatile material, has found wide application in a wide variety of industries. The key factor determining the characteristics of finished products is the composition of polymer compositions. In the case of PVC membranes, it is the composition that has a decisive influence on their physico-chemical properties and, consequently, on their operational characteristics. This work is devoted to a comprehensive analysis of PVC membranes, designed to identify their strengths and weaknesses. The purpose of the study is to study in detail the operational properties of these materials in order to gain a complete understanding of their advantages and potential limitations when used in roofing systems.

Keywords: polymer roofing, PVC membrane, plasticizers, physico-mechanical properties

Крыша – это не просто верхняя часть здания, а его надежная защита от непредсказуемых капризов окружающей среды. От правильности выбора кровельного материала зависит комфорт, безопасность и долговечность всего сооружения. Именно поэтому принятие решения о выборе кровли требует взвешенного подхода и глубокого понимания эксплуатационных характеристик материалов.

В этом контексте долговечность и надежность выступают не просто желаемыми качествами, а фундаментальными критериями, определяющими успешность выбора. Перед тем как остановить свой выбор на конкретном материале, необходимо провести тщательный анализ его свойств, уделяя особое внимание следующим ключевым аспектам [1, 2]:

Прочность: Способность выдерживать механические нагрузки, такие как вес снега, ветра и другие внешние воздействия.

Эластичность: Гибкость и устойчивость к деформации, позволяющие материалу адаптироваться к изменениям температуры и другим динамическим воздействиям.

Водонепроницаемость: Способность эффективно препятствовать проникновению влаги, предотвращая протечки и защищая конструкцию от разрушения.

Легкость монтажа: Простота установки и обслуживания, что влияет на стоимость работ и сроки строительства.

Пригодность для различных климатических условий: Устойчивость к экстремальным температурам, солнечной радиации, осадкам и другим факторам, характерным для конкретного региона.

Таким образом, выбор кровельного материала – это стратегическое решение, требующее комплексного рассмотрения всех вышеперечисленных аспектов, чтобы обеспечить долговечную и надежную защиту здания на долгие годы [3, 4, 5].

В современном строительстве наблюдается стремительный рост популярности полимерных кровельных покрытий, что обусловлено их выдающимися эксплуатационными характеристиками, коренным образом меняющими представление о надежной и долговечной крыше. Эти материалы демонстрируют уникальное сочетание свойств, которые открывают новые горизонты в проектировании и строительстве.

Среди ключевых преимуществ, обеспечивших полимерным покрытиям признание, можно выделить следующие:

Непревзойденная эластичность: Способность легко адаптироваться к деформациям, вызванным температурными колебаниями и другими внешними факторами, гарантируя целостность кровли на протяжении всего срока службы.

Эталон надежности: Высокая устойчивость к механическим воздействиям, включая удары, проколы и истирание, обеспечивающая долговечность и защиту от повреждений.

Впечатляющая прочность: Способность выдерживать значительные нагрузки, включая вес снега, ветра и других внешних факторов, обеспечивающая надежную защиту от неблагоприятных погодных условий.

Безупречная адаптивность к климату: Возможность сохранять свои эксплуатационные свойства в широком диапазоне температур и климатических условий, от суровых морозов до палящего солнца, гарантирующая надежную защиту в любых условиях.

Легкость монтажа и эксплуатации: Простота установки, обслуживания и ремонта, что существенно снижает затраты на строительство и эксплуатацию.

Продленный срок службы: Длительный срок службы без необходимости проведения частого ремонта или замены, что делает полимерные кровли экономически выгодным решением в долгосрочной перспективе.

Таким образом, полимерные кровельные покрытия открывают новую эру в кровельном деле, предлагая революционное сочетание преимуществ, которое ставит их в авангард современных строительных технологий.

Несмотря на разнообразие предлагаемых на рынке ПВХ-мембран, обусловленное вариативностью рецептур и технологическими особенностями производителей, их основополагающим компонентом всегда остается поливинилхлорид (ПВХ). Однако ПВХ, сам по себе, представляет лишь основу, своего рода “скелет” будущей мембраны. Истинное величие этого материала проявляется благодаря тщательно продуманной системе добавок, которые, словно талантливые архитекторы, формируют его уникальные эксплуатационные свойства.

В этой сложной, но гармоничной “архитектуре” ПВХ-мембраны можно выделить ключевые элементы, определяющие ее функциональность и долговечность [6]:

Поливинилхлорид (ПВХ): Фундаментальный полимер, обеспечивающий базовую прочность, устойчивость к воздействиям окружающей среды и водонепроницаемость мембраны.

Пластификаторы: Компоненты, придающие мембране необходимую гибкость и эластичность, предотвращающие ее растрескивание и обеспечивающие сохранение свойств при низких температурах.

Стабилизаторы: Защитники ПВХ от разрушительного воздействия ультрафиолетового излучения, окисления и других негативных факторов, продлевающие срок службы мембраны.

Пигменты: Элементы, придающие мембране эстетичный внешний вид, позволяющие создать кровельное покрытие, гармонично вписывающееся в архитектурный облик здания.

Наполнители: Компоненты, улучшающие механические свойства мембраны, такие как прочность на разрыв и устойчивость к истиранию, а также снижающие ее стоимость.

Добавки: Специализированные компоненты, отвечающие за решение конкретных задач, например, повышение огнестойкости, антистатические свойства или улучшение адгезии.

Таким образом, ПВХ-мембрана – это результат сложной инженерной работы, в которой каждый компонент играет свою важную роль, обеспечивая идеальный баланс между функциональностью, долговечностью и эстетической привлекательностью.

Поливинилхлорид, или ПВХ, представляет собой термопластичный полимер винилхлорида, обладающий прозрачностью и отсутствием цвета. Материал устойчив к воздействию кислот, не растворяется в воде и способен выдерживать низкие температуры. ПВХ доступен в форме порошка и находит широкое применение в разнообразных сферах, включая медицину, транспортную отрасль, строительство, производство упаковки, игрушек и других.

Недостатком ПВХ является его низкая термостойкость и хрупкость. Под воздействием высоких температур он подвергается активному разрушению с выделением хлористого водорода и других химических соединений. Для улучшения технологических свойств ПВХ применяют в композициях, включающих различные добавки и примеси.

Типичный состав ПВХ-композиции включает в себя: стабилизаторы (4-6%), модификаторы (4-5%), смазочные материалы (1-2%), пластификаторы (8-30%), диоксид титана (2-4%) и ПВХ смолу (60-80%).

На базе лаборатории ООО «Завод Лоджикруф» были проведены испытания Кровельная ПВХ мембрана LOGICROOF V-RP ARCTIC, LOGICROOF PRO V-RP и LOGICROOF V-RP. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-механические показатели испытываемой ПВХ мембраны Logicroof

Наименование характеристики	Наименование НД на метод испытаний	Полученные значения характеристик испытываемого образца		
		LOGICROOF V-RP ARCTIC	LOGICROOF PRO V-RP	LOGICROOF V-RP
Видимые дефекты	ГОСТ EN 1850-2	Отс.	Отс.	Отс.
Толщина	ГОСТ EN 1849-2	1,18	1,21	1,54
Определение прочности при растяжении, метод А, Н/50 мм, не менее вдоль рулона поперек рулона	ГОСТ 31899-2 (EN 12311-2)	1419	1125	1618
		1148	985	1238
Удлинение при максимальной нагрузке, %, не менее вдоль рулона поперек рулона	ГОСТ 31899-2 (EN 12311-2)	34,4	25,7	30,5
		29,55	28,4	29,3
Полная складываемость при отрицательной температуре, °С, не более	ГОСТ EN 495-5	-40	-30	-35

Кровельная мембрана, изготовленная из первоклассного пластифицированного поливинилхлорида и усиленная полиэфирной армирующей сеткой, сохраняет пластичность кровельного материала при минусовых температурах. Материал устойчив к ультрафиолетовому излучению благодаря технологии стабилизации TRI-P, содержит огнезащитные добавки за

счет включения в состав антипиренов и специальные стабилизаторы. Отличается повышенной гибкостью, что упрощает монтаж в условиях низких температур.

В настоящем исследовании выполнено сопоставление разных видов кровельных ПВХ мембран с акцентом на их физико-механические характеристики. Полученные данные свидетельствуют о том, что мембраны LOGICROOF демонстрируют оптимальное соотношение между прочностными показателями и сопротивляемостью к внешним факторам. Перспективы дальнейших исследований связаны с оценкой долговременной надёжности мембраны в разнообразных климатических условиях.

Библиографический список

1. Шаравара, А.М. Современные строительные материалы на основе ПВХ/ А.М. Шаравара, И.А. Христофорова// Международный академический вестник. – 2019. – № 10 (42). –С. 107-109.
2. Джанкулаев, А.А., Применение полимерных мембранных кровельных материалов / А.А. Джанкулаев, Л.А. Тухужева // Вопросы науки и образования. – 2020. – № 1. – С. 85-87.
3. Севостьянова, И.М., Анализ использования мембраны из поливинилхлорида в строительстве// И.М. Севостьянова, Е.К. Субботина, Е.Р. Иванова, П.А.Амзаракова, Л.А. Лукина// Московский экономический журнал. – 2019. – №. 7. – С 88-96.
4. Кузнецова, Е.В. Мембранная кровля - современные технологии в строительстве// Е.В Кузнецова// Материалы Всеросс. науч.-метод. конф. "Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры". – Оренбург: ОГУ, – 2018. – С. 266-270.
5. Лужнов, Е. А. Сравнительный анализ полимерных кровельных материалов /Е. А. Лужнов // Перспективы развития науки и образования: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Нефтекамск / Под общей редакцией А.И. Вострецова. – Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), –2021. – С. 115-125.
6. Тарасов, И.Ю. Влияние наполнителей на свойства композиции на основе ПВХ / И.Ю. Тарасов, И.А. Христофорова// Сб.: Материалы XXX Междунар. науч.-практ. конф./ –Анапа: 2022. – С. 41-47.

УДК 504.06; ГРНТИ 87.53.13

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОРЕМЕДИАЦИИ В ПРОЦЕССЕ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Е.В. Воробьева, Е.А. Новикова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, lnovikova1925@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается способ утилизации осадка сточных вод с применением биоремедиации. Приводятся основные особенности, достоинства и недостатки метода. Проведены лабораторные исследования двух образцов почвогрунта и его стабилизация в лабораторных условиях. Исследуемые показатели (водородный показатель, индекс токсичности среды, массовая доля органических веществ, массовая доля азота, массовая доля оксида фосфора (V), массовая доля влаги, массовая доля нефтепродуктов) соответствуют экологическим нормам и стандартам.

Ключевые слова: осадок сточных вод, биоремедиация, почвогрунт, рекультивация.

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING BIOREMEDIATION IN THE PROCESS OF RECYCLING SEWAGE SLUDGE

E.V. Vorobyova, E.A. Novikova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, lnovikova1925@mail.ru*

The summary. The paper considers a method for the disposal of sewage sludge using bioremediation. The main features, advantages and disadvantages of the method are given. Laboratory studies of two soil samples and their stabilization in laboratory conditions were carried out. The studied indicators (hydrogen index, environmental toxicity index, mass fraction of organic substances, mass fraction of nitrogen, mass fraction of phosphorus oxide (V), mass fraction of moisture, mass fraction of petroleum products) comply with environmental norms and standards.

Keywords: sewage sludge, bioremediation, soil base, reclamation.

Очистные сооружения сточных вод (ОСВ) производят осадки, состоящие из избыточного активного ила и неочищенных отложений, образующихся в процессе биологической очистки. Эти осадки нуждаются в последующей переработке или утилизации. Обработка осадков ОСВ крайне важна для снижения негативного воздействия на окружающую среду. В последние годы наблюдается рост интереса к экологически безопасным и экономически целесообразным методам утилизации осадков сточных вод (ОСВ).

Традиционные способы, такие как захоронение и сжигание, теряют актуальность из-за ужесточения экологических норм и необходимости ресурсосбережения. В связи с этим особое внимание уделяется биоремедиации, компостированию, термическому высвобождению полезных элементов и интеграции ОСВ в производство строительных материалов. Настоящее исследование направлено на разработку метода утилизации таких осадков с помощью биоремедиации.

Биоремедиация представляет собой совокупность методов очистки, основанных на применении биологических агентов для удаления ксенобиотиков (загрязняющих веществ) из почвы. Этот процесс включает ферментацию (разложение с помощью ферментов) смеси в буртах с регулярным перемешиванием. Микроорганизмы, такие как бактерии и грибы, часто используются в биоремедиации. Выбор конкретного биологического агента зависит от состава и влажности почвы [1].

Для повышения эффективности биоремедиации осадки часто смешивают с органическими добавками, такими как древесные опилки, торф и солома. Эти компоненты не только улучшают физико-химические свойства смеси, но и обеспечивают дополнительное питание для микроорганизмов. Например, добавление торфа способствует улучшению аэрации, а древесные опилки являются источником углерода, необходимого для метаболизма бактерий.

Биологическая очистка ОСВ требует тщательного контроля нескольких ключевых параметров:

1. Температура и влажность – оптимальный диапазон составляет 20–35°C, при этом влажность должна находиться в пределах 40–60%.
2. Содержание органического вещества – высокая концентрация органики может замедлить процесс разложения, поэтому важно соблюдать баланс между органическими и минеральными компонентами.
3. pH среды – большинство микроорганизмов лучше всего функционирует при слабокислой или нейтральной среде (pH 5,5–7,5).
4. Наличие тяжелых металлов – токсичные элементы (свинец, кадмий, ртуть) могут подавлять активность микробных сообществ, поэтому часто применяются методы их связывания с помощью цеолитов или фосфатных соединений.

Каждый из основных компонентов, используемых для создания почвогрунта (осадки сточных вод, песок, торф, древесные опилки и глина), вносит свой вклад в его свойства:

* Глина: Обогащает почву минералами, разрыхляет её структуру и способствует удержанию влаги.

* Торф: Служит ценным органическим удобрением, богатым азотом. Удерживает влагу и обладает антисептическими свойствами.

* Древесные опилки: Поглощают избыток воды, обогащают почву углеродом и способствуют гумификации.

* Песок: Обеспечивает рыхлость почвы, предотвращает образование поверхностной корки и улучшает доступ кислорода к корням растений [2].

В процессе производства почвогрунта использовались осадки сточных вод (ОСВ) с влажностью 81,3%. Для определения оптимального состава были приготовлены смеси ОСВ с торфом, опилками, песком и глиной в различных пропорциях.

Исследование проводилось в несколько этапов:

1. Анализ исходных материалов: Изучены характеристики нефтезагрязненной почвы и проведены лабораторные исследования осадков сточных вод (ОСВ) для оценки их пригодности в качестве компонента почвогрунта.

2. Подготовка ОСВ: Для обезвоживания, обогащения углеродом и повышения пористости в ОСВ добавлены древесные опилки. Для инициирования биодеструкции углеводов внесен сфагнум.

3. Определение оптимального состава: Экспериментально подобраны оптимальные соотношения ОСВ, торфа (ГОСТ Р 52067), песка (ГОСТ 8736) и глины.

4. Внесение микроорганизмов и ферментация: В полученные смеси ОСВ и других компонентов внесены микроорганизмы. Регулярное перемешивание обеспечивало активацию аэробных и анаэробных процессов, ускоряя разложение органики в минеральные соли и стабилизируя состав почвогрунта.

5. Контроль качества: В процессе стабилизации состава почвогрунта проводился контроль его качества на соответствие ГОСТ Р 53381-2009 и ГОСТ Р 54534-2011.

Для исследования были подготовлены два образца почвогрунта с разным составом компонентов:

1. Образец 1: 50% осадков сточных вод, 20% торфа, 8% древесных опилок, 10% песка, 12% глины.

2. Образец 2: 50% осадков сточных вод, 10% торфа, 10% древесных опилок, 5% песка, 5% глины, 20% очищенной почвы.

В ходе исследования анализировались следующие показатели: массовая доля органических веществ (в пересчете на сухое вещество), водородный показатель (рН), массовая доля общего азота (в пересчете на сухое вещество), массовая доля оксида фосфора(V) (в пересчете на сухое вещество), массовая доля влаги и массовая доля нефтепродуктов. Результаты лабораторных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. Агрохимические показатели

Наименование показателя	ОСВ	Нефтезагрязненная почва	Варианты соотношения компонентов			Норма
			Нефтезагрязненная почва (после очистки)	Вариант 1	Вариант 2	
$\omega_{\text{орг. в-в}}$, % на сухое в-во	42,4	37,1	31,2	26,0	28,0	20,0
рН	4,1	7,5	7,1	6,3	6,7	5,5-8,5
ω_{N} , % на сухое в-во	3,0	0,4	1,4	1,6	1,5	0,6
$\omega_{\text{P}_{205}}$, % на сухое в-во	2,8	3,8	3,4	1,9	2,2	1,5
$\omega_{\text{влаги}}$, %	81,3	58,7	28,3	32,6	30,1	70
$\omega_{\text{нп}}$, %	-	82,0	11,0	21,1	68,4	10,0

Лабораторные исследования показали, что оптимальное соотношение компонентов соответствует варианту 1: 50% ОСВ, 20% торфа, 8% древесных опилок, 10% песка и 12% глины. Агрохимические показатели полученного почвогрунта соответствуют требованиям ГОСТ Р 53381-2009 и ГОСТ Р 54534-2011.

Для оценки подвижности поллютантов (ионов тяжелых металлов) и условий для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и растений проведено исследование динамики характеристик почвы во времени (таблица 2). В рамках этого исследования отслеживались водородный показатель (рН) и индекс токсичности среды.

Таблица 2. Стабилизация состава почвогрунта во времени

Период, дни	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
рН	4,0	4,1	4,4	4,5	5,0	5,2	5,7	5,9	6,1	6,4	6,4
T	46,7	38,2	33,7	27,4	23,5	21,3	20,1	19,2	18,8	16,6	14,2

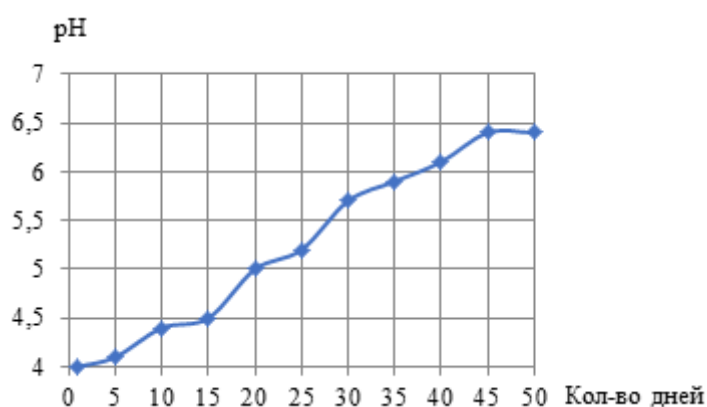


Рис. 1. Зависимость водородного показателя (рН) от времени

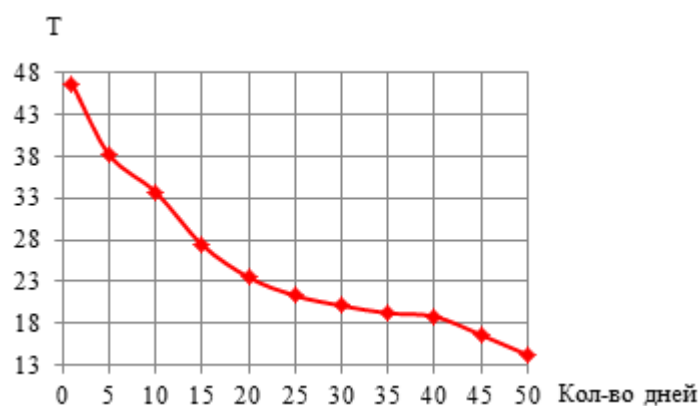


Рис. 2. зависимость индекса токсичности (T) от времени

Стабилизация почвогрунта проводилась в лабораторных условиях в течение 50 дней при температуре 25°C и влажности 65%. Следует отметить, что в естественных условиях время стабилизации может варьироваться в зависимости от погодных условий. Как показано на рисунках 1 и 2, в первой половине периода наблюдения отмечалось закисление почвы и повышенный уровень токсичности, что связано с мобильностью ионов тяжелых металлов в кислой среде. Однако, по истечении 50 дней, смесь стабилизировалась, достигнув приемлемых значений водородного показателя и индекса токсичности, соответствующих нормам для рекультивационных почвогрунтов.

После прохождения биоремедиации осадки могут быть использованы в сельском хозяйстве в качестве удобрений и почвенных добавок. Однако перед этим проводится обязательная проверка на содержание токсичных элементов и патогенов. Внесение таких удобрений повышает плодородие почвы, улучшает ее структуру и способствует увеличению урожайности сельскохозяйственных культур.

Проведенные исследования подтверждают возможность применения биоремедиации для утилизации осадков сточных вод и показывают, что биоремедиация является эффективным и экологически безопасным методом утилизации осадков сточных вод. Современные подходы к этому процессу включают использование консорциумов микроорганизмов, добавление органических компонентов для улучшения разложения и контроль ключевых параметров среды. В результате обработанные осадки могут применяться в сельском хозяйстве, что способствует замкнутому циклу использования ресурсов и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Библиографический список

1. Рублевская О. Н. Опыт внедрения современных технологий и методов обработки осадка сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника, №4, 2011,
2. Воробьева Е. В., Шестакова М. С. Получение почвогрунта путём комплексной утилизации образующихся отходов // Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» (СТНО-2020), т.3, с.50.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ДИЗЕЛЬНОМ ТОПЛИВЕ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИК СПЕКТРА

А.К.Сусова, А.Р. Семенов

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, susova.a.k.2001@gmail.com

Аннотация. В работе рассматривается возможность определения содержания ароматических углеводородов в прямогонном дизельном топливе с помощью метода инфракрасной спектроскопии. В качестве ароматической добавки используется орто-ксилол. На основе инфракрасных спектров образцов строится график зависимости оптической плотности от концентрации ароматических углеводородов. По данному графику возможно определение количественного содержания ароматических углеводородов в прямогонном дизельном топливе.

Ключевые слова: инфракрасная спектроскопия(ИКС), прямогонное дизельное топливо, оптическая плотность, инфракрасный спектр, орто-ксилол

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE CONTENT OF AROMATIC HYDROCARBONS IN DIESEL FUEL BASED ON MEASUREMENT OF THE IR SPECTRUM

A.K.Susova, A.R. Semenov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, susova.a.k.2001@gmail.com

The summary. The paper considers the possibility of determining the content of aromatic hydrocarbons in straight-run diesel fuel using the infrared spectroscopy method. Ortho-xylene is used as an aromatic additive. Based on the infrared spectra of the samples, a graph of the dependence of the concentration of aromatic hydrocarbons on the optical density is constructed. According to this schedule, it is possible to determine the quantitative content of aromatic carbohydrates in straight-run diesel fuel.

Keywords: infrared spectroscopy(ICS), straight-run diesel fuel, optical density, infrared spectrum, orthoxylene.

В данной работе рассматривается определение концентрации ароматических углеводородов в прямогонном дизельном топливе с помощью метода инфракрасной спектроскопии [1, 2].

Согласно более ранним исследованиям авторов выяснилось, что, на основе ИК спектра возможно определить концентрацию ароматических углеводородов в товарном дизельном топливе ЕВРО, зимнего, класса 1, экологического класса К5 марки ДТ-3-К5. Исходя из этого, в данной работе рассматривается применение метода к прямогонному дизельному топливу.

В виде ароматической добавки к дизельному топливу был выбран орто-ксилол, так как у него, как и у других ароматических углеводородов на линии 1495 см⁻¹ находится характерный пик для валентной связи С-С ароматического кольца. Далее были приготовлены градуировочные растворы с концентрацией орто-ксилола 4,8,12,16,20% соответственно. Исходное содержание ароматических углеводородов в прямогонном дизельном топливе составляло 28%. Спектры образцов представлены на рисунке 1.

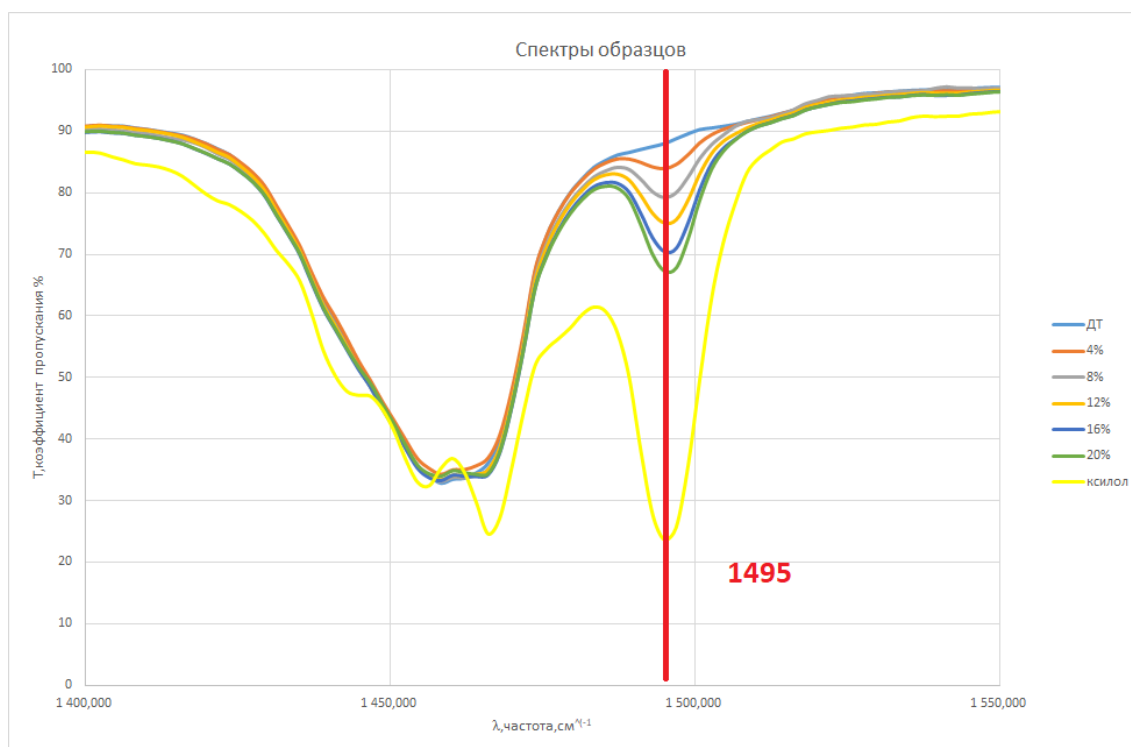


Рис. 1. Спектры образцов

Согласно закону Ламберта-Бугера-Бера оптическая плотность вещества определяется по формуле:

$$D = \lg\left(\frac{1}{T}\right) = cl\varepsilon, \quad (1)$$

где T – коэффициент пропускания;

c – концентрация исследуемого вещества в растворе;

l – длина пути;

ε – молярный коэффициент поглощения.

Исходя из этого, оптическая плотность вещества зависит только от концентрации исследуемого вещества в растворе, так как, длина пути – это постоянная величина во всех случаях, а молярный коэффициент поглощения отдельной связи отдельного вещества, также является постоянной величиной.

Благодаря полученным спектрам, были получены данные зависимости оптической плотности от содержания ароматических углеводородов в дизельном топливе (таблица 1).

Таблица 1. Результаты проведенного испытания

Коэффициент пропускания, T	Содержание ароматических углеводородов в ДТ, с, % масс.	Оптическая плотность, D
0,88	26,80	0,05
0,84	31,63	0,08
0,77	35,29	0,11
0,75	38,95	0,13
0,69	42,61	0,16
0,66	46,27	0,18
0,36	100,00	0,44

Основываясь на полученных данных, был выведен график зависимости оптической плотности от массовой доли ароматических углеводородов в прямогонном дизельном топливе (рисунок 2).

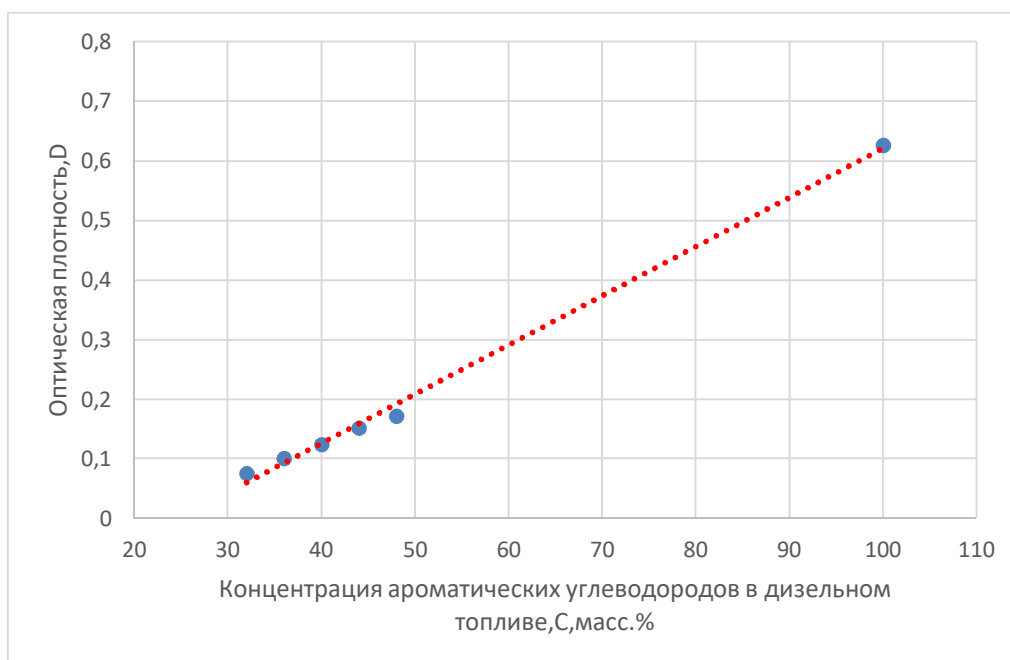


Рис. 2. Зависимость оптической плотности от концентрации ароматических углеводородов

По результатам, полученным в данной работе, можно сделать вывод о том, что предложенный метод подходит не только для дизельного топлива ЕВРО, зимнего, класса 1, экологического класса К5 марки ДТ-3-К5, но и для прямогонного дизельного топлива. Преимущество данного метода заключается в его быстром выполнении, измерив оптическую плотность дизельного топлива, по предложенному градуировочному графику можно определить концентрацию ароматических углеводородов. Данный метод является универсальным, но полученные значения в данной работе применимы исключительно для прямогонного дизельного топлива.

Библиографический список

1. Б.Н.Тарасевич. Основы ИК спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК спектроскопии..
2. Капустин В.М. Технология переработки нефти. Часть первая. Первичная пере-работка нефти. Под ред. О. Ф. Глаголевой – М.: КолосС, 2012. – 456 с.

УДК 621.592.3; ГРНТИ 81.31.35

ПРИМЕНЕНИЕ ОЖИЖИТЕЛЯ АЗОТА НА УСТАНОВКЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА

Е.С. Смирнов, А.Р. Семенов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, j.smirnov15@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается возможность применения ожижителя газообразного азота на установке разделения воздуха "SILPA", для увеличения производства жидкого азота. Получаемый чистый газообразный азот, который при условии стандартного расхода потребления клиентом, частично выбрасывается в атмосферу, как излишний и не реализует затраты на его переработку. Применение ожижителя азота, позволит преобразовать газообразный азот в жидкий азот с последующим его сливом в резервуар для хранения и отгрузки, что позволит увеличить получаемый объем жидкого азота и прибыль производства.

Ключевые слова: газообразный азот, жидкий азот, резервуар, цикл, ожижитель азота, детандер, дросселирование, разделение воздуха.

APPLICATION OF NITROGEN LIQUEFIER AT THE AIR SEPARATION PLANT

E. S. Smirnov, A. R. Semenov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, j.smirnov15@gmail.com*

The summary. The paper considers the possibility of using a gaseous nitrogen liquefier at the SILPA air separation plant to increase the production of liquid nitrogen. Obtained pure gaseous nitrogen, which under the condition of standard consumption by the customer, is partially emitted into the atmosphere as excessive and does not realize the cost of its processing. Application of nitrogen liquefier will allow to convert gaseous nitrogen into liquid nitrogen with its subsequent discharge into the storage and shipment tank, which will increase the received volume of liquid nitrogen and production profit.

Keywords: nitrogen gas, liquid nitrogen, tank, cycle, nitrogen liquefier, detander, throttling, air separation.

Полное наименование производства: «Комплекс воздухоразделения и получения водорода» предназначен для производства: газообразного азота подаваемого непосредственно потребителю по трубопроводу; жидкого азота, отгружаемого потребителю автотранспортом; жидкого кислорода, отгружаемого потребителю автотранспортом; газообразного водорода подаваемого непосредственно потребителю по трубопроводу.

Статья касается вопросов производства азота и кислорода на ООО «Гардиан Стекло Рязань». Азот и кислород производятся методом низкотемпературной ректификации [1].

Газообразный азот - инертный газ, без цвета и запаха, плотность при 0 °С и 760 мм рт. ст. (1,25 кг/м³).

Жидкий азот представляет собой бесцветную жидкость, не имеющую запаха, с температурой 77,35 К (-195,65 °С) при давлении 760 мм рт.ст. Свойства азота приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-химические свойства азота

Химическая формула	N ₂
Молекулярная масса	28,006
Критическое давление	33,49 кг/см ²
Критическая температура	минус 147,13 °С (125.87 К)
Плотность жидкого азота	0,808 кг/дм ³
Скрытая теплота испарения (конденсация)	47,58 ккал/кг
Температура затвердевания	минус 210 °С (63 К)

При испарении 1 кг жидкого азота при температуре 0 °С и давлении 760 мм рт. ст. образуется 0,646 м³ газообразного. Здесь и далее нм³/ч — нормальные кубические метры в час.

Газообразный азот предназначается для создания инертной атмосферы при производстве, хранении и транспортировании легкоокисляемых продуктов, при высокотемпературных процессах обработки металлов, не взаимодействующих с азотом, для консервации замкнутых металлических сосудов и трубопроводов и других целей. На ООО «Гардиан Стекло Рязань» азот нужен для создания инертной среды, защищающей от окисления ванны с расплавом олова. Для его производства используется комплексная воздухоразделительная установки «SILPA», характеристики которой приведены в таблице 2.

Таблица 2. Производительность комплексной воздухоразделительной установки «SILPA»

Продукт	Параметры	Ед. изм.	Минимум	Номинал	Расчетная	Максимум
Азот (газ)	Расход	нм ³ /ч	1900	2200	2200	3900
	Давление на выходе	кгс/см ² (изб.)	0,2	0,2	0,2	0,2
	Температура на выходе	°С	20,5	21,5	21,5	21,8
Кислород жидкий	Расход	нм ³ /ч	600	1340	1770	1940
	Давление на выходе	кгс/см ² (изб.)	1,04	1,04	1,04	1,04
	Температура на выходе	°С	-185	-185	-185	-185
Азот жидкий	Расход	нм ³ /ч	230	1000	315	315
	Давление на выходе	кгс/см ² (изб.)	1,2	1,2	1,2	1,2
	Температура на выходе	°С	-196	-196	-196	-196

Жидкий азот используется как хладагент, а также (после газификации) для целей, указанных выше для газообразного азота [2].

Азот применяется в пищевой промышленности: при производстве напитков, в технологических процессах при производстве, упаковке, хранении и транспортировке пищевых продуктов в качестве защитного газа, пропеллента в аэрозольных баллонах, охлаждающего и замораживающего агента.

Потребление газообразного азота клиентом в среднем ограничено 1700 нм³/ч. Так же газообразный азот идет на продувку кожуха криогенного блока и трубопровода водорода в количестве 100 нм³/ч. Остальное количество сбрасывается в атмосферу, что может составлять от 500 до 1500 нм³/ч, в зависимости от режима работы установки, загрузки и времени года.

При работе во всех режимах установки «SILPA» чистота по продуктам разделения должна быть:

Жидкий кислород: чистота O₂ не менее 99,960%.

Жидкий азот: чистота N₂ не менее 99,999%, содержание O₂ не более 2,000 ppm.

Газообразный азот: содержание O₂ не более 5,000 ppm.

В таблице 3 представлены параметры работы воздухоразделительной установки "SILPA" в различных режимах.

Таблица 3. Основные параметры режимов работы SILPA

Режим	MIX			MAXLOX			MAXLIN		
Сезон	Декабрь- Февраль	Март- Апрель; Сентябрь- Ноябрь	Май- Август	Декабрь- Февраль	Март- Апрель; Сентябрь- Ноябрь	Май- Август	Декабрь- Февраль	Март- Апрель; Сентябрь- Ноябрь	Май- Август
LOX, т/сут	30	30	29	66	63	65	40	39	38
LIN, т/сут	6	6	6	17	16	16	42	44	42
FIC1294 AIR из R01/R02, нм ³ /ч	8300	8000-8300	7800- 8000	14800- 15600	14200- 14800	13500- 14500	14800- 15600	14200- 14800	13800- 14500
FIC1504B GAN клиенту, нм ³ /ч	2200	2200	2200	3300-3500	3200-3400	2900- 3200	2800	2700	2400- 2500
TI1626 WN из K03, °C	-189,6 – -191	-189,6 – -191	-189,6 – -191	-189,6 – -191	-189,6 – -191	-189,6 – -191	-189,6 – -191	-189,6 – -191	-189,6 – -191
FV1630A LIN в хранилище, нм ³ /ч	220	220	220	585	585	585	1470	1450	1450
FIC1540 GOX, нм ³ /ч	0	0	0	0	0	0	160	100	200
FIC1530 AIR из E01, нм ³ /ч	1450- 1480	1450-1480	1450- 1480	3000-3200	2900-3100	2760	2850	2850	2800- 2900
TI1536 AIR из E01, °C	-170 – -174	-170 – -174	-170 – -174	-170 – -174	-170 – -174	-170 – -174	-170 – -174	-170 – -174	-170 – -174
FIC 1535, нм ³ /ч	2350- 2450	2350-2450	2350- 2450	4800	4500-4600	4600	4900	4830	4800- 4900
FIC 1627, нм ³ /ч	1540- 1600	1540-1600	1540- 1600	1580-1600	1580-1600	1550	1580-1600	1580-1600	1580- 1600
FIC 1557, нм ³ /ч	400	400	400	600	600	600	600	600	600
FIC 1556, нм ³ /ч	750	750	750	1200	1200	1200	1200	1100	1100

Обозначения FIC, TI, FV соответствуют стандартам КИПиА: FIC — расходомер с регулятором (Flow Indicator Controller), TI — датчик температуры (Temperature Indicator), FV — регулирующий клапан (Flow Valve). Ниже приведены определения режимов работы и названий характеристик:

MIX – режим работы на одном компрессоре вместо двух (нестандартный режим), предназначенный для поддержания минимальной производительности при сниженной нагрузке.

MAXLOX – режим максимальной выработки жидкого кислорода (LOX). Установка оптимизирована для увеличения производства кислорода.

MAXLIN – режим максимальной выработки жидкого азота (LIN). Установка оптимизирована для увеличения производства жидкого азота.

LOX – производительность по жидкому кислороду (Liquid Oxygen).

LIN – производительность по жидкому азоту (Liquid Nitrogen).

FIC1294 AIR из R01/R02 – Расход воздуха на входе в установку, поступающий из компрессоров R01/R02.

FIC1504B GAN клиенту – Расход газообразного азота (GAN), подаваемого клиенту по трубопроводу.

TI1626 WN из K03 – Температура отходного азота (WN, Waste Nitrogen) на выходе из блока разделения (K03).

FV1630A LIN в хранилище – Расход жидкого азота (LIN), направляемого в резервуар хранения.

FIC1540 GOX – Расход газообразного кислорода (GOX).

FIC1530 AIR из E01 – Расход воздуха после основного теплообменника (E01).

TI1536 AIR из E01 – Температура воздуха на выходе из теплообменника E01.

FIC1535 – Расход воздуха в колонне низкого давления (конкретное назначение уточняется по схеме установки).

FIC1627 – Расход азота в верхнюю часть колонны низкого давления.

FIC1557 – Расход кислорода (жидкого или газообразного).

FIC1556 – Расход потока, связанного с ректификационными процессами (например, кубовый остаток).

Данные параметры отражают ключевые технологические показатели работы установки в различных сезонных условиях и режимах.

Режим установки выбирается исходя их необходимости в том или ином продукте, за исключением MIX, который означает режим работы на одном компрессоре, вместо двух, что не является обычным режимом работы.

Из представленных таблиц видно, какое количество уже полученного продукта полезно не используется.

Для ожижения газообразного азота предпочтительно наиболее эффективно использовать цикл Капицы низкого давления (0,5-0,7 МПа) с расширением воздуха в турбодетандере [3], рисунок 2.

Азот сжимается в турбинной части, турбодетандера до давления 5-7 кгс/см², охлаждается в холодильнике до состояния, соответствующего точке 2 и поступает в теплообменник регенератор. После охлаждения потока, компримированный азот разделяется на два потока. Часть – 80-85%, – направляется в детандерную часть, расширяясь до начального давления при этом производя работу и охлаждаясь до точки начала конденсации.

Азот, расширившись в турбодетандере с его парами, выходящими из отделителя жидкости, проходит теплообменники, охлаждает сжатый азот и сбрасывается в атмосферу или задействуется обратно в цикле.

Другая часть азота (15-20%) поступает в теплообменник, где охлаждается и конденсируется, затем идет на дросселирование, для переохлаждения. Переохлажденная жидкость, после дросселирования, забирается из отделителя жидкости.

На T-S диаграмме представлено описание цикла. Горизонтальная линия (1-2) представляет изотермическое сжатие, изобарный процесс (2-7) – охлаждение в регенераторах. Далее (7-6) происходит расширение в детандерной части, где теряет избыточное давление. Часть азота конденсируется, минуя детандер (7-7'-3).

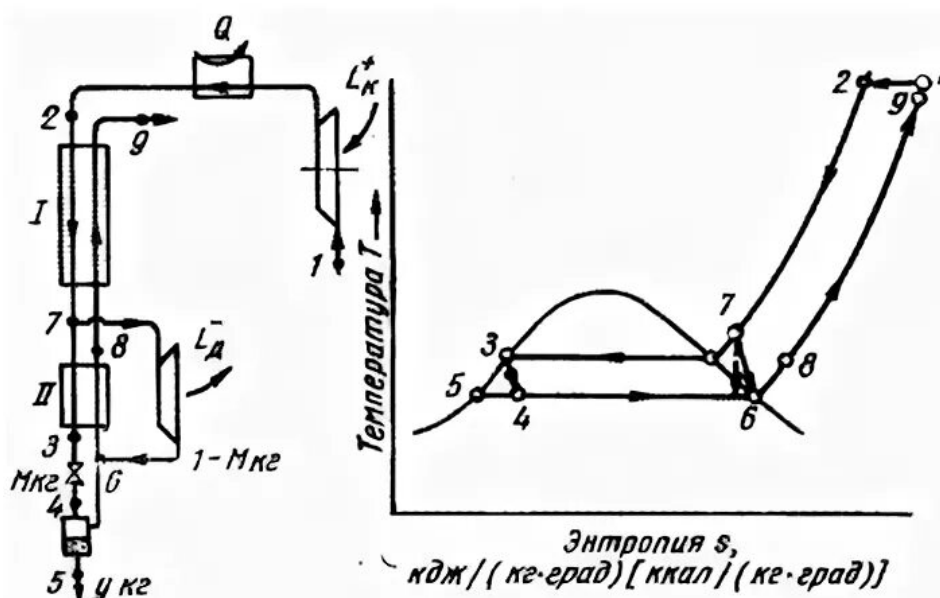


Рис. 1. Схема турбодетандера и Цикл Капицы

Дросселирование (3-4) происходит с постоянной энтальпией.

Паровая фаза азота соединяется с потоком из детандера и нагревается в теплообменниках (6-8-9) изобарно [4].

Так как все расходы даны в $\text{м}^3/\text{ч}$ и известна плотность газообразного азота, то теоретически получаемая масса жидкого азота составит от 1000 до 1500 кг/ч. Средняя стоимость жидкого азота составляет от 12000, до 20000 руб/т, с учетом потерь на испарение, при хранении жидкого азота, в количестве 1 т/сут, получим прибыль около 100 миллионов рублей в год. Затраты на изготовление двух турбодетандеров, от 60 до 120 миллионов рублей, затраты на теплообменное оборудование, трубопровод и работы составят около 300 миллионов рублей. Таким образом срок окупаемости – 4 года.

Библиографический список

1. Беляков, В. П. Криогенная техника и технология / В. П. Беляков – М.: Энергоиздат, 1982.– 272 с.
2. Епифанова В. И. Разделение воздуха методом глубокого охлаждения / В. И. Епифанова – М.: Машиностроение.- 1973. – 468 с.
3. Наринский, Г. Б. Ректификация воздуха / Г. Б. Наринский - М.: Машиностроение.- 1978. – 248 с.
4. Усюкин, И. П. Установки, машины и аппараты криогенной техники в 2 частях / И. П. Усюкин - М.: Пищевая промышленность, 1976 г. – 344 с.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ.
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ»**

**СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В КОНСТРУИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»**

УДК 004.942; ГРНТИ 50.51

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСЛОВНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ
ОБОЗНАЧЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ
В САПР ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ KICAD**

А.Н. Сапрыкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, saprykin.a.n@rsreu.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается процесс создания пользовательской библиотеки условных графических обозначений электронных компонентов в САПР печатных плат KiCAD. Приведены ключевые преимущества выбранной САПР. Рассмотрены основные виды графических обозначений и их особенности. Подробно описаны инструменты для их проектирования, в том числе графические элементы панели инструментов визуального представления компонентов. Особое внимание уделено соответствию создаваемых обозначений требованиям ГОСТ.

Ключевые слова: условное графическое обозначение (УГО), САПР печатных плат, САПР KiCAD.

**DESIGNING CONVENTIONAL GRAPHIC SYMBOLS OF ELECTRONIC
COMPONENTS IN KICAD PRINTED CIRCUIT BOARD CAD SYSTEM**

A.N. Saprykin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, saprykin.a.n@rsreu.ru*

The summary. This paper examines the process of creating a user library of conventional graphic symbols for electronic components in the KiCAD printed circuit board CAD system. The key advantages of the selected CAD system are presented. The main types of graphic symbols and their features are considered. The tools for their design are described in detail, including the graphic elements of the component visual representation toolbar. Particular attention is paid to the compliance of the symbols created with GOST requirements..

Keywords: conventional graphic designation (UGO), CAD of printed circuit boards, CAD KiCAD.

В современном мире электроника занимает важное место в различных отраслях, от бытовой техники до высоких технологий. Проектирование печатных плат (ПП) является ключевым этапом в создании электронных устройств, и выбор правильного программного обеспечения для автоматизированного проектирования (САПР) становится критически важным [2]. Одним из наиболее популярных и доступных решений на рынке является KiCAD.

KiCAD – это бесплатная и открытая САПР для проектирования печатных плат. Она предоставляет пользователям широкий спектр инструментов для создания схем, разработки печатных плат и генерации производственных файлов. KiCAD активно используется как профессионалами, так и любителями, что подчеркивает его универсальность и гибкость.

Одной из ключевых особенностей выбранной САПР является ее многофункциональность. Программа включает в себя редактор схем, редактор печатных плат, а также инструменты для создания библиотек компонентов и генерации монтажных документов. Такой подход позволяет пользователям работать в едином интерфейсе, что значительно упрощает процесс проектирования и минимизирует вероятность ошибок.

KiCAD поддерживает работу с различными форматами файлов, что позволяет интегрировать ее с другими программами и системами. Это особенно важно для профессионалов, которые могут использовать KiCAD в рамках более сложных производственных цепочек. Кроме того, благодаря открытой модели разработки, сообщество пользователей активно участвует в создании и улучшении программного обеспечения, что обеспечивает его постоянное обновление и расширение функционала.

При проектировании принципиальных электронных схем в KiCAD важнейшим этапом является работа с условными графическими обозначениями (УГО) электронных компонентов. При этом используются УГО элементов, созданные пользователем, и (или) УГО элементов из подключенных стандартных библиотек. УГО является важным элементом проектирования принципиальных электрических схем, которые помогают в описании электронного компонента и предназначено для его визуального представления на них.

УГО можно поделить на два основных вида:

- типовые обозначения, определенные стандартами системы;
- специфические обозначения, разработанные для конкретного компонента.

В процессе работы часто возникает необходимость применять различные стандартные УГО. Эти обозначения, соответствующие требованиям ГОСТ [3], входят в набор стандартных библиотек САПР KiCAD. При этом перечень стандартных обозначений может быть изменен пользователем: программное обеспечение предоставляет возможность как создания новых обозначений, так и редактирования уже существующих.

Специфические УГО обычно применяются для обозначения только одного компонента, и поэтому их создание происходит в контексте этого компонента. Такое обозначение предназначено исключительно для проектируемого компонента, однако в случае необходимости его можно перенести в другую.

В данной работе рассматривается процесс создания специфического УГО электронного компонента на основе САПР печатных плат KiCAD. Описываются основные этапы проектирования графических обозначений в соответствии с ГОСТ и особенности редактора библиотеки УГО компонентов, используемого при их создании.

Создание пользовательских условных графических обозначений компонентов

KiCAD структурирует УГО (или символы) в библиотеки символов, каждая из которых включает в себя набор стандартных компонентов [1]. Каждый символ в схеме имеет уникальный идентификатор, состоящий из псевдонима библиотеки и имени символа.

Символ включает в себя:

- графические элементы (линии, круги, дуги, текст и прочие), которые формируют его визуальное представление на схеме;
- выводы, обладающие как графическими, так и электрическими характеристиками (вход, выход, двунаправленность и так далее), которые используются инструментом для проверки электрических правил;
- поля, включая ссылки, значения и соответствующие имена посадочных мест для проектирования печатных плат.

Главное окно редактора символов показано на рисунке 1. Оно состоит из трех панелей инструментов для быстрого доступа к общим функциям и области просмотра и/или редактирования символов.

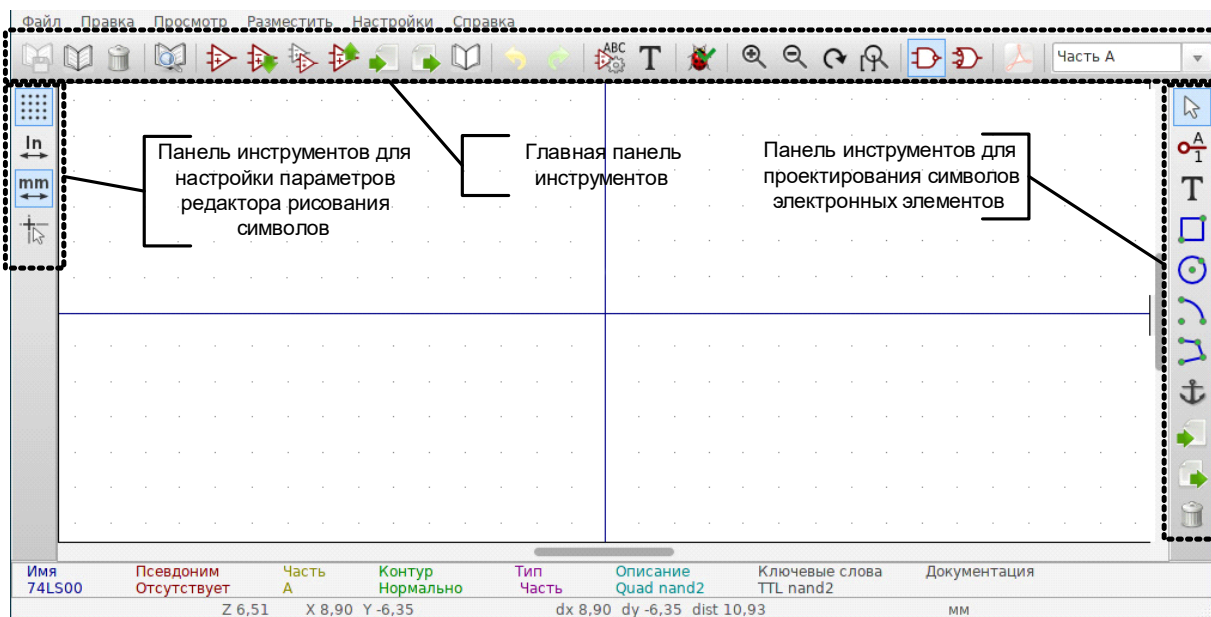






Рис. 1. Окно редактора библиотеки символов компонентов

Панель инструментов для настройки параметров редактора рисования символов включает следующие основные инструменты:








-  – отображение вспомогательной сетки;
-  – установить единицу измерения «дюйм»;
-  – установить единицу измерения «мил». Мил (с англ. mils – тысячная доля) – единица измерения расстояния в английской системе мер, равная 1/1000 дюйма. Значение 50 мил (1,27 мм) устанавливается как наиболее близкое к значению шага сетки 1,25 мм, предусмотренного ГОСТом;

-  – установить единицу измерения «миллиметр»;

-  – включить отображение электрических типов выводов компонента.

Создание нового символа компонента осуществляется с помощью нажатия на соответствующую кнопку главной панели инструментов «Новый символ». При этом редактор предлагает указать ряд свойств символа: имя, префикс условного обозначения, количество единиц в упаковке и так далее.

Визуальное представление символа проектируется с помощью графических элементов панели инструментов и не содержат информации об электрическом соединении. Графические элементы создаются с помощью следующих инструментов:

-  – добавление вывода символа элемента;
-  – добавление графического текстового элемента;
-  – добавление графического блока текстового элемента;
-  – добавление графического прямоугольника;
-  – добавление графического круга;
-  – добавление графического элемента дуги;
-  – добавление соединительной линии.

Для каждого графического элемента задаются такие графические параметры, как ширина и цвет его линий и границ, а так же их стили линий (сплошная, штриховая, пунктирная и так далее). Возможно определение стилей заливки, которые определяют, должна ли форма, определяемая графическим элементом, быть нарисована незаполненной или заполненной. Цвет заливки может быть задан цветом контура, цветом фона или пользовательским цветом.

Важным этапом создания символа компонента является добавление его выводов. Каждый вывод определяется его порядковым номером и именем. Они могут содержать буквы, цифры и символы, но не пробелы. Для корректной ERC проверки результирующей схемы электрический тип каждого вывода должен быть определен правильно. ERC проверка позволяет убедиться в том, что выводы компонента подключены надлежащим образом (например, что входы питания получают питание от соответствующего источника).

В KiCAD определены следующие типы выводов: входной, выходной, двунаправленный, пассивный, свободный, неопределенный, вход/выход питания и другие.

Таким образом, процесс разработки символа компонента в САПР KiCAD включает в себя несколько этапов:

- настройка проекта, которая включает выбор шага сетки рабочего пространства;
- создание пользовательской библиотеки символов компонентов;
- разработка УГО с использованием графических элементов в соответствии с требованиями ГОСТ и добавление в установленном порядке функциональных выводов к электронному компоненту с указанием принадлежности с помощью соответствующего буквенного обозначения [4].
- внесение созданного символа компонента в нужную пользовательскую библиотеку.

Заключение

В заключение можно отметить, что многофункциональность KiCAD, включая редакторы схем и печатных плат, а также инструменты для создания библиотек компонентов, значительно упрощает процесс проектирования и минимизирует возможность ошибок. Поддержка различных форматов файлов позволяет легко интегрировать KiCAD в существующие производственные цепочки, что является важным аспектом для профессиональной деятельности. Возможность создания и редактирования условных графических обозначений в соответствии с ГОСТ позволяет пользователям адаптировать программу под специфические требования. KiCAD также предлагает инструменты для проверки электрических правил, что повышает качество проектируемых схем.

В работе были детально рассмотрены ключевые аспекты разработки символов, включая выбор стандартов и создание специфических обозначений, что в свою очередь способствует соблюдению требований ГОСТ и повышает качество проектируемых схем. Таким образом, использование KiCAD как инструмента САПР не только облегчает процесс проектирования, но и позволяет интегрировать современный подход к созданию электронных устройств.

Библиографический список

1. Официальный учебник по САПР KiCAD. URL: <https://docs.kicad.org> (дата обращения: 05.02.2025). - Текст: электронный.
2. Электроника НТБ. Выбор САПР печатных плат. URL: <https://www.electronics.ru/journal/article/8541> (дата обращения: 05.02.2025). - Текст: электронный..
3. ГОСТ 2.743-91 ЕСКД Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники.
4. ГОСТ 2.710-81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.

УДК 004.942; ГРНТИ 50.51

АДАПТАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ В МУЛЬТИЯЗЫЧНОМ КОНТЕКСТЕ

А.О. Сапрыкина, А.В. Ракчеева

*Рязанский государственный университет им. А.С. Есенина,
Российская Федерация, Рязань*

Аннотация. В работе рассматриваются ключевые аспекты и вызовы, с которыми сталкиваются переводчики при работе с техническими материалами, связанными с системами автоматизированного проектирования на примере системы автоматизированного проектирования KiCad. Особенности данного вида текстов и обусловленные ими трудности перевода анализируются с позиции стилистической лингвистики.

Ключевые слова: научно-технический подстиль, техническая документация, САПР, KiCad.

PECULIARITIES OF TRANSLATION OF TECHNICAL DOCUMENTATION FOR COMPUTER AIDED DESIGN PACKAGES FOR ELECTRONIC DEVICES

A.O. Saprykina, A.V. Rakcheeva

*Ryazan State University named after A.S. Esenin,
Russia, Ryazan*

The summary. This paper discusses the key aspects and challenges faced by translators when working with technical materials related to computer-aided design systems using the example of KiCad CAD. The features of this type of texts and translation difficulties resulting from such features are analyzed from the perspective of stylistic linguistics.

Keywords: substyle of scientific and technical texts, technical documentation, CAD, KiCad.

В условиях стремительного развития технологий и глобализации стремительно растёт выпуск пакетов программ, выполняющих задачи автоматизированного проектирования. Перевод технической документации для программного обеспечения, используемого в таких пакетах, становится важнейшим элементом успешного внедрения и эксплуатации продукции на международных рынках. Однако, технический перевод в данной области имеет свои уникальные особенности, которые необходимо учитывать при адаптации материалов под требования конечного пользователя. Настоящая статья рассматривает ключевые аспекты перевода технической документации для пакетов автоматизированного проектирования электронных средств с точки зрения стилистической лингвистики.

Под технической документацией подразумевается общее название для письменных материалов, которые фиксируют результаты строительного и технологического проектирования, разработки конструкций, инженерных исследований и других процессов, связанных со строительством зданий и сооружений, а также производством промышленной продукции. Основная цель создания подобных документов заключается в детальном описании различных аспектов научно-технической деятельности, среди которых можно выделить проектирование, разработку конструкций, создание технологических процессов, научно-исследовательскую работу, организацию промышленных производств, а также проведение геолого-разведочных, геодезических и картографических исследований [6].

Таким образом, техническая документация является важным инструментом в сфере научно-технической деятельности, обеспечивая систематизацию и четкость информации о процессах проектирования и строительства. С точки зрения стилистики, наиболее подходящим для достижения данных целей типом речи является научный функциональный стиль речи.

Под стилем речи понимается тип литературного языка, который используется в определенной социально значимой области человеческой коммуникации, при этом его характеристики определяются специфическими условиями общения в этой сфере [8].

Так, к общим особенностям всех текстов научного типа дискурса относятся следующие стилеобразующие черты: точность, абстрактность, логичность и объективность изложения. Эти особенности формируют данный функциональный стиль и определяют выбор лексических единиц, синтаксиса и других языковых средств, применяемых в научной литературе [2].

Для определения конкретных стилистических черт текстов технической документации стоит обратиться к более узкому направлению литературы научного стиля. Существует несколько классификаций научного функционального стиля, дифференцирующих его на различные подстили. К примеру, в статье Колесниковой Н.В. приводится следующее разделение:

- собственно научный подстиль (к жанрам относятся статья в научном журнале или сборнике научных трудов, диссертация, монография, доклад);
- учебно-научный (учебник, учебное и методическое пособие, программа, сборник задач и упражнений, лекция, конспект, учебно-методические материалы);
- научно-популярный, научно-публицистический (очерк, книга, лекция, статья);
- научно-справочный (словарь, справочник, каталог);
- научно-информативный (библиографический реферат, аннотация);
- научно-деловой (техническая документация);
- научно-мемуарный (историческая справка, биография ученого) [7].

Как можно заметить из классификации, техническая документация относится к жанру научно-делового (другое название – научно-технического) подстиля. Научно-техническая литература не только сохраняет общие характеристики научного дискурса, но и обладает набором особенностей, которые отделяют её от текстов других подстилей данного стиля речи.

В. В. Алимов в своём исследовании определяет терминологичность (к видам которой относятся межотраслевая, узкоспециальная и общетехническая), как одну из главных черт научно-технической литературы. К примерам можно отнести следующие словосочетания: агент управления, интерфейс прикладного программирования (API), топология сети и др. [1]

В научно-технических текстах авторы стремятся к лаконичности изложения, применяя различные морфологические, синтаксические и лексические средства. На лексическом уровне краткость достигается за счет использования аббревиатур и сокращений слов и словосочетаний, которые заменяют часто повторяющиеся термины. Обычно при первом упоминании термина, который будет встречаться в тексте далее, его сокращенная форма указывается в круглых скобках. Например, «Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) является основным фактором, ограничивающим максимальную мощность узкополосных (менее 100МГц по ширине линии) волоконных лазеров...Важной задачей является подавление усиления ВРМБ, при фиксировании MFD (и ВКР усилении) в таких волокнах» [13].

Часто встречаются и так называемые смешанные сокращения («ИК-спектр» вместо «инфракрасный спектр», «самоОВФ» вместо «самообращение волнового фронта»), условные аббревиатуры («кпд» вместо «коэффициент полезного действия»), а также сокращения ключевых слов (например, «рис.» вместо «рисунок» или «стр-ра» вместо «структура»).

Морфологические средства также используются для достижения краткости высказывания: часто применяются краткие страдательные причастия (например, КабельNKL4805B-BK выполнен в неэкранированном исполнении U/UTP... [12]). В сложных словах, которые состоят из числительного и прилагательного, первая часть слова обозначается цифрой, а вторая присоединяется через дефис (6-тонный).

Синтаксическое оформление научно-технической литературы также обладает рядом особенностей. Так, характерной чертой языкового оформления научно-технических текстов является стандартизация композиционно-смысловых компонентов, то есть использование предустановленных языковых клише, подходящих для конкретных условий общения. К дру-

гим особенностям относятся также синтаксическая полнота оформления высказывания, присутствие аналитических конструкций, именной характер морфологических элементов предложения, полная система связующих компонентов (союзов, союзных слов) и пр.

Научно-технические тексты часто включают различного вида перечисления. Такие перечисления могут быть состоять из полных или неполных фраз, которые чаще всего включают в себя одно или несколько словосочетаний, но могут представлять из себя и законченные предложения со своими знаками препинания.

И, наконец, технические документы могут включать и неязыковые элементы такие, как схемы, рисунки, формулы, графики, чертежи, таблицы и др. Подобный тип передачи информации позволяет представлять информацию более экономично и точно.

Г. Д. Орлова в своём пособии предлагает следующую классификация жанров текстов научно-делового подстиля: 1) научно-техническая литература, к которой относятся монографии, статьи и сборники по разным проблемам технических наук; 2) учебная литература по техническим наукам, т. е. справочники, руководства, учебники; 3) товаросопроводительные и технические документы (технические описания, паспорта, основные технические данные, инструкции по эксплуатации и ремонту и др.; упаковочные талоны, накладные и др.); 4) техническая реклама: проспекты, фирменные каталоги, рекламные объявления; 5) проектная документация: чертежи, расчеты, проекты; 6) патенты [10].

В контексте жанров технической литературы особое внимание стоит уделить системам автоматизированного проектирования (САПР), которые в настоящее время являются незаменимыми инструментами для инженеров и проектировщиков.

Системы автоматизированного проектирования

Под системами автоматизированного проектирования понимается вид программного комплекса, используемый на этапе проектной деятельности с целью решения «аналитических, квалификационных, экономических и эргономических проблем» на различных стадиях создания нового объекта [5].

Суть автоматизации проектирования состоит в применении ЭВМ для выполнения проектных операций и процедур при рациональном использовании как способностей человека-непосредственного участника процесса разработки, так и возможностей вычислительной техники. В настоящее время при проектировании различных объектов автоматизации подвергаются следующие виды операций:

- расчёты, начиная от относительно несложных и кончая расчётными исследованиями математических моделей спроектированных объектов;
- создание трёхмерных параметрических моделей проектируемых объектов с экспресс-анализом их массовых характеристик, возможностей сборки, проверкой кинематических зависимостей;
- оформление расчётно-конструкторской документации;
- поиск справочных данных;
- взаимодействие между участниками проекта посредством телекоммуникационных систем [9].

Одним из примеров современного САПР является пакет KiCad. KiCad – это кросс-платформенный комплекс программ с открытым исходным кодом, предназначенный для разработки электрических принципиальных схем и автоматизированной разводки печатных плат [4].

САПР KiCAD состоит из инструментов разработки плат:

- 1) Kicad (менеджер проекта, который содержит дерево проектных решений),
- 2) EESchema (графический редактор принципиальной схемы),
- 3) Pcbnew (редактор топологии печатных плат),

4) Cypcb (ассоциирование компонентов схемы с посадочными местами корпусов для размещения на плате),

5) Gerbview (инструмент, предназначенный для визуализации печатной платы в файлах формата Gerber) [11].

В документации для KiCad могут встречаться перечисленные ниже аспекты.

- Описание функционала программного обеспечения (например, способы создания схем, проектирование печатных плат, настройка параметров).

- Пошаговые инструкции по использованию инструментов, а также решения возникающих проблем.

- Упоминания о различных типах компонентов (резисторы, конденсаторы, интегральные схемы) и их подключении.

- Стандарты и принципы проектирования, используемые в САПР, такие как электрические правила проектирования (DRC), правила проектирования печатных плат (PCB), концепции слоя и маршрутизации [14].

Особенности перевода

Как было отмечено ранее, документация научно-технического подстиля обладает рядом характерных особенностей. В контексте перевода подобные черты данного вида литературы обуславливают основные трудности перевода, преодоление которых становится первичной задачей при адаптации САПР с одного языка на другой.

Так, при переводе особое внимание следует уделять техническим терминам и понятийным системам, используемым в САПР. На примере KiCad можно отметить такие единицы, как: «Шаблоны» (ориг. Footprints), «Схемы» (ориг. Schematics), «Проектирование печатных плат» (ориг. PCB design), «Электрические правила проектирования» (ERC) и др.

В процессе перевода важно учитывать, что технические термины в разных языках не всегда полностью совпадают друг с другом (термин одного языка может быть шире или охватывать несколько разных понятий). Например, термин «footprint» в контексте печатных плат может быть переведен как «шаблон» или «контур компонента», в зависимости от того, какой из вариантов подходит в соответствии с контекстом.

Внимание стоит обратить и на перевод сокращений, так как их использование в языке оригинала не всегда совпадает с переводом. К примеру, при адаптации предложения «Ensure proper orientation of the component when placing it on the PCB.» аббревиатура PCB, часто встречающаяся в текстах на английском языке, на русском раскрывается во избежание неправильной интерпретации сокращённого понятия со стороны пользователя: «Убедитесь, что компонент правильно ориентирован при размещении на печатной плате».

Другим важным элементом перевода являются клише, которые встречаются в научно-технических текстах, лежащих в основе САПР. Клише — это устойчивые словосочетания или фразы, которые часто используются для выражения определённых понятий или идей. В научно-технической литературе их использование обусловлено стремлением к ясности, универсальности и стандартности изложения. В программе KiCad подобные стандартизированные выражения используются для описания функционала, пошаговых инструкций и важнейших этапов в проектировании с использованием этого программного обеспечения [3].

Клише часто зависят от особенностей конкретного языка и культурных реалий. Например, некоторые фразы, широко используемые в английской научной литературе, могут не иметь прямого аналога в языке перевода. В таких случаях переводчику необходимо найти подходящую эквивалентную конструкцию, которая будет передавать тот же смысл, сохраняя при этом формальную структуру и точность. Например, в описании функционала программы KiCad встречаются следующие стандартные выражения: «This feature allows users to...» (Эта

функция позволяет пользователям...); «The tool provides an option to...» (Инструмент предоставляет возможность...).

Иногда в процессе перевода клише может возникнуть риск калькирования — дословного переноса структуры и лексики исходного текста. Это может привести к созданию неестественного, трудного для восприятия текста. Например, фразу «In this dialog box, you can configure...» можно перевести дословно как «В этом диалоговом окне вы можете настроить...». Однако в некоторых языках существуют более стилистически подходящие варианты, например, «В этом диалоговом окне можно настроить...».

Таким образом, перевод технической документации для пакетов автоматизированного проектирования электронных средств представляет собой сложный и многоаспектный процесс, особенности которого тесно связаны со стилистической принадлежностью текстов данного подстиля речи. Переводчику необходимо учесть характерные особенности текстов технической документации, таких как терминологичность и обилие клише, уметь правильно адаптировать данные языковые черты для пользователя на другом языке. Качественный перевод обеспечит точность и ясность информации (черт научного стиля речи), что необходимо для успешной эксплуатации программного обеспечения.

Библиографический список

1. Алимов, В. В. Теория перевода. Перевод в сфере профессиональной коммуникации: учеб. пособие / Изд. 3-е. Стереотип. М.: Едиториал УРСС, 2005. – 160 с.
2. Введенская Л. А., Черкасова М. Н. Русский язык и культура речи: учебное пособие / Л. А. Введенская, М. Н. Черкасова. – Изд. 12-е. – Ростов н/Д : Феникс, 2005. – 544 с.
3. Ведякова, Н. А. Функционирование клише в научном тексте (на материале авторефератов кандидатских диссертаций по филологии и педагогике) // Вестник ЧелГУ №1, 2003.
4. Войт, Н. Н. Проектирование печатных плат в САПР KiCAD : методические указания к лабораторным работам / Н. Н. Войт. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – 28 с.
5. Дудко О. Н., Нелюбина А. Д., Кожевникова Н. Ю., Хасанов А. Р. Обзор систем автоматизированного проектирования // Современные материалы, техника и технологии, №2 (2) – 2015. – С. 51-54
6. Еременко В.Т., Усачева О.И. Документоведение: учебное пособие для высшего профессионального образования / В.Т. Еременко, О.И. Усачева. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2015. – 255 с.
7. Колесникова Н.И. Что важно знать о языке и стиле научных текстов // Высшее образование в России №3, 2010. – С. 130-137
8. Мурот, В. П. Функциональный стиль // Лингвистический энциклопедический словарь. — М.: Советская энциклопедия, 1990. – С. 567
9. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов/ 2-е изд-во, перераб., доп., 2002. – 336 с.
10. Орлова, Г. Д. Пособие по переводу английской научно-технической литературы: учеб. пособие/Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. – 175 с.
11. САПР KiCAD, URL: <http://www.kicad-pcb.org/display/KICAD/KiCad+EDA+Software+Suite> (дата обращения: 07.02.2025).
12. Технический паспорт изделия, URL: <https://www.ami-com.ru/upload/iblock/0fc/0nruycygroajv0ppmin8py72hx03n2s22/pasport.pdf?srsid=AfmBOopiC64BqiqjxRghgZmJUKGhRgrQtEfcz589URExQKH1lkdc3gg0> (дата обращения: 07.02.2025).
13. Характеристика изделия «Волокно оптическое с повышенным порогом ВРМБ», Инновационное предприятие «НЦВО – Фотоника», URL: https://www.forc-photonics.ru/ru/fibers_and_cables/SBS_supressed_fibers/1/378 (дата обращения: 07.02.2025).
14. Kicad Documentation (Официальная документация KiCad). URL: <https://docs.kicad.org> (дата обращения: 07.02.2025).

УДК 004.896; ГРНТИ 50.51.17

ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Д.А. Перепелкин, В.Ю. Ликучев

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, v.likuchov@yandex.ru

Аннотация. На основании анализа состава и характера функционирования современных автоматических инструментов проектирования модулей электронных средств, сформулированы общие требования к разработке программного обеспечения данной направленности. Работа нацелена на формирование единого подхода к созданию автоматических средств проектирования, а также на создание предпосылок к расширению области их практического применения при условии обеспечения представленных требований.

Ключевые слова: требования к ПО, автоматизация проектирования, проектирование ЭС, размещение элементов, трассировка соединений.

REQUIREMENTS FOR THE DEVELOPMENT OF AUTOMATIC DESIGN TOOLS OF ELECTRONIC EQUIPMENT MODULES

D.A. Perepelkin, V.Y. Likuchev

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, v.likuchov@yandex.ru

The summary. Based on the analysis of the composition and nature of the functioning of modern automatic design tools for electronic device modules, general requirements for the development of software in this area are formulated. The work is aimed at forming a unified approach to creating automatic design tools, as well as expanding the scope of their practical application, subject to the provision of the presented requirements.

Keywords: software requirements, design automation, electronic system design, element placement, connection routing.

Автоматические средства проектирования (далее – АСП) – это программные средства, предназначенные для выполнения процедур проектирования без участия оператора. К таким процедурам (для которых возможно применение АСП) относятся, например, компоновка функциональных узлов, размещение элементов на печатной плате и трассировка соединений – в процессе конструкторского проектирования модулей ЭС.

Размещение АСП в современных системах автоматизированного проектирования электронных средств обосновано возможностью сокращения сроков разработки за счет их применения. Однако на практике, в подавляющем большинстве случаев инженеры-конструкторы печатных плат отдают предпочтение автоматизированному способу проектирования, при котором оператор выполняет все действия вручную при помощи интерактивных функций редактора и визуальной среды САПР. В случаях проектирования модулей ЭС специального назначения, для которых характерна высокая функциональная сложность и размерность схемы, а также большое количество предъявляемых требований к точности функционирования и надежности готовых изделий, выбор автоматизированного способа односторонне неоптимально. Это связано с тем, что результаты применения АСП (на нынешнем уровне развития) требуют значительной корректировки решения, сравнимой по времени с полным перепроектированием.

Основная причина низкой эффективности АСП заключается в эвристическом характере выполнения процедур проектирования (суть – решения оптимизационных задач), которым обусловлены приближенные (локальные) решения, по ограниченному числу, в основном, метрических критериев, таких как суммарная длина соединений. Это лишь отчасти удовлетворяет всему спектру требований к модулям ЭС, где обычно отражаются также аспекты электромагнитной совместимости, тепловой защищенности, узловых симметрии и т.д.

Состав и организация АСП, интегрированных в современные САПР ЭС, не обеспечивают возможность реализации принципов инженерной стратегии проектирования [1], подразумевающих гибкость и адаптируемость инструментальных средств под конкретную задачу, что могло бы приблизить качество решений, получаемых автоматическим путем – к качеству результатов автоматизированного выполнения. В этом смысле, ограниченность АСП выражается в следующих факторах:

1. АСП не предоставляют выбора метода или алгоритма оптимизации и возможности их комбинирования. Не смотря на большое количество разработанных методов и алгоритмов решения, которые демонстрируют различную эффективность в зависимости от структуры объекта проектирования, современные АСП «жестко» реализуют единственную стратегию и не позволяют адаптировать способ решения под конкретную задачу.

2. АСП не учитывают критерии, принадлежащие различным функциональным пространствам. Если АСП и решают задачу по аддитивному критерию, то все его компоненты связаны с метрическими характеристиками реализации соединений.

3. АСП не предоставляют оператору целостного контекста выполнения процедур. Такие функции, как закрепление позиций элементов, выделение классов элементов и цепей, и т.д., которые в контексте решения являются инструментами организации входных данных, располагаются в общей среде автоматизированного проектирования, а интерфейс АСП не содержит на них целевых ссылок. Вкупе с отсутствием возможности настройки гиперпараметров решения и представления информации о его ходе, интерфейсы АСП отражают свою реализацию в виде черных ящиков, работающих по принципу «нажми и жди».

Опираясь на вышеприведенные ограничения, сформируем перечень функциональных и нефункциональных требований к АСП.

Функциональные требования

F1. Требования, касающиеся режимов работы АСП

F1.1. АСП должно выполнять целевую процедуру в автоматическом режиме.

F1.2. АСП должно предоставлять возможность прерывания автоматического выполнения целевой процедуры для ручного внесения корректировок в текущее состояние решения.

F2. Требования к механизму организации входных данных

F2.1. Организация и структурирование входных данных, необходимые для работы АСП, должны выполняться в контексте АСП.

F2.2. При организации и структурировании входных данных АСП должна учитывать конструктивные объекты, определенные в контексте общей системы проектирования.

F3. Требования по адаптации способа и критерия решения

F3.1. АСП должно предоставлять выбор метода решения из списка методов, определенного для структуры и свойств данного объекта проектирования.

F3.2. АСП должно предоставлять возможность настройки гиперпараметров алгоритма решения перед началом выполнения целевой процедуры.

F3.3. АСП должно предоставлять возможность составлять аддитивный критерий решения из списка частных критериев, определенного для структуры и свойств данного объекта проектирования.

F3.4. АСП должно предоставлять возможность назначения весов для компонентов составленного аддитивного критерия.

F3.5. АСП должно иметь возможность сохранять конфигурацию настроек гиперпараметров решения в базу данных.

F4. Требования к обеспечению взаимодействия с объектом проектирования

F4.1. АСП должно содержать отдельную визуальную среду для представления объекта проектирования и взаимодействия с ним.

F4.2. В рамках взаимодействия с объектом проектирования через его представление в визуальной среде, АСП должно обеспечивать возможность организации и структурирования объекта

(исключительно в конструктивном контексте решения), а также изменения его состояния – до начала и в ходе выполнения целевой процедуры.

F4.3. Никакие изменения в состоянии объекта проектирования в представлении АСП не должны переноситься в представление общей системы до момента валидации и принятия этих изменений.

F5. Прочие требования к интерфейсу

F5.1. Интерфейс АСП должен в наглядном виде предоставлять информацию о структуре объекта проектирования, ходе и результатах выполнения целевой процедуры.

F5.2. Интерфейс АСП должен обеспечивать возможность организации и структурирования объекта (исключительно в конструктивном контексте решения) через списковые, матричные, графовые или иные представления с помощью контекстных меню.

Нефункциональные требования

N1. АСП должно эффективно работать с проектами любой сложности (размерность схем, регулярность физической структуры объекта проектирования), обеспечивая быстрый отклик даже при большом объеме входных данных.

N2. АСП должно минимизировать вероятность ошибок при автоматизации выполнения целевой процедуры, предоставляя механизмы контроля корректности результатов.

N3. Интерфейс АСП должен быть интуитивно понятным, содержать подписи и всплывающие комментарии к элементам управления и функциональным разделам. Интерфейс АСП должен быть организован таким образом, чтобы обеспечить информированное, пошаговое выполнение оператором действий согласно маршруту подготовки входных данных и АСП к работе.

N4. АСП должно предусматривать возможность расширения функционала посредством подключения дополнительных модулей (симуляторов, анализаторов и т.д.).

N5. Сопровождение АСП должно включать подробную документацию и обучающие материалы с примерами выполнения целевой процедуры.

N6. АСП должно предусматривать регулярное обновление математического обеспечения с учетом пополнения теоретической базы по проблематике автоматизированного проектирования, а также требований и обратной связи от пользователей САПР и АСП.

Отметим, что ключевыми для повышения гибкости и адаптируемости АСП, и в то же время, наиболее сложными в плане обеспечения являются требования F3.1 и F3.3. Для реализации возможности выбора алгоритма решения, формат входных данных для всех алгоритмических процедур должен соответствовать терминологии и объектно-ориентированной организации формальной модели оптимизируемой системы. Например, при мультиагентной модели [2] все алгоритмы размещения, имеющиеся в базе знаний АСП, в качестве оптимизируемых параметров должны принимать значения атрибута «Положение на плоскости размещения» объектов класса «Агент».

В качестве основы для механизма составления аддитивного критерия может служить онтология оптимизируемой системы – совокупность словарей конструктивных объектов (элементы, связи, зоны размещения и т.п.) и всевозможных функциональных и предикативных зависимостей между ними. Онтология организуется в виде префиксно-древовидной структуры таким образом, чтобы любой путь от корня до последнего потомка выражал формулу логического языка первого или второго порядка, которая в свою очередь, при определенной интерпретации и принятых сокращениях выражает некоторый частный критерий.

Древовидная организация онтологии позволяет конструировать формулы поочередным заданием полей. Порядок задания соответствует пути прохождения по дереву. Значение каждого поля (выражающее конструктивный объект или атрибут) разрешает некоторое множество значений следующего поля, если между ним и каждым значением из этого множества возможно установить функциональную или предикативную связь. Последнее предварительно проверяется путем анализа отношений атрибутов конструктивных объектов в разных функциональных пространствах.

Совокупность составленных таким образом и, далее, взвешенных частных критериев образует аддитивный критерий оптимизационной задачи. Для обеспечения требования F3.4 весовые коэффициенты должны назначаться оператором, то есть являться регулируемыми гиперпараметрами решения.

Конкретное рассмотрение реализации АСП выходит за рамки данной работы, однако предложенные здесь формальные и программные сущности (формальная модель системы, онтология, конструктор и интерпретатор критериев) могут быть использованы для описания состояний деятельности АСП в соответствии с прецедентами, инициируемыми оператором в основном и альтернативном потоках [3] (см. таблицу).

Таблица. Действия в основном и альтернативном потоках

№ п/п	Формулировка прецедента	Описание деятельности
1	Оператор загружает проект в АСП из САПР	1. Представление структуры объекта проектирования в списковых, графовых, матричных формах 2. Представление объекта проектирования в визуальной среде
2	Оператор организывает входные данные в соответствии с требованиями к проектированию, например, выделяет классы цепей или элементов	1. Окончательное формирование структуры объекта проектирования в терминах установленной формальной модели 2. Формирование онтологии конструктивных объектов
3	Оператор составляет список ограничений и аддитивный критерий оптимизации	1. Интерпретация полученной оптимизационной задачи, ее отображение на сигнатуры алгоритмических функций из базы знаний 2. Формирование множества применимых алгоритмов с приблизительной оценкой эффективности
4	Оператор выбирает алгоритм решения	Представление гиперпараметров алгоритма в интерфейсе
5	Оператор загружает сохраненную конфигурацию способа и критерия решения	Извлечение и применение данных о конфигурации из БД
6	Оператор настраивает гиперпараметры, запускает выполнение процедуры	1. Выполнение процедуры по выбранной конфигурации до получения результата 2. Отображение информации о ходе выполнения
7	Оператор приостанавливает выполнение	1. Приостановка выполнения 2. Представление промежуточного решения в визуальной среде
8	Оператор вносит корректировки в состояние объекта через представление в визуальной среде и возобновляет выполнение	1. Учет изменения значений атрибутов состояния объекта проектирования 2. Возобновление процесса выполнения
9	Оператор получил уведомление о завершении процесса выполнения	1. Предоставление информации о результатах выполнения процедуры 2. Представление окончательного решения в визуальной среде
10	Оператор повторяет пункты 3-5 для полученного решения	Выполнение пунктов 3-5 для полученного решения
11	Оператор сбрасывает решение и повторяет пункты 3-5	1. Сброс решения 2. Выполнение пунктов 3-5 для исходного состояния объекта проектирования
12	Оператор проводит валидацию, утверждает полученное решение, выполняет передачу решения в САПР	1. Интерпретация и преобразование решения в необходимый формат 2. Передача результат в САПР
13	Оператор сохраняет текущую конфигурацию способа и критерия решения	Запись данных о конфигурации в БД

Предложенная модель функционирования АСП позволяет:

– организовывать входные данные, вносить изменения в текущее состояние решения в едином контексте АСП;

– выбирать, настраивать способ и конструировать критерий решения, пользуясь оценкой их эффективности;

– улучшать решение алгоритмом, отличным от того, который был применен для получения текущего решения, следовательно – комбинировать алгоритмы для доводки оптимальности результата;

– использовать сохраненные конфигурации настроек решения для типовых проектов.

АСП, реализующая эти возможности, позволит заменить использование единственного, унифицированного способа и критерия решения для всех объектов – моделированием стратегии решения для различных классов объектов.

В то же время, данная организация АСП дополняет перечень функциональных требований, подразумевая автоматическое формирование онтологии, анализ применимости алгоритмов с оценкой их эффективности для конкретной задачи, интерпретацию символического представления составных критериев. Реализация данного функционала потребует глубокой проработки формальных моделей задачи, ее объектов, решений, а также синтеза интеллектуальных средств формального вывода в контексте этих моделей.

Тем не менее, представленные требования могут служить отправной точкой для формирования единого методологического подхода к созданию автоматических средств выполнения процедур проектирования модулей ЭС различного назначения.

Библиографический список

1. Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю. Мультиагентный подход автоматизированного проектирования модулей радиоэлектронных устройств на основе анализа инженерных стратегий. V Международный научно-технический форум СТНО-2022. Сборник трудов. Том 3.

2. Корячко В.П., Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю. Математическая модель представления мультиагентных систем и ее применение в задачах топологического проектирования модулей радиоэлектронных средств // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2023. №83. С. 48-61. DOI:10.21667/1995-4565-2023-83-48-61.

3. Бубнов А.А. Разработка и анализ требований к программному обеспечению: учебник / А.А. Бубнов, С.А. Бубнов, К.А. Майков. – Москва: КУРС, 2025. – 176 с. – (Бакалавриат).

УДК 004.021; ГРНТИ 50.13.15

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПИСАНИЯ, АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭВМ

Е.А. Селифанова, В.В. Трохимчук

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, selifanova_elenka@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена комплексной оптимизации проектирования и производства электронных вычислительных машин (ЭВМ), рассматривая взаимосвязь конструктивных и технологических решений. Современное производство ЭВМ характеризуется высоким уровнем стандартизации компонентов и автоматизации процессов, что требует эффективных методов оптимизации на всех этапах жизненного цикла изделия. В исследовании представлен метод, базирующийся на создании топологической структуры для описания пространства возможных проектных решений. Эта модель представляет собой обобщенное описание различных вариантов конструкции ЭВМ и технологических маршрутов их изготовления, визуализируемых с помощью функционально-структурных схем и графов технологических процессов. Определение наилучшего решения происходит с учетом установленного критерия оптимальности, обеспечивающего максимальную эффективность выбора. В статье детально рассматривается применение методов решения задачи маршрутной оптимизации при производстве печатных плат, представляющего собой сложную задачу с многочисленными взаимозависимыми параметрами.

Ключевые слова: электронно-вычислительная машина (ЭВМ), технологический процесс (ТП), конденсатор металлобумажный малогабаритный (МБМ), моделирование, принцип оптимальности Беллмана, критерий качества.

RESEARCH ON METHODS FOR DESCRIBING, ANALYZING, AND MODELING TECHNOLOGICAL PROCESSES IN ECM PRODUCTION

E.A. Selifanova, V.V. Trokhimchuk

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, selifanova_elenka@mail.ru

Abstract. This article focuses on the complex optimization of the design and manufacturing of electronic computing machines (ECMs), considering the interplay between constructive and technological solutions. Modern ECM production is characterized by a high level of component standardization and process automation, necessitating efficient optimization methods at all stages of the product life cycle. The study presents a method based on the construction of a topological structure to describe the space of possible design solutions. This model provides a generalized description of various ECM design options and their manufacturing routes, visualized using functional-structural diagrams and process graphs. The selection of the optimal solution is carried out based on a specified optimality criterion, ensuring maximum efficiency in the decision-making process. The article details the application of methods for solving the route optimization problem in printed circuit board manufacturing, a complex task with numerous interdependent parameters.

Keywords: electronic computing machine (ECM), technological process (TP), miniature metallized paper capacitor (MMP), modeling, Bellman's principle of optimality, quality criterion.

Современные вычислительные системы являются ключевым элементом в автоматизации промышленных процессов и улучшении качества продукции, обеспечивая основу для интеграции передовых технологий и инновационных решений. Производство таких систем основано на широком использовании унифицированных компонентов, начиная от стандартных интегральных микросхем и заканчивая специализированными радиодеталями. Высокое качество и массовое производство этих элементов являются ключевыми условиями для прогресса в области вычислительной техники. Одной из ключевых задач современности является организация массового производства функциональных модулей, разработанных с применением инновационных технологий и современных подходов. Это, в свою очередь, стимулирует автоматизацию производственных циклов за счет стандартизации и унификации используемых компонентов, что повышает эффективность и снижает затраты. Для автоматизированного выбора проектных решений в области разработки и производства электронной аппаратуры необходимо разработать модель оптимального проектирования, а также обоснованные логические методы и алгоритмы для решения задач оптимизации [1].

В рамках данной статьи будет предложено наиболее эффективное решение в плане конструкции вычислительного устройства с учетом последовательности технологических операций, а также проведено исследование проблемы оптимизации маршрутов на примере технологического процесса изготовления печатных плат.

Постановка задачи выбора оптимальной конфигурации ЭВМ с учетом последовательности выполняемых операций и их взаимосвязей

Пусть при разработки технологической системы было создано множество возможных вариантов решений: $Z_d = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$.

Каждое решение M_i ($i = 1, 2, \dots, n$) можно представить в различных формах: в виде структурно-логической схемы процесса (например, сборки, обработки поверхностей и т. д.) или функционально-структурной схемы устройства, применяемого в технологии или конструировании при производстве электронных средств.

Таким образом, топологическая модель множества допустимых проектных решений может быть создана путем объединения частных решений, представленных в виде типологически ориентированных схем (графов): $MM_D = \bigcup_{i=1}^r S_i$.

Оптимизация проектных решений с учетом последовательности технологических операций заключается в поиске кратчайшего пути в графе вариантов между начальным и конечным состояниями в соответствии с выбранным критерием. В области электроники такими критериями могут выступать: интегральная сложность, технологичность, вибростойкость, надежность, энергопотребление и габариты. С технологической точки зрения учитываются такие факторы, как стоимость материалов и операций, себестоимость оборудования, выход годной продукции, точность и надежность процесса, уровень автоматизации, а также объемы межоперационных запасов. Для решения подобных задач эффективно применяется алгоритм динамического программирования, базирующийся на принципе оптимальности, сформулированном Беллманом: оптимальность последующих решений зависит от оптимальности стратегии на оставшемся участке пути. Поиск решения осуществляется ретроспективно, от конечного этапа к начальному, с минимизацией целевой функции качества. Также может быть использован итеративный подход, основанный на последовательных приближениях.

Решение методом последовательных приближений

Задано множество решений графом $G = (E, Z)$ с $|E| = n$ вершинами от 1 до n . Между множеством $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ — вершин графа G — и множеством узловых реализаций, которые представляют собой частные промежуточные технические решения, установлено соответствие. В то же время множество $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$ — дуг G — отражает функциональные взаимосвязи и переходы между отдельными узловыми решениями, обеспечивая целостность и согласованность системы. Каждой дуге присвоено значение интегрированного критерия качества, которое определяет её "длину":

$$a(e_i, e_j) = \begin{cases} a_{ij} \geq 0, & \text{если существует связь между } e_i \text{ и } e_j; \\ \infty, & \text{если дуга } (e_i, e_j) \text{ не принадлежит } U; \\ 0, & \text{если } i = j. \end{cases}$$

Этот подход позволяет эффективно находить оптимальные решения, минимизируя затраты и повышая качество проектирования и производства электронных устройств.

Модифицированный метод последовательных приближений

Процесс проектирования, представленный в виде ациклического графа вариантов, позволяет эффективно оптимизировать поиск оптимального решения. Благодаря структурированности и упорядоченности процесса, рассматриваемый метод демонстрирует повышенную эффективность, значительно снижая вычислительные затраты при анализе графа вариантов. Метод включает такие этапы, как: 1) когда сетевую модель ТП разбивают на уровни, т. е. слои; 2) когда задачу решают с помощью системы линейных уравнений методом последовательных приближений:

$$\begin{aligned} N_1 &= \{e_i \mid e_i \in E, \Gamma^{-1}e_i = 0\} \\ N_2 &= \{e_i \mid e_i \in E - N_1, \Gamma^{-1}e_i = N_1\} \\ N_3 &= \{e_i \mid e_i \in E - (N_1 \cup N_2), \Gamma^{-1}e_i = N_1 \cup N_2\}, \\ &\dots\dots\dots \\ N_r &= \left\{ e_i \mid e_i \in E - \bigcup_{k=1}^{r-1} N_k, \Gamma^{-1}e_i = \bigcup_{k=1}^{r-1} N_k \right\} \end{aligned}$$

где $\Gamma^{-1}e_i$ — множество вершин графа G , предшествующих вершине e_i [2].

Такой подход обеспечивает поэтапное уточнение решений, минимизируя ошибки и повышая точность расчетов, что особенно важно при работе со сложными сетевыми моделями.

При применении графического метода решения задачи на заданном графе сначала определяются вершины, у которых отсутствуют предшествующие элементы, формируя тем самым первый слой. Затем вершины первого слоя и исходящие из них дуги исключаются из графа. На оставшейся части графа снова находятся вершины, не имеющие предшественников, которые образуют второй слой. Эта процедура повторяется циклически до тех пор, пока граф не будет полностью разбит на иерархические уровни (слои), обеспечивая четкую структуризацию данных. Такой подход позволяет последовательно разбить граф на уровни, что значительно упрощает процесс анализа и оптимизации его структуры.

В данном методе решение задачи реализуется посредством системы уравнений, которая позволяет определить искомые параметры или характеристики:

$$\begin{cases} V_i^{(k)} = \min \{ V_j^{(k-1)} + a_{ij} \}, i \in N_{r-k-1}; \\ V_n^{(k)} = 0, \end{cases}$$

где r - число слоёв сети, а n - номер конечной вершины сети.

$$N^{(k)} = \bigcup_{\zeta=r-k}^r N_{\zeta}.$$

Чтобы решение являлось достоверным и оптимальным, необходимо $(r-2)$ итерации.

Решение по критерию минимальной технологической себестоимости

Требуется определить оптимальный вариант конструкции конденсатора МБМ.

$$q(K^{TC}) = \min_{l \in L} \sum_{\zeta \in L} K_{\zeta}^{TC},$$

где l – маршрутизация множества дуг из вершины e_1 в вершину e_L ;

L – варианты маршрутов, которые выходят из вершины e_1 в вершину e_L ,

Решение по критерию минимальной общей стоимости изделия

Требуется определить оптимальный вариант конструкции конденсатора МБМ.

$$q(K^C) = \min_{l \in L} \sum_{\zeta \in L} K_{\zeta}^C,$$

где l – маршрутизация множества дуг из вершины e_1 в вершину e_L ;

L - варианты маршрутов, которые выходят из вершины e_1 в вершину e_L ,

Решение по критерию максимальной технологичности

Требуется определить оптимальный вариант конструкции конденсатора МБМ.

$$q(K^T) = \max_{l \in L} \sum_{\zeta \in L} K_{\zeta}^T,$$

где l – маршрутизация множества дуг из вершины e_1 в вершину e_L ;

L - варианты маршрутов, которые выходят из вершины e_1 в вершину e_L .

Решение по аддитивному критерию

Требуется определить оптимальный вариант конструкции конденсатора МБМ.

$$q(K^{TC}, K^C) = \max_{l \in L} \sum_{\zeta \in L} (a * K_{\zeta}^{TC} / K_{\max}^{TC} + K_{\zeta}^C / K_{\max}^C),$$

где l – маршрутизация множества дуг из вершины e_1 в вершину e_L ;

L - варианты маршрутов, которые выходят из вершины e_1 в вершину e_L ;

Решение по мультипликативному критерию

Требуется определить оптимальный вариант конструкции конденсатора МБМ.

$$q(K^{TC}, K^C) = \min_{l \in L} \prod_{\zeta \in L} K_{\zeta}^C (K_{\zeta}^{TC})^b$$

где l – маршрутизация множества дуг из вершины e_1 в вершину e_L ;

L - варианты маршрутов, которые выходят из вершины e_1 в вершину e_L ;

Решение по максиминному критерию

$$q(K^{TC}, K^C, K^T) = \max_{K^T} \{ \min q(K^{TC}), \min q(K^C) \},$$

где l – маршрутизация множества дуг из вершины e_1 в вершину e_L ;

L - варианты маршрутов, которые выходят из вершины e_1 в вершину e_L [3].

Заключение

Представленные алгоритмы решения, реализуемые методом последовательных приближений, позволяют получать достаточно точные результаты даже при большом количестве вариантов проектных решений. Результаты исследования могут быть использованы для повышения эффективности проектирования и производства ЭВМ, снижения стоимости, а также улучшения качества продукции.

Библиографический список

1. Пахмурин, Д. О. Операционные системы ЭВМ : учебное пособие / Д. О. Пахмурин. — Москва : ТУСУР, 2023. — 181 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/394106> (дата обращения: 27.02.2025).
2. ЭВМ и периферийные устройства. Базовая организация ЭВМ : учебное пособие / Б. В. Солодухин, А. В. Бородко, О. И. Пантюхин [и др.]. — Санкт-Петербург : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2023. — 127 с. — ISBN 978-5-89160-286-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/426071> (дата обращения: 27.02.2025).
3. Журавлев, А. Е. Организация и архитектура ЭВМ. Вычислительные системы / А. Е. Журавлев. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 144 с. — ISBN 978-5-507-48089-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/341138> (дата обращения: 27.02.2025).

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ЭФФЕКТИВНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ПОМОЩЬЮ DIPTRACE И СОВРЕМЕННЫХ ИТ-РЕШЕНИЙ

Ю.А. Букина, Е.В. Чугунов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, buckina.iulija@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к проектированию печатных плат (далее ПП) с использованием программного обеспечения DipTrace и интеграции с современными ИТ-решениями. Рассматриваются ключевые этапы проектирования, в которые входит: создание схем, трассировку, проверку целостности сигналов и подготовку к производству. Заостряется внимание на преимуществах DipTrace, таких как удобный интерфейс, поддержка современных стандартов проектирования и возможность интеграции с облачными сервисами. Также исследуются современные ИТ-решения, такие как автоматизация процессов, использование искусственного интеллекта для оптимизации трассировки и совместная работа в режиме реального времени. Статья будет интересна для инженеров-проектировщиков, студентов технических специальностей и всех, кто интересуется современными технологиями проектирования электроники.

Ключевые слова: проектирование печатных плат (ПП), DipTrace, трассировка, автоматизация, ИТ-решения, облачные технологии, искусственный интеллект.

EFFICIENT DESIGN OF PRINTED CIRCUIT BOARDS USING DIPTRACE AND MODERN IT SOLUTIONS

Yu.A. Bukina, E.V. Chugunov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, buckina.iulija@yandex.ru*

The summary. The article discusses modern approaches to the design of printed circuit boards (hereinafter referred to as PCBs) using the DipTrace software and integration with modern IT solutions. The key stages of design are considered, which include: creating circuits, tracing, checking the integrity of signals, and preparing for production. The focus is on the advantages of DipTrace, such as a user-friendly interface, support for modern design standards, and the ability to integrate with cloud services. Modern IT solutions such as process automation, the use of artificial intelligence to optimize tracing, and real-time collaboration are also being explored. The article will be interesting for design engineers, students of technical specialties and anyone who is interested in modern electronics design technologies.

Keywords: design of printed circuit boards (PP), DipTrace, tracing, automation, IT solutions, cloud technologies.

Проектирование ПП является серьезным этапом разработки электронных устройств. Требования к миниатюризации, высокой плотности компонентов и быстродействию, которые в наше время являются практически ключевыми, делают этот процесс сложным и трудоемким. Чтобы упростить и облегчить процесс проектирования рекомендуем воспользоваться DipTrace – современной системой автоматизированного проектирования ПП с широким спектром возможностей. Далее в статье рассмотрим возможности программного обеспечения данной системы и современных ИТ-решений для повышения эффективности проектирования ПП [1].

Обзор программного обеспечения DipTrace

Современные системы автоматизированного проектирования должны быть максимально функциональны и иметь низкий порог вхождения, DipTrace обладает простым интерфейсом, понятным пользователям на интуитивном уровне. Для эффективной работы в программном пакете DipTrace не нужно иметь особых навыков.

Так же следует отметить, что акцент в таких комплексах делается на слово АВТОМАТИЗАЦИЯ, рассматриваемая система имеет в себе мощную ручную и два автоматических трассировщика, причем опции ручной трассировки позволяют трассировать и редактировать

плату не только строго соблюдая стандартные углы (15, 30, 45, 90 градусов), а совершенно без ограничений [2]. Поддержка сквозных и несквозных межслойных переходов как в ручном, так и автоматических режимах. Следует отметить еще один факт, платы, создаваемые в DipTrace могут быть трассированы сторонними автотрассировщиками (к примеру Electra).

Детальная проверка дизайна доступная в редакторе PCB Layout имеет несколько опций проверки (Проверка связей ERC и ошибок, проверка ошибок трассировки и др. каждая из них сопровождается описанием ошибки, исходя из которого можно легко локализовать проблему и исправить), благодаря которым можно контролировать проект на разных этапах производства [2].

Функции импорта и экспорта позволяют работать с принципиальными схемами, платами и библиотеками в форматах других EDA и CAD-приложений: DXF, P-CAD, PADS, OrCAD и Eagle, а также работать с "нетлистами" (списками соединений): Accel, Allegro, Mentor, PADS, P-CAD, OrCAD, Protel 2.0 и Tango [2].

DipTrace имеет большую базу библиотек стандартных элементов, которую можно дополнить скачав сторонние библиотек или создать свою. Создание собственных библиотек — удобные средства разработки компонентов и корпусов с автоматическим расположением и нумерацией выводов по заданным правилам позволяют за считанные минуты создавать компоненты любых размеров и любой сложности. Это очень важная функция, которая позволяет без подкачки дополнительного софта воспроизвести или заменить любой компонент, который не был представлен в стандартных библиотеках [2].

На этом краткий обзор программного обеспечения хотим закончить, но это далеко не весь спектр предоставляемых функций, которыми обладает данная автоматизированная система проектирования ПП.

Этапы проектирования печатных плат

Проектирование печатных плат в DipTrace — это процесс, который включает несколько ключевых этапов:

1. Создание нового проекта

Начинается с создания нового проекта в DipTrace. Выбирается тип проекта (например, принципиальная схема или печатная плата) и задаются основные параметры, такие как размеры платы и количество слоев [3].

2. Разработка принципиальной схемы

Используя библиотеку компонентов DipTrace, пользователь добавляет элементы на схему и соединяет их в соответствии с электрической логикой [3]. Программа позволяет проверять корректность соединений на этом этапе. Пример принципиальной схемы, который мы сами создали и использовали для конкурса по проектированию, где не требовалось минимизировать размер печатной платы, показан на рисунке 1.

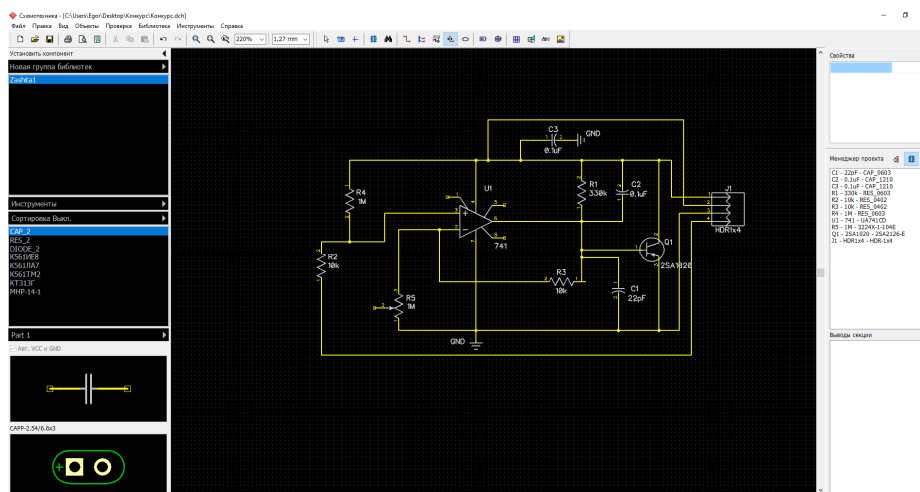


Рис. 1. Принципиальная схема

3. Создание и редактирование компонентов

Если необходимых компонентов нет в библиотеке, их можно создать вручную с помощью встроенного редактора. Это включает задание контактных площадок, корпусов и других параметров.

4. Импорт схемы в PCB Layout

После завершения работы над схемой она импортируется в модуль PCB Layout для дальнейшего проектирования печатной платы. Все компоненты автоматически переносятся на рабочую область [3].

5. Компоновка компонентов на плате

Компоненты размещаются на плате с учетом их функциональности и требований к монтажу. DipTrace предоставляет инструменты для автоматической и ручной компоновки, что упрощает процесс [3].

6. Трассировка печатных проводников

Проводники прокладываются вручную или с помощью автотрассировщика. DipTrace поддерживает трассировку на нескольких слоях, что особенно полезно для сложных проектов [3]. Пример работы автотрассировщика совместно с ручной трассировкой, а также проверка трассировки на ошибки, описанные в пункте 7, который мы также создали сами по предыдущей принципиальной схеме показан на рисунке 2.

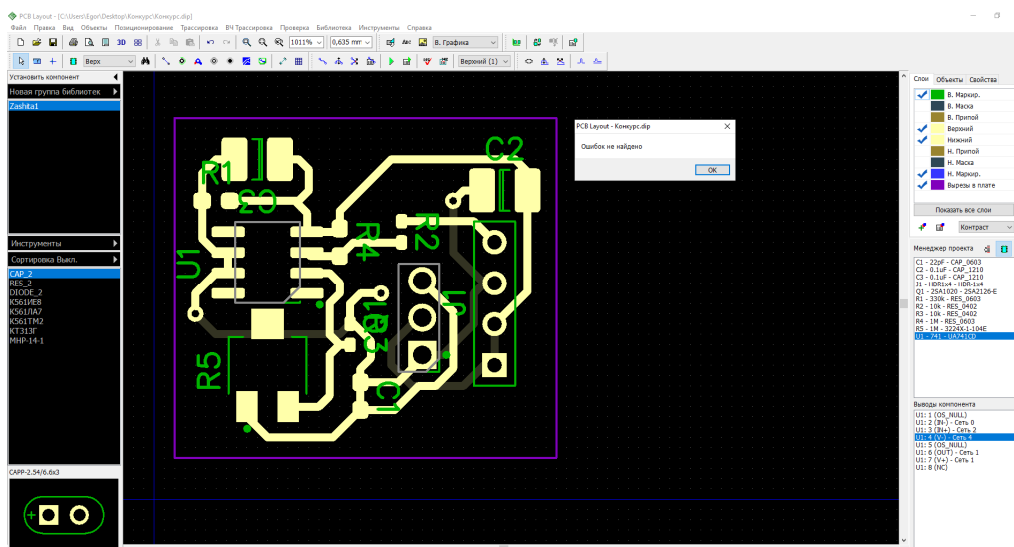


Рис. 2. Трассировка печатных проводников

7. Проверка на ошибки (Design Rule Check и Electrical Rule Check)

Перед завершением проекта выполняется проверка на соответствие правилам проектирования (DRC) и (ERC). Это позволяет выявить и устранить ошибки, такие как короткие замыкания или неправильные зазоры.

8. Генерация производственных файлов.

После завершения проектирования создаются файлы для производства, такие как Gerber-файлы и файлы сверловки. DipTrace поддерживает экспорт в различные форматы, что упрощает передачу данных на завод.

9. Тестирование и внесение изменений.

Готовую плату тестируют, и при необходимости вносят корректировки в проект. DipTrace позволяет легко редактировать как схему, так и разводку [3].

Современные IT-решения в проектировании ПП

Современные IT-решения позволяют автоматизировать многие этапы проектирования, такие как создание библиотек компонентов, проверка правил проектирования и генерация отчетов. Это значительно сокращает время разработки и снижает вероятность ошибок.

Искусственный интеллект (ИИ) может быть использован для оптимизации трассировки и размещения компонентов. Алгоритмы ИИ анализируют множество вариантов и выбирают наиболее эффективный, что позволяет улучшить качество проектирования [4].

Облачные сервисы позволяют командам разработчиков работать над проектом одновременно, независимо от их местоположения. DipTrace поддерживает интеграцию с облачными платформами, что упрощает совместную работу и обмен данными.

3D-визуализация позволяет оценить внешний вид и компоновку платы до ее производства [4]. Некоторые современные решения даже поддерживают виртуальную реальность, что позволяет инженерам "погрузиться" в проект и более детально изучить его.

Заключение

В статье описаны современные методы проектирования печатных плат с использованием программы DipTrace и передовых IT-технологий. DipTrace — это мощный инструмент для автоматизированного проектирования, который отличается простым интерфейсом, поддержкой современных стандартов и множеством полезных функций. Среди них — автоматическая и ручная трассировка, проверка целостности сигналов и создание файлов для производства. Программа позволяет работать как с простыми, так и с многослойными платами, поддерживает импорт и экспорт данных в разные форматы, что делает её удобной для инженеров [5].

Современные IT-решения, такие как автоматизация процессов, использование искусственного интеллекта для оптимизации трассировки и совместная работа через облачные сервисы, значительно упрощают и ускоряют процесс проектирования [5]. Эти технологии помогают снизить количество ошибок, повысить качество проектов и улучшить взаимодействие между участниками команды.

DipTrace, благодаря своей гибкости и поддержке современных технологий, отлично подходит для проектировщиков, которые хотят создавать качественные печатные платы, отвечающие современным требованиям к миниатюризации и высокой плотности компонентов [5]. Статья будет полезна как для опытных инженеров, так и для студентов, изучающих проектирование электроники, а также для всех, кто интересуется современными подходами в этой области.

Библиографический список

1. Проектирование и разработка встроенных систем [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.qiyang-embedded.ru/project.html?yclid=8851671636525187071> (дата обращения: 01.03.2025).
2. DipTrace: Учебные материалы [Электронный ресурс]. – URL: https://diptrace.com/books/trainings_rus.pdf (дата обращения: 01.03.2025).
3. DipTrace: Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://diptrace.com/rus/> (дата обращения: 02.03.2025).
4. Автоматизация проектирования печатных плат с помощью ИИ [Электронный ресурс]. – URL: https://picbasic.ru/publ/roboty_i_avtomatika/avtomatizacija_proektirovanija_pechatnykh_plat_s_pomoshhju_ii/29-1-0-2953 (дата обращения: 02.03.2025).
5. CADmaster: PCB Design Studio [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_17_pcb_design_studio.html (дата обращения: 03.03.2025).

УДК 621.377; ГРНТИ 47.47

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ В MICRO CAP

А.А. Гвоздков, В.Д. Орлов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, orlovvlad574@gmail.com*

Аннотация. В данной работе рассматриваются основные принципы моделирования электронных схем, которая осуществляется с помощью программного комплекса Micro-Cap, а также его сравнение с другими аналогичными программами. По мимо этого, разбираются методы временного, частотного и нелинейного анализа, способы практического применения, аспекты пользовательского интерфейса и возможности оптимизации. Уделяется внимание практическим аспектам работы взаимодействию с библиотеками компонентов, графическому представлению результатов и автоматизации проектирования. В завершении статьи, идёт сравнение Micro-Cap с другими SPICE-совместимыми программами, с обсуждением преимуществ и недостатков, такими как: LTspice и Multisim. В итоге делается вывод, что Micro-Cap востребован среди инженеров и людей, которые занимаются изучением, глубоким анализом и оптимизацией параметров схем.

Ключевые слова: Micro-Cap, SPICE, моделирование схем, сравнение программ.

FEATURES OF USING ELECTRONIC MEDIA IN MICRO CAP

A.A. Gvozdkov, V.D. Orlov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, orlovvlad574@gmail.com*

The summary. This paper examines the basic principles of modeling electronic circuits using the Micro-Cap software package and compares it with other similar programs. In addition, the methods of time, frequency and nonlinear analysis, practical application methods, user interface aspects and optimization capabilities are discussed. Attention is paid to the practical aspects of working with component libraries, graphical representation of results and design automation. At the end of the article, Micro-Cap is compared with other SPICE-compatible programs, discussing the advantages and disadvantages, such as: LTspice and Multisim. As a result, it is concluded that Micro-Cap is in demand among engineers and people who study, deeply analyze and optimize circuit parameters.

Keywords: Micro-Cap, SPICE, circuit modeling, program comparison.

В настоящее время, при разработке электронных устройств невозможно без использования специального программного обеспечения, которое может позволить оценить поведение схем до того, как они реализуются в аппаратном виде. Одним из инструментов позволяющих реализовать данную функцию является Micro-Cap, который был создан компанией Spectrum Softwa. Отличием от других программных средств, совместимых со стандартов SPICE, такие как к примеру: LTspice, Multisim - является то, что Micro-Cap предлагает рас-

ширенные функции реализации, гибкие параметры моделирования и встроенные библиотеки компонентов, что делает его востребованным.

Micro-Cap – симулятор, который был основан на SPICE и предназначен для проектирования, анализа и моделирования электронных схем. Ключевой особенностью данного инструмента является совокупность интуитивно понятного интерфейса и точности вычислений. В данной статье будут рассмотрены отличительные черты Micro-Cap, его возможности и основные аспекты моделирования, а также сравним с основными похожими популярными программами.

Функциональные возможности Micro-Cap

Micro-Cap имеет большое количество инструментов для анализа и моделирования электронных схем, в него входят следующие инструменты.

Временной анализ (Transient analysis). Анализ переходных процессов предсказывает поведение схемы во временной области, отображая изменение напряжений и токов в различных точках цепи при различных входных сигналах (рис.1). Этот вид анализа необходим для изучения переходных процессов, таких как включение/выключение схемы, реакция на импульсные сигналы и другие.

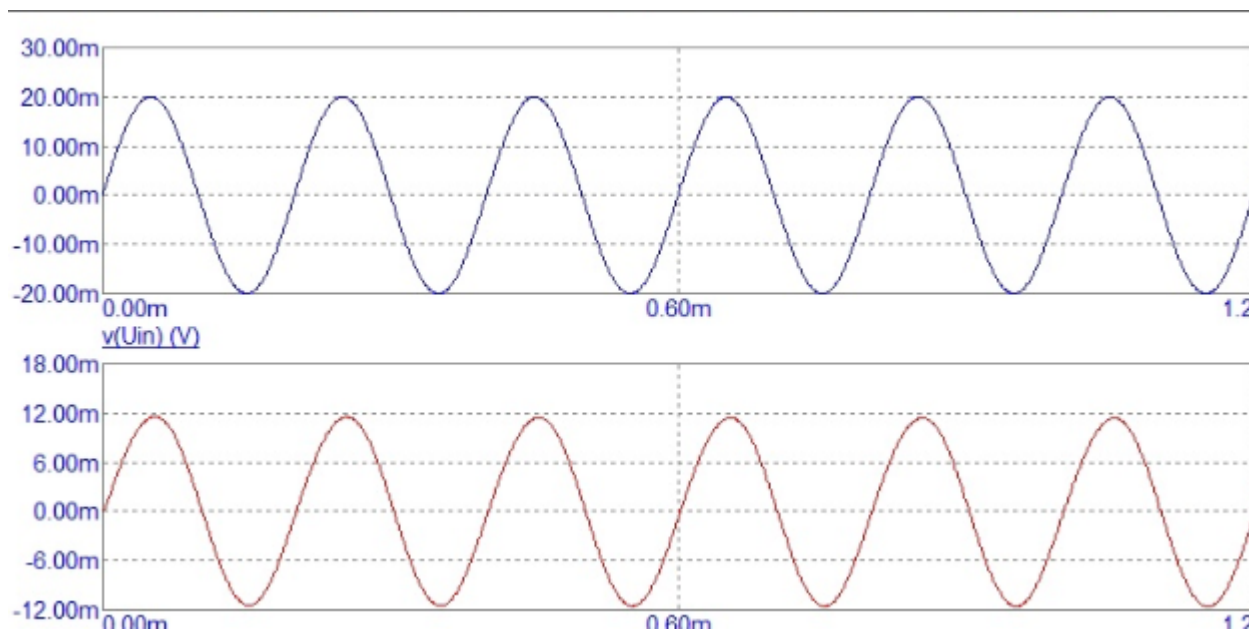


Рис. 1. Пример Transient analysis

Частотный анализ (AC analysis). Исследуются частотные характеристики схемы: амплитудно-частотная (АЧХ) и фазо-частотная (ФЧХ) характеристики (рис.2). Этот анализ предназначен для проектирования фильтров, усилителей и других цепей, работающих в определенном диапазоне частот.

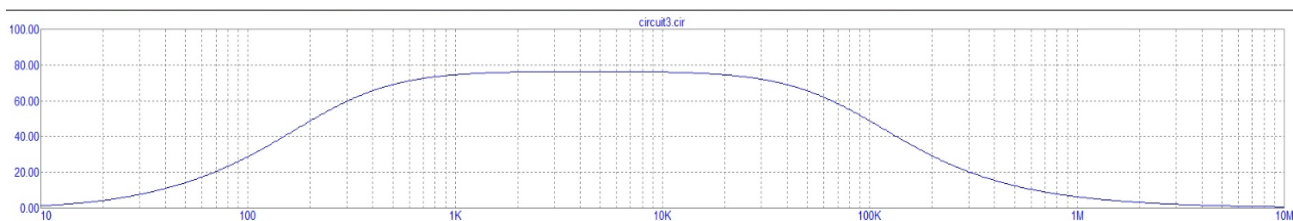


Рис. 2. Пример AC analysis

Анализ постоянного тока (DC analysis). Определяется рабочая точка схемы в установленном режиме (значения напряжений и токов при постоянных входных сигналах) (рис.3). Этот анализ предназначен для определения правильности смещения транзисторов и других активных компонентов.

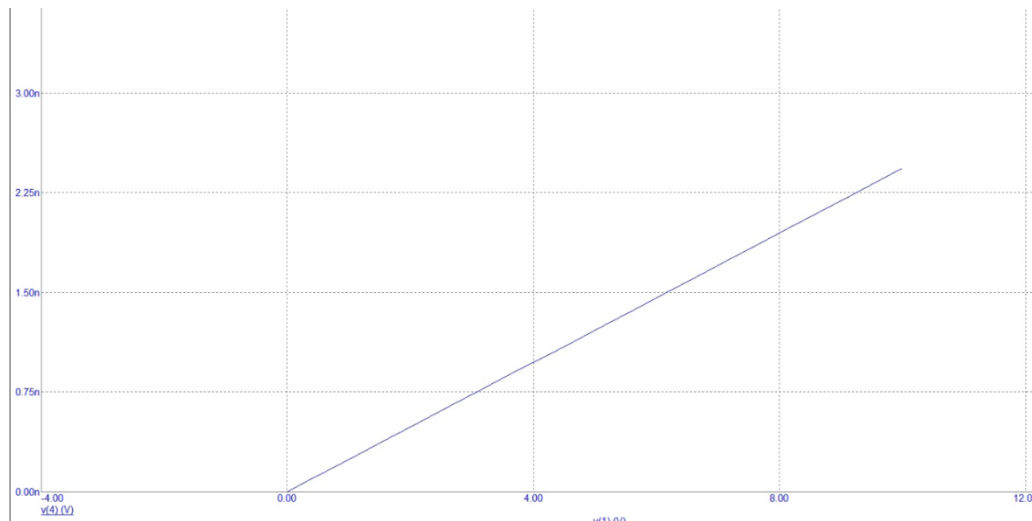


Рис. 3. Пример DC analysis

Нелинейный параметрический анализ (Non-linear parametric analysis). Позволяет исследовать влияние изменения параметров компонентов на поведение схемы. Этот анализ предназначен для оптимизации параметров схемы и оценки ее чувствительности к разбросу параметров компонентов.

Тепловой анализ (Thermal analysis). Позволяет учитывать тепловые эффекты при моделировании схемы (очень важно для мощных электронных устройств).

Анализ Монте-Карло (Monte Carlo analysis). Позволяет оценить влияние разброса параметров компонентов на поведение схемы путем проведения многочисленных симуляций с использованием случайных значений параметров [1].

Уникальные особенности и преимущества Micro-Cap

Micro-Cap превосходит другие SPICE-системы благодаря ряду функций. Интуитивно понятный графический интерфейс упрощает создание и редактирование проектов. Программа предлагает широкие возможности визуализации, включая настройку отображения графиков, добавление маркеров и проведение измерений, что позволяет наглядно оценивать поведение схем.

Встроенные библиотеки содержат большое количество моделей компонентов, а гибкие настройки параметров моделирования позволяют балансировать между точностью и скоростью. Кроме того, Micro-Cap поддерживает создание пользовательских моделей компонентов и предлагает как графический, так и текстовый ввод схем.

Дополнительным преимуществом являются интегрированные инструменты оптимизации, которые помогают автоматически подбирать оптимальные значения компонентов для достижения требуемых характеристик [2].

Практическое применение Micro-Cap

Micro-Cap подходит для решения множества инженерных задач. Он позволяет проектировать и анализировать сложные аналоговые и цифровые схемы, такие как усилители,

фильтры, генераторы и микроконтроллеры. Программа помогает исследовать поведение схем в различных условиях, выявляя потенциальные проблемы, а также автоматически оптимизировать их параметры для достижения заданных характеристик.

Дополнительно Micro-Cap поддерживает анализ электромагнитной совместимости, моделируя электромагнитные помехи и оценивая их влияние. Широко применяется в образовательных учреждениях для обучения студентов основам проектирования и моделирования электронных схем.

Сравнение с другими SPICE-совместимыми симуляторами

Micro-Cap, LTspice и Multisim – эти программы являются одними из самых популярных SPICE-совместимых. Каждая из них имеет свои преимущества и недостатки.

При рассмотрении LTspice Который был разработан компанией Analog Devices, можно выделить некоторые аспекты. Преимущества: является бесплатным, высокая точность и возможность работы со сложными моделями компонентов. Недостаток: интерфейс может показаться менее интуитивным по сравнению с Micro-Cap.

Multisim. Данный симулятор был разработан компанией National Instruments и является коммерческим. Преимущества: предлагает широкий набор инструментов для моделирования и тестирования электронных схем, включая виртуальные инструменты, такие как осциллографы и генераторы сигналов. Недостатком Multisim является, как и говорилось ранее, что он является коммерческим, то есть, чтобы им пользоваться, придётся купить эту программу у разработчика.

При выборе симулятора необходимо исходить из потребностей и бюджета пользователя. Micro-Cap является хорошим выбором для тех, кто ценит широкий набор инструментов, удобный интерфейс. В пользу LTspice можно сказать, что он подходит для тех, кому нужна высокая точность и есть возможность для того, чтобы потратить больше времени на изучение интерфейса программы. Multisim подойдёт для пользователя, кому необходим широкий выбор инструментов внутри программы для моделирования и тестирования проектов [3].

Заключение

Micro-Cap можно назвать мощным и удобным инструментом подходящим для моделирования электронных схем. Его интерфейс интуитивно понятен, возможности визуализации и встроенные библиотеки компонентов делают его востребованным среди как инженеров, так и людям, которые занимаются изучением, глубоким анализом и оптимизацией параметров схем. В сравнении со своими конкурентами в лице LTspice и Multisim, Micro-Cap сохраняет свою актуальность благодаря совокупности функциональности, простоты использования и доступной стоимости. Он является ценным инструментом для проектирования и анализа электронных схем различной сложности.

Библиографический список

1. Micro-Cap User Manual. Spectrum Software, 2023. – Режим доступа: <https://www.iee.et.tu-dresden.de/~jmueller/simulation/soft/microcap/MC12.RefManual.pdf>
2. В. В. Петров. "Моделирование электронных цепей в SPICE-программах"/ В. В. Петров// М.: Техносфера, 2020.
3. Johnson, T. "Comparative Analysis of Circuit Simulators for RF Applications". IEEE Transactions on Education, 2021.

СЕКЦИЯ «МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В САПР»

УДК 004.023; ГРНТИ 28.23

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ
ПРОЕКТНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ МЕТОДАМИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА****С.В. Скворцов, В.И. Хрюкин***Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, vi_x@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрена задача анализа эффективности проектных альтернатив на основе наборов данных, полученных методами экспертной оценки. Представлены формальная постановка задачи и возможные подходы к ее решению методами корреляционного и кластерного анализа. Дана сравнительная характеристика этих методов и указаны их особенности, достоинства и недостатки. Показана необходимость автоматизации процессов решения задачи на основе комплексного использования методов корреляционного и кластерного анализа. Разработана информационная система экспертной оценки проектных альтернатив, обеспечивающая ускорение процесса проведения экспертизы, повышение его качества и обоснованный выбор наиболее перспективных проектов.

Ключевые слова: проектные альтернативы, экспертная оценка, корреляционный анализ, метод ранжирования, кластерный анализ, эффективность кластеризации, автоматизация, информационная система.

**AUTOMATED SYSTEM FOR EXPERT EVALUATION
OF PROJECT ALTERNATIVES BY CLUSTER ANALYSIS METHODS****S.V. Skvortsov, V.I. Khryukin***Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, vi_x@mail.ru*

The summary. The paper discusses the task of analyzing the effectiveness of project alternatives based on data sets obtained by expert evaluation methods. Mathematical statement of the problem and possible approaches to its solution by methods of correlation and cluster analysis are presented. Comparative characteristics of these methods are given and their features, advantages and disadvantages are indicated. The need to automate the processes of solving the problem based on the integrated use of correlation and cluster analysis methods is shown. An information system for expert evaluation of project alternatives has been developed, which ensures acceleration of the examination process, improvement of its quality and an informed choice of the most promising projects.

Keywords: project alternatives, expert evaluation, correlation analysis, ranking method, cluster analysis, clustering efficiency, automatization, information system.

В современной жизни постоянно приходится принимать множество различных решений, предполагающих выбор некоторой альтернативы из множества возможных вариантов. Особо сложной эта задача становится в условиях функционирования различных предприятий и учреждений. Например, при организации производственных процессов выбор должен учитывать стоимость, затраты, сложность, возможные прогнозы, риски и многие другие факторы, влияющие на эффективность бизнес-процессов.

Такой выбор предполагает анализ множества документов, аргументированный мнений, критериев, показателей эффективности и других различных факторов, оказывающих влияние на конечный результат. Поэтому решение задачи может потребовать много времени и сил, что приводит к необходимости использования формальных методов.

Очевидно, что полная математическая формализация такой задачи весьма затруднительна, так как требуется учет большого множества различных данных, как количественных, так и качественных. Поэтому наибольшее распространение для ее решения нашли методы экспертных оценок, основанные на обработке информации, полученной от специалистов в предметной области.

Одной из задач, для которой используются методы экспертного анализа, является задача выбора альтернативы из множества проектных решений. Этот выбор сложен тем, что человек не может учесть все достоинства и недостатки каждого варианта. Поэтому применение экспертных оценок, позволяет быстро и четко выделить из множества самую приоритетную альтернативу или группу наиболее приоритетных из предложенных, используя мнения экспертов.

Постановка задачи

Экспертам необходимо принять совместное решение: какая альтернатива из множества представленных вариантов является лучшей. Для этого каждый эксперт оценивает каждую из представленных альтернатив и на основе их оценок производится анализ и дальнейший выбор. В качестве результата экспертного анализа обычно требуется не только выбранная альтернатива-победитель, но и обоснование выбора.

Рассмотрим математическую постановку задачи. Пусть имеется m альтернатив, каждая из которых представляет собой проектное решение и её некоторое описание. Каждую альтернативу рассматривают n экспертов и выставляют оценки (уровни значимости) r_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$), где r_{ij} – оценки j -й альтернативы, который присвоил i -й эксперт. Оценки представлены значениями от одного до десяти, причем будем считать, что оценки возрастают по убыванию эффективности альтернатив, то есть наилучшему решению, по мнению эксперта, будет присвоена оценка 1, а худшему 10. В этом случае результат работы экспертов, т.е. исходные данные для дальнейшего анализа, представляются матрицей $R = [r_{ij}]_{n \times m}$.

При анализе n экспертами для каждой альтернативы вычисляется сумма значений этой альтернативы, присвоенная всеми экспертами $s_i = \sum_{j=1}^m r_{ij}$. Затем, исходя из полученной величины, устанавливается итоговая оценка как средняя арифметическая по каждой альтернативе $\bar{s}_i = s_i / n$. Объекты располагаются по эффективности относительно первого по росту значения \bar{s}_i , то есть по возрастанию.

Другой способ задания исходных данных - метод ранжирования. В этом случае эксперты присваивают альтернативам оценки в виде целых чисел (рангов). Ранги присваиваются таким образом, чтобы первый был приписан решению с максимальной оценкой, а ранг m - с минимальной. Для альтернатив с равными баллами используются стандартизированные ранги [1]. Наивысший ранг (первый) присваивается объекту с минимальной суммой среди полученных. Остальные ранги присваиваются относительно первого по росту значения сумм, то есть по возрастанию. Для измерения согласованности оценок используют коэффициент конкордации Кенделла, коэффициент ранговой корреляции Спирмена и др.

Определение согласованности экспертных оценок с помощью методов корреляционного анализа, которые основаны на использовании коэффициента конкордации, не всегда показывает наглядный результат. Его главный недостаток согласованность всех экспертов в целом мало что говорит об их согласованности в отдельности. Поэтому довольно важной задачей является определение групп специалистов, обладающих наибольшей степени согласованности по сравнению с остальными.

Чтобы решить эту задачу можно использовать методы кластерного анализа, которые позволяют выделить из общей группы экспертов отдельные кластеры. Однако при использовании этого метода возникает один существенный недостаток - каждый отдельно взятый эксперт может входить только в один из рассматриваемых кластеров. Чтобы устранить этот недостаток предлагается комплексное использование методов корреляционного и кластерного анализа [2, 3].

Выбор алгоритмов кластеризации

Эффективность кластеризации во многом зависит от используемого алгоритма, так как каждый из них имеет свои сильные и слабые стороны, учитывающие особенности набора данных и прикладной задачи. От выбора алгоритма во многом зависит не только качество результата, но и скорость обработки данных. Наиболее часто применяют следующие алгоритмы кластеризации [3-5]. K-means – делит набор данных на k предварительно заданных непересекающихся подмножеств (кластеров), минимизируя сумму квадратов расстояний от каждой точки до центра ее кластера. Иерархическая кластеризация строит иерархическую структуру кластеров, называемую дендрограммой. Сначала каждый объект рассматривается как отдельный кластер, затем объединяются ближайшие кластеры, пока все объекты не будут входить в один кластер. Алгоритм DBSCAN анализирует распределение объектов в пространстве. Он идентифицирует плотные области, в которых объекты находятся близко друг к другу, и отделяет их от менее плотных областей. Спектральная кластеризация сначала строит граф, где вершины соответствуют объектам, а ребра отражают их сходство. Затем, используя собственные значения (спектр) матрицы смежности алгоритм выделяет кластеры, которые минимизируют разрезы в графе, тем самым группируя "похожие" объекты.

Выбор алгоритма кластеризации для решения конкретной прикладной задачи осуществляется на основе следующих критериев: масштабируемость, т.е. возможность эффективно работать с большими объемами данных; скорость, т.е. время поиска решения; точность, т.е. способность алгоритма правильно группировать объекты; простота интерпретации, т.е. возможность анализа полученных кластеров с точки зрения семантики задачи.

При разработке автоматизированной системы экспертной оценки проектных решений использованы алгоритмы кластеризации K-means [5-7], K-means++ [4, 5] и G-means [6]. Алгоритм K-means хорошо работает с кластерами, имеющими приблизительно одинаковый размер и сферическую форму, а его результаты достаточно легко интерпретировать, что удобно для анализа и визуализации результатов. Алгоритм K-means++ является модификацией стандартного алгоритма k-means, ориентированной на более эффективный выбор начальных центров кластеров, что в конечном итоге повышает скорость сходимости и качество итоговой кластеризации. Алгоритм G-means - это еще одна модификация алгоритма k-means. Здесь предполагается, что каждый кластер нормально распределен, что позволяет автоматически определить количество кластеров. Проверка статистической гипотезы о том, что данные удовлетворяют нормальному распределению, производится по критерию Андерсона-Дарлинга [7].

Разработка автоматизированной системы

Исходными данными для кластерного анализа является набор точек в p -мерном пространстве, где p – количество характеристик проектов, оцениваемых экспертами, и число кластеров k . Если число кластеров не задано или равно нулю, то применяется метод g-means, в остальных случаях используется метод k-means. Заметим, что указанная информация размещается в базе данных [9], а координаты каждой точки определяются усредненными оценками проектов, которые получены по результатам экспертизы.

Процесс кластеризации методом k-means начинается с инициализации центроидов посредством функции *InitializeCentroidsKMeansPlusPlus*, что обеспечивает более качественное начальное распределение центров кластеров благодаря алгоритму k-means++. Далее следует этап непосредственной кластеризации с помощью функции *RunKMeans*. Эта функция принимает на вход списки точек и центроидов. В ходе работы сначала происходит распределение точек по кластерам, а затем идет пересчет координат центроидов. Проверка на изменение координат центроидов позволяет определить, нужно ли продолжать итерации: в

случае изменений список центроидов обновляется и процесс продолжается, если без изменений - функция завершает работу.

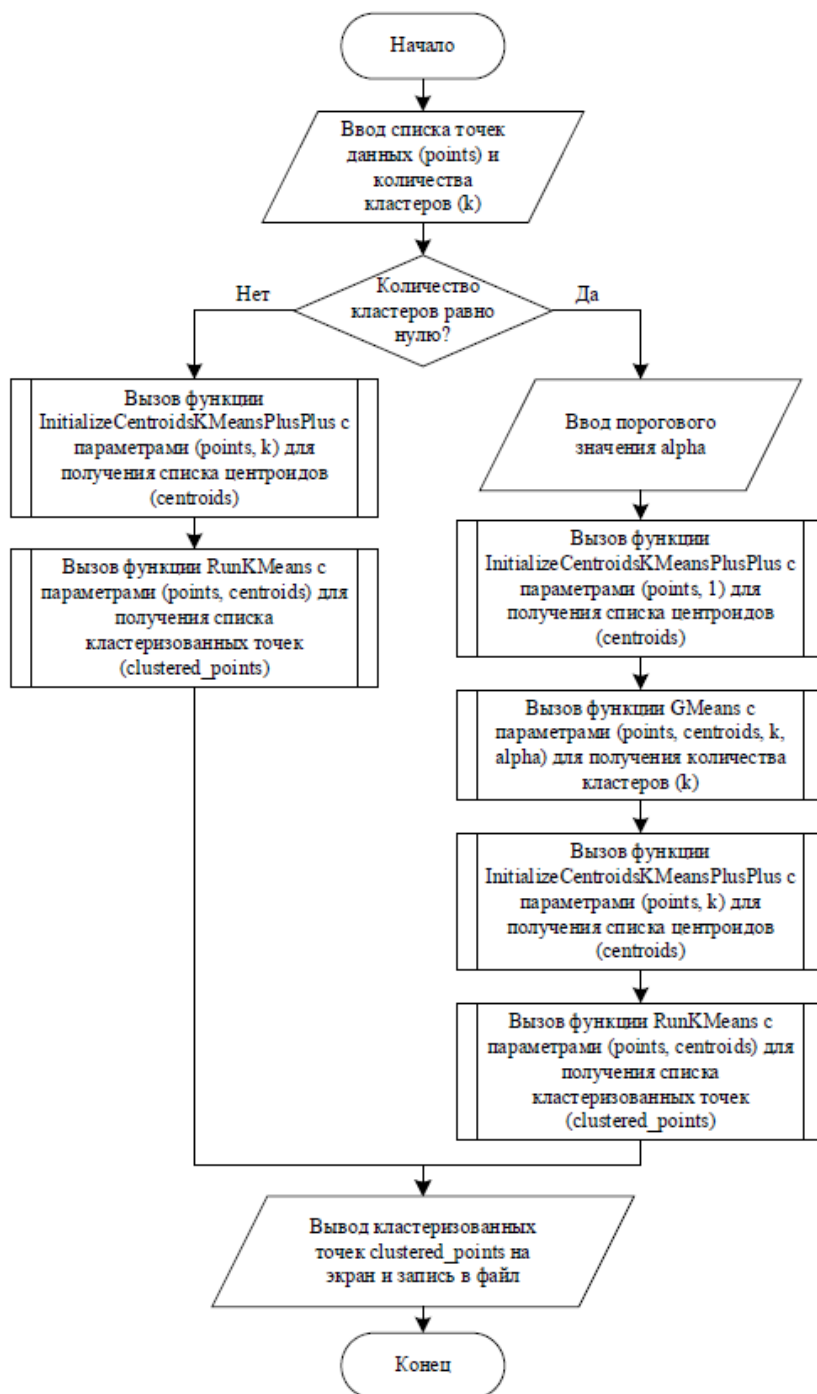


Рис. 1. Схема алгоритма кластеризации

Перед применением g-means необходимо задать параметр α , определяющий пороговое значение для проверки статистической гипотезы по критерию Андерсона-Дарлинга. Затем в функции *InitializeCentroidsKMeansPlusPlus* происходит выбор случайным образом начального центроида, иницируется функция *GMeans* для определения идеального числа кластеров, после чего осуществляется инициализация и запуск алгоритма k-means с помощью функции *RunKMeans*.

Окно программы с загруженными из базы данных оценками проектов показано на рисунке 2. В этом окне можно выбрать проектные альтернативы и используемый метод экспертного анализа, задать количество кластеров, если это необходимо.

Наименование проекта	Финансовые характеристики	Временные характеристики	Качество и производительность	Риски и управление рисками	Ресурсы	Инновации и технологии	Выбрать
Проект 1	9,6	4,46	7,71	4,11	3,71	1,04	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 10	8,61	9,62	4,69	6,35	1,23	3,52	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 11	1,91	1,68	8,05	2,58	2,9	1	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 12	3,24	8,64	1,18	8,52	8,28	6,48	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 13	6,29	1,89	5,68	9,87	7,91	2,54	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 14	3,52	9,66	1,72	3,41	5,02	5,65	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 15	8,25	3,95	4,07	3,85	1,04	6,63	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 16	9,18	7,43	3,17	6,68	8,49	6,01	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 17	1,72	7,41	1,63	5,85	4,77	5,7	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 18	8,15	7,74	4,62	1,18	9,34	7,08	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 19	8,04	3,87	2,8	4,45	3,89	9,39	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 2	6	3,94	3,61	9,54	7,2	4,01	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 20	8,62	7,19	3,86	2,93	9	9,73	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 21	6,51	4,5	9,44	7,57	1,51	7,8	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 22	3,45	2,35	1,66	8,14	8,91	4,85	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 23	3,2	9,58	4,95	5,86	5,74	4,92	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 24	8,01	5,87	2,75	9,14	3,88	7,31	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 25	1,86	5,43	7,56	6,35	7,69	9,42	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 26	8,77	5,74	5,41	6,14	6,12	6,1	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 27	4,28	1,62	3,45	3,63	7,34	7,81	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 28	6,76	7,12	6,66	6,83	2,69	1,81	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 29	6,72	6,9	6,42	6,79	1,47	8,94	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 3	8,45	1,26	6,32	9,18	1,6	3,38	<input checked="" type="checkbox"/>
Проект 30	6,62	8,94	1,54	6,24	5,94	7,6	<input checked="" type="checkbox"/>

Рис. 2. Исходные данные для экспертного анализа

После выполнения кластеризации выводится распределение проектных альтернатив по кластерам (рисунок 3) и разблокируется кнопка «Результаты», при нажатии на которую открывается окно «Анализ» (рисунок 4) и строятся диаграммы средних значений кластеров по каждой характеристике (рисунок 5).

Классификация

Использовать G-Means Введите количество кластеров 1 Убрать галочки Кластеризовать Результаты

Наименование проекта	Финансовые характеристики	Временные характеристики	Качество и производитель	Риски и управление рисками	Ресурсы	Инновации и технологии	Выбрать	Кластер
▶ Проект 1	9,6	4,46	7,71	4,11	3,71	1,04	<input checked="" type="checkbox"/>	2
Проект 10	8,61	9,62	4,69	6,35	1,23	3,52	<input checked="" type="checkbox"/>	1
Проект 11	1,91	1,68	8,05	2,58	2,9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	2
Проект 12	3,24	8,64					<input checked="" type="checkbox"/>	1
Проект 13	6,29	1,89					<input checked="" type="checkbox"/>	4
Проект 14	3,52	9,66					<input checked="" type="checkbox"/>	1
Проект 15	8,25	3,95					<input checked="" type="checkbox"/>	2
Проект 16	9,18	7,43					<input checked="" type="checkbox"/>	3
Проект 17	1,72	7,41					<input checked="" type="checkbox"/>	1
Проект 18	8,15	7,74					<input checked="" type="checkbox"/>	3
Проект 19	8,04	3,87					<input checked="" type="checkbox"/>	3
Проект 2	6	3,94					<input checked="" type="checkbox"/>	4
Проект 20	8,62	7,19					<input checked="" type="checkbox"/>	3
Проект 21	6,51	4,5					<input checked="" type="checkbox"/>	2
Проект 22	3,45	2,35					<input checked="" type="checkbox"/>	4
Проект 23	3,2	9,58					<input checked="" type="checkbox"/>	1
Проект 24	8,01	5,87					<input checked="" type="checkbox"/>	4
Проект 25	1,86	5,43					<input checked="" type="checkbox"/>	4
Проект 26	8,77	5,74					<input checked="" type="checkbox"/>	3
Проект 27	4,28	1,62	3,45	3,63	7,34	7,81	<input checked="" type="checkbox"/>	3
Проект 28	6,76	7,12	6,66	6,83	2,69	1,81	<input checked="" type="checkbox"/>	2
Проект 29	6,72	6,9	6,42	6,79	1,47	8,94	<input checked="" type="checkbox"/>	2
Проект 3	8,45	1,26	6,32	9,18	1,6	3,38	<input checked="" type="checkbox"/>	2
Проект 30	6,62	8,94	1,54	6,24	5,94	7,6	<input checked="" type="checkbox"/>	1

Кластер 1
Среднее значение (4,49; 8,98; 2,62; 6,04; 5,16; 5,64)
Отклонение (2,58; 0,87; 1,72; 1,63; 2,29; 1,38)

Кластер 2
Среднее значение (6,6; 4; 7,27; 5,72; 2,63; 4,37)
Отклонение (2,73; 2,16; 1,74; 2,42; 1,59; 2,96)

Кластер 3
Среднее значение (7,84; 5,6; 3,88; 4,17; 7,36; 7,69)
Отклонение (1,79; 2,42; 0,97; 2,05; 2,07; 1,6)

Кластер 4
Среднее значение (5,46; 4,34; 4,81; 8,52; 7,44; 5,8)
Отклонение (2,25; 2,25; 2,38; 1,21; 1,7; 2,18)

OK

Рис. 3. Результаты кластеризации

Анализ

Выбрать	Характеристика	Весовой коэффициент
<input checked="" type="checkbox"/>	Финансовые характеристики	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Временные характеристики	0,5
<input checked="" type="checkbox"/>	Качество и производительность	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Риски и управление рисками	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Ресурсы	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Инновации и технологии	2

Рассчитать наилучший кластер и проект Показать все проекты

Лучшее проектное решение: Проект 20 с оценкой 4746,5
Лучший кластер: 3 с оценкой: 4142,92

Кластер 1 с оценкой 3408,25. Лучшее проектное решение Проект 30 с оценкой 4001
Кластер 2 с оценкой 3294,94. Лучшее проектное решение Проект 21 с оценкой 4288
Кластер 3 с оценкой 4142,92. Лучшее проектное решение Проект 20 с оценкой 4746,5
Кластер 4 с оценкой 4000,22. Лучшее проектное решение Проект 8 с оценкой 4547,5

Рис. 4. Анализ проектных альтернатив

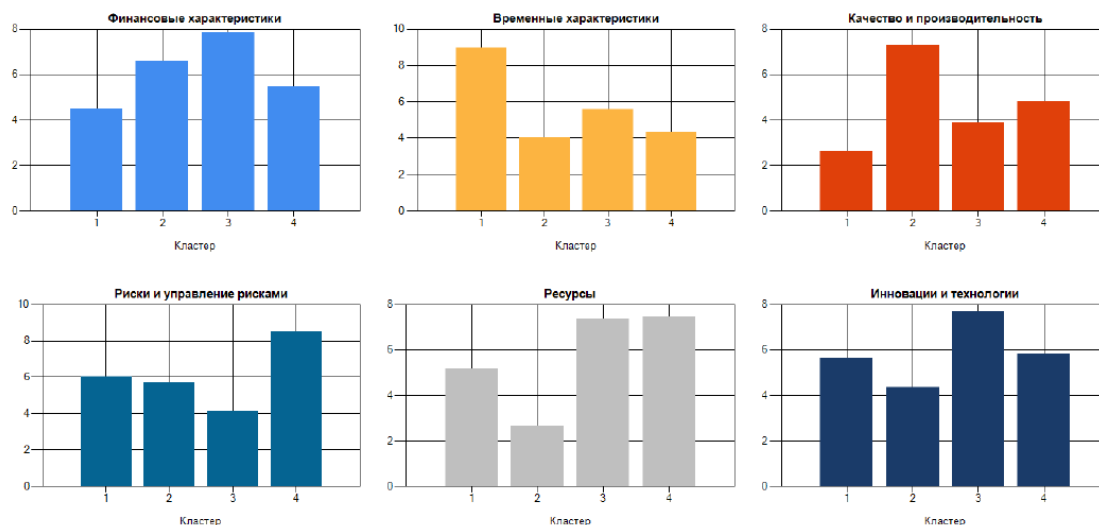


Рис. 5. Диаграммы средних значений кластеров

Заключение

Разработанная информационная система позволяет автоматизировать процесс экспертной оценки проектных альтернатив, повышая объективность результатов и уменьшая затраты времени на аналитическую работу. Система поддерживает функционал по автоматическому формированию кластеров проектных решений на основе многомерного анализа их характеристик, что обеспечивает более глубокий и всесторонний анализ предлагаемых решений. В результате ее внедрения возможно значительно ускорить процесс экспертной оценки проектных альтернатив, повысить его качество и обеспечить более обоснованный выбор наиболее перспективных проектов для реализации. Дальнейшее развитие предложенной системы возможно на основе дополнительного использования методов интеллектуального анализа проектов в различных прикладных областях [10, 11].

Библиографический список

1. Дубов А. М., Мхитарян В. С., Трошин Л. И. Многомерные статистические методы. М.: Финансы и статистика, 2003. 352 с.
2. Скворцов С. В., Хрюкин В. И., Скворцова Т. С. Анализ согласованности мнений специалистов в условиях противоречивости экспертных оценок проектных альтернатив // Вестник РГРТУ. 2021. № 76. С. 53-64.
3. Кирьянов М. И. Оптимизация выбора алгоритмов кластеризации для анализа числовых данных: сравнительное исследование // Информационные технологии в прикладных исследованиях: межвузовский сборник научных трудов. Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2024. С. 117-122.
4. Scikit-Learn: Clustering. [Электронный ресурс]. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/clustering.html>.
5. Кугаевских А. В., Муромцев Д. И., Кирсанова О. В. Классические методы машинного обучения. СПб: Университет ИТМО, 2022. 53 с.
6. Поллак Г.А., Прохорова И.А. Аналитические информационные системы поддержки принятия решений на платформе Loginom Community: учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. 229 с.
7. Корячко В. П., Викулин С. Д., Волков А. В. Применение методов кластеризации для анализа свойств материалов // Вестник РГРТУ. 2024. № 89. С. 77-84.
8. Лемешко Б. Ю. Критерии проверки отклонения распределения от нормального закона. Руководство по применению. – М.: ИНФРА-М, 2015. 160 с.
9. Кирьянов М. И. Разработка информационной системы учета проектных решений для их экспертной оценки / М. И. Кирьянов // Информационные технологии в прикладных исследованиях: межвузовский сборник научных трудов. Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2023. С. 90-96.
10. Щенёва Ю. Б., Пылькин А. Н., Щенёв Е. С., Бодров О. А. Модель освоения образовательных компетенций с использованием инструментария интеллектуального анализа данных // Вестник РГРТУ. 2023. № 84. С. 119-132.

11. Баранчиков А. И., Федосова Е. Б. Реинжиниринг реляционных баз данных на основе кластеризации атрибутов и технологий интеллектуального анализа данных // Вестник РГРТУ. 2023. № 86. С. 156-161.

УДК 004.896; ГРНТИ 50.51.15

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ FESTO В CHATGPT

В.Н. Дубинин*, В.Н. Зорин*, А.В. Дубинин, Л.П. Климкина****

** Пензенский государственный университет,*

Российская Федерация, Пенза, dubinin.victor@gmail.com

*** Пензенский государственный аграрный университет,*

Российская Федерация, Пенза, ludmila.klimkina@gmail.com

Аннотация. Предлагается подход к моделированию и верификации производственных систем с использованием больших языковых моделей, используемых в чат-боте ChatGPT, причем функционирование системы представляется в виде множества продукционных правил. С целью верификации системы разрабатываются вопросы, касающиеся ее динамических свойств, на которые ChatGPT дает ответ. В качестве примера рассматривается лабораторная производственная система фирмы FESTO Didactic.

Ключевые слова: большие языковые модели, ChatGPT, моделирование, верификация, производственная система, продукционные правила, логический вывод, FESTO.

MODELING AND VERIFICATION OF THE FESTO PRODUCTION SYSTEM IN CHATGPT

V.N. Dubinin*, V.N. Zorin *, A.V. Dubinin, L.P. Klimkina****

** Penza State University,*

Russia, Penza, dubinin.victor@gmail.com

*** Penza State Agricultural University,*

Russia, Penza, ludmila.klimkina@gmail.com

Abstract. An approach to modeling and verifying production systems using large language models used in the ChatGPT chatbot is proposed, with the system's operation represented as a set of production rules. In order to verify the system, questions are developed regarding its dynamic properties, to which ChatGPT seeks answers. As an example, the laboratory production system of FESTO Didactic is considered.

Keywords: large language models, ChatGPT, modeling, verification, production system, production rules, logical inference, FESTO.

Недавние достижения в обработке естественного языка привели к разработке мощных больших языковых моделей (LLM), таких как GPT-3.5 и GPT-4, используемых в чат-боте ChatGPT. Эти модели предварительно обучены на огромных объемах текстовых данных и продемонстрировали исключительную производительность в широком спектре задач обработки естественного языка, включая языковой перевод, реферирование текста и ответы на вопросы. В частности, модели ChatGPT показали свой потенциал в различных областях, включая образование, здравоохранение, рассуждение, генерацию текста, взаимодействие человека и машины и научные исследования [1].

Однако до сих пор не все сферы науки и техники охвачены новой технологией в полной мере. Это относится, в частности, к имитационному моделированию и верификации систем. Работы в этом направлении ведутся. В работе [2] предложен системный подход к интеграции генеративного искусственного интеллекта в сферу имитационного моделирования - от формулирования проблем до генерации идей и документирования. В работе [3] представлен всесторонний обзор литературы по применению LLM в различных методах верификации. Отмечено, что, несмотря на многообещающие достижения, предлагаемые этой новой технологией, важно помнить о присущих LLM ограничениях, которые приводят к неверным

предсказаниям. Рассуждение (reasoning) является фундаментальным аспектом человеческого интеллекта, который играет решающую роль в таких действиях, как решение проблем и принятие решений. Ризонинг очень важен во многих методах верификации, в том числе, основанных на доказательствах. В статье [4] представлен всесторонний обзор текущего состояния знаний о рассуждении в LLM.

Цель данной работы - проверка возможностей ChatGPT для моделирования и верификации производственных систем, других систем в области промышленной автоматизации, а также выявление проблем, встречающихся на этом пути. В качестве примера была использована лабораторная производственная система фирмы FESTO Didactic [5].

За основу словесного описания станций системы FESTO для ввода в чат-бот ChatGPT (в виде так называемых *prompt*) были взяты публикации [6-8]. В данных публикациях каждая станция FESTO описывалась в виде простейшей онтологии, определяющей структуру станции и состояния ее компонентов, а функционирование системы представлялось в виде системы продукционных правил, которые в дальнейшем реализовывались на языке SPARQL. Для верификации системы правил были разработаны модели на основе сетей Петри, исследование которых было произведено в системе моделирования TINA.

Производственная система FESTO предназначена для изготовления некоторых законченных деталей из поступающих на ее вход заготовок (рис. 1). Она состоит из трех станций: распределительной (слева), тестирующей (в центре) и обрабатывающей (справа). В процессе изготовления детали заготовка (в виде шайбы) последовательно проходит через все три станции.

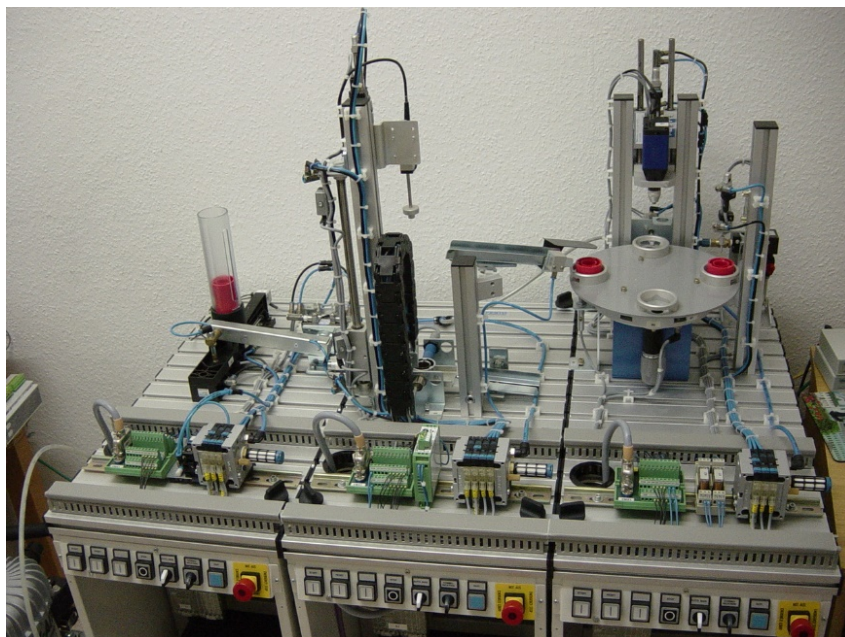


Рис. 1. Производственная система FESTO

Распределительная станция служит для буферирования поступающих от внешнего производителя заготовок, тестирующая станция – для контроля и отбраковки нестандартных заготовок, а обрабатывающая станция – для сверления в заготовке отверстия. Обработанная деталь может быть передана внешнему потребителю готовых деталей. В дальнейшем для краткости заготовку будем называть деталью (*workpiece*).

Эксперименты с чатботом ChatGPT производились в следующем формате. В первой порции вводимых данных (*prompt*) вводилось текстовое описание станции (на русском языке), а во второй и последующей порциях вводились вопросы, касающиеся функционирования станции и ее динамических свойств.

Первую порцию вводимых данных можно разбить на следующие логические фрагменты (которые дальнейшем будут помещаться в рамку):

- перечень устройств (и других артефактов), имеющих отношение к станции;
- описание устройств (опционально);
- описание взаимосвязей и взаимодействия устройств в системе (опционально);
- локальные состояния станции;
- начальные локальные состояния;
- действия;
- продукционные правила, описывающие функционирование.

Кроме мехатронных устройств в описании функционирования станций могут использоваться переменные и флаги, как правило, хранящие некоторую статусную информацию. Например, в модели тестирующей станции используется флаг измерения высоты детали.

Описание артефактов обрабатывающей станции приведено ниже. Следует отметить, что англоязычные обозначения, используемые в данном описании, не являются обязательными и используются исключительно для связи со статьей - оригиналом описания [7].

В состав обрабатывающей станции входят следующие мехатронные устройства:

Table – поворотный стол (или просто стол);

Drill – дрель;

Clamp – зажим;

Checker – проверочный стержень.

В состав обрабатывающей станции входят следующие флаги:

Flag - флаг, определяющий запрос на поворот стола.

Динамическим элементом является деталь (workpiece). Она обрабатывается на станции.

Если устройство само по себе сложное, то приводится описание этого устройства и особенностей его функционирования. Например, поворотный стол в обрабатывающей станции описывается следующим образом:

Поворотный стол включает четыре лунки v1,v2,v3,v4 , жестко расположенные по краям стола, одна за другой, равноудаленные друг от друга. В лунку может быть помещена деталь. Каждая лунка может находиться в одной из четырех пространственных позиций L1, L2, L3, L4, которые следуют одна за другой в перечисленном выше порядке.

Первоначально лунки находятся в следующих позициях:

v1 -> L1

v2 -> L2

v3 -> L3

v4 -> L4

При повороте стола лунки переходят в свои последующие позиции, то есть, происходит перемещение лунок по позициям поворотного стола. Например, после первого поворота стола распределение лунок по позициям будет следующим:

v1 -> L2

v2 -> L3

v3 -> L4

v4 -> L1

Лунка в позиции L1 является входной для поступающей извне детали. Над лункой с позицией L2 находится дрель. Сбоку от лунки с позицией L2 находится зажим. Над лункой с позицией L3 находится проверочный стержень. Лунка с позицией L4 является выходной для обработанной детали.

Магазин (буфер) распределительной станции описывается так:

Внешний производитель помещает детали в буфер деталей распределительной станции, где они

могут накапливаться. Буфер организован как очередь с дисциплиной обслуживания FIFO. Считается, очередь имеет бесконечную емкость.

Одним из вариантов усложнения модели распределительной станции в дальнейшем является рассмотрение буфера с ограниченной емкостью, реализованного в виде кольцевого буфера. Следует отметить, что отдельно была создана и исследована словесная модель кольцевого буфера, причем алгоритмы включения и удаления детали из буфера были написаны на псевдокоде. Данная модель показала свою работоспособность. Пример одной из процедур представлен ниже:

```

ПРОЦЕДУРА READ(ELEM)
ЕСЛИ iw=ir, ТО MES="Выборка детали невозможна из-за пустоты буфера"
ИНАЧЕ
    ДЕЛАТЬ
        ELEM=m[ir]
        ir=ir#1
        MES="Нормальное выполнение выборки детали"
        ZF=false
    КОНЕЦ
КОНЕЦ ПРОЦЕДУРЫ
    
```

Если предположить, что ГРТ «понимает» любую контекстную информацию и использует ее для получения решений, то имеет смысл словесного описания взаимодействий устройств в системе, несмотря на то, что функционирование представлено в виде производственных правил. По крайней мере, это позволит использовать ее в качестве дополнительной семантической информации для контроля и более глубокого понимания производственных правил. В качестве примера ниже приводится описание взаимосвязей и взаимодействия устройств в распределительной станции.

При помощи выталкивателя деталь выталкивается из буфера (иными словами, выбирается из начала очереди) и сдвигается в выходное место (Output_place), откуда транспортный рычаг перемещает ее на тестирующую станцию. Удержание детали на транспортном рычаге осуществляет расположенная на его конце вакуумная присоска. Присасывание детали происходит, когда включен вакуум.

Локальные состояния определяют состояния отдельных устройств, флагов, признаков, а также состояние детали. В скобках через слеш после названия указываются возможные значения состояний. Для каждого объекта определены два состояния. Их можно представить в виде булевых значений – Истина и Ложь.

Например, для обрабатывающей станции определены следующие локальные состояния.

- состояние дрели (в верхнем положении / в нижнем положении)
- состояние зажима (отведен / зажат)
- состояние проверочного стержня (в верхнем положении / в нижнем положении)
- состояние лунки поворотного стола (содержит деталь / не содержит деталь)
- значение флага запроса на поворот стола (установлен / сброшен)

В описании тестирующей станции участвуют локальные состояния, связанные с деталью.

- деталь в системе (да/нет);
- цвет детали (годный /негодный);
- высота детали (годная / негодная);

- признак «деталь годная» (да /не определено);
- признак «деталь бракованная» (да /не определено).

Начальные локальные состояния для обрабатывающей станции задаются таким образом:

- лунка в позиции L1 содержит деталь;
- лунки в позициях L2, L3, L4 не содержат деталей;
- дрель находится в верхнем положении;
- зажим отведен;
- проверочный стержень находится в верхнем положении;
- установлен флаг запроса поворота стола.

Во фрагменте «Действия» описываются действия, происходящие в системе. В их терминах описывается функционирование станции в рамках производственных правил.

В работе распределительной станции могут быть выделены следующие действия:

- выдвинуть выталкиватель
- втянуть выталкиватель
- переместить деталь из буфера в выходное место
- перенести транспортный рычаг на сторону распределительной станции
- перенести транспортный рычаг на сторону тестирующей станции
- включить вакуум присоски
- выключить вакуум присоски
- освободить выходное место
- включить деталь в состав деталей на тестирующей станции.

В работе обрабатывающей станции могут быть выделены следующие действия:

- повернуть стол
- сбросить флаг запроса поворота стола
- зажать деталь (иначе, подвести зажим)
- отвести зажим
- включить и опустить дрель
- поднять и выключить дрель
- опустить проверочный стержень
- поднять проверочный стержень
- убрать деталь из лунки в позиции L4

Каждое действие приводит к изменению одного или нескольких локальных состояний.

ChatGPT должен правильно сопоставлять каждое действие с теми изменениями локальных состояний, которые с ним связаны. Следует заметить, что в ChatGPT никаких явных указаний на этот счет не было сделано. И в большинстве случаев проблем с этим не возникало, за исключением проблем с флагом измерения высоты в тестирующей станции. Это было связано с тем, что двусмысленно и нечетко (с терминологической точки зрения) описан флаг измерения высоты в декларациях и в производственных правилах. После уточнения проблема исчезла. Следует отметить, что языковые модели очень чувствительны к качеству словесного описанию, поэтому надо быть предельно аккуратным.

Динамика функционирования станций определяется с помощью производственных правил. Производственное правило имеет следующую структуру: ЕСЛИ <Условие>, ТО <Действие>. Для модели распределительной станции было разработано 7 правил, для моделей тестирующей и обрабатывающей станций – 9 правил.

Ниже представлен фрагмент prompt, содержащий производственные правила функционирования распределительной станции:

Правило В1. ЕСЛИ число деталей, поставленных внешним производителем, больше нуля, ТО поместить деталь в буфер И, уменьшить число деталей, поставленных внешним производителем, на единицу.

Правило В2. ЕСЛИ буфер не пуст И, выталкиватель втянут И выходное место свободно, ТО выдвинуть выталкиватель, переместить деталь из буфера в выходное место.

Правило В3. ЕСЛИ выталкиватель выдвинут, ТО втянуть выталкиватель

Правило В4. ЕСЛИ выходное место содержит деталь И транспортный рычаг на стороне тестирующей станции И вакуум выключен, ТО перенести транспортный рычаг на сторону распределительной станции.

Правило В5. ЕСЛИ выходное место содержит деталь И транспортный рычаг на стороне распределительной станции И вакуум присоски выключен, ТО включить вакуум присоски.

Правило В6. ЕСЛИ транспортный рычаг на стороне распределительной станции И выходное место содержит деталь И вакуум присоски включен, ТО перенести транспортный рычаг на сторону тестирующей станции И освободить выходное место.

Правило В7. ЕСЛИ транспортный рычаг на стороне тестирующей станции И вакуум присоски включен, ТО выключить вакуум присоски, включить деталь в состав деталей на тестирующей станции.

Примечание: Правило называется разрешенным (или активным), если оно в данный момент имеет истинное условие.

С целью валидации модели и верификации системы для каждой из станций были разработаны вопросы, касающиеся динамических свойств. Все вопросы можно поделить на следующие классы:

- о возможности (или неизбежности) перехода детали в определенное состояние или в определенную позицию;
- о состоянии устройств и флагов при определенных условиях в системе;
- о перечислении порядка срабатывания правил для достижения специфицированного состояния или действия;
- о возможности несколько разрешенных правил;
- о возможности ситуации, когда ни одно из правил не является разрешенным;
- о детерминированности функционирования системы;
- о наличии конфликтных правил;
- о числе действий, выполняемых устройством;
- о возможности (или неизбежности) предшествования действия одного устройства по отношению к действию другого устройства;
- о возможности (или неизбежности) выполнения действия устройством при заданных условиях;
- о возможности (или неизбежности) перехода всех устройств в свои начальные состояния;
- о возможности (или неизбежности) перехода всех устройств в «обездвиженное» состояние (то есть, когда они потеряют возможность совершать какие-либо действия).

Следует отметить, что в вопросах фигурируют операторы временной логики «возможно» и «неизбежно».

Для проверки станций было выполнено следующее число запросов: для распределительной станции – 13; для тестирующей станции – 13; для обрабатывающей станции – 17.

Ниже представлен фрагмент *prompt*, содержащий некоторые из запросов к словесной модели тестирующей станции системы FESTO. В данной модели были установлены такие начальные условия, при которых цвет и высота детали годные, а устройства находятся в своих исходных состояниях.

1. При данном начальном состоянии, в результате функционирования системы, попадет ли деталь в класс годных деталей?
2. При данном начальном состоянии, перечисли последовательность правил, которая приводит к завершению обработки детали. Завершением обработки детали считается ситуация, когда ни одно из правил не является разрешенным.
3. Каково состояние выталкивателя по завершению обработки детали на тестирующей станции?
4. Каково состояние измерительного стержня по завершению обработки детали на тестирующей станции?
5. При данном начальном состоянии, в результате функционирования системы, может ли быть несколько разрешенных правил?
6. При данном начальном состоянии, в результате функционирования системы, сколько действий выполняет лифт?
7. Верно ли, что при заданном начальном состоянии, в процессе функционирования системы, действие выталкивателя предшествует действию лифта?
8. Верно ли, что при любых параметрах входной детали (цвет, высота) при заданных начальных состояниях устройств, неизбежно движение лифта вверх?
9. Верно ли, что при любых параметрах входной детали (цвет, высота) при заданных начальных состояниях устройств, все устройства тестирующей станции неизбежно придут в свои начальные состояния?
10. Верно ли, что при любых параметрах входной детали (цвет, высота) при заданных начальных состояниях устройств, все устройства тестирующей станции неизбежно перестанут двигаться?

В результате обработки запросов ChatGPT выдала следующие ответы. Ниже ответы представлены в формате <номер вопроса> - <ответ>: 1 – да; 2 – А2,А3,А5,А8,А6,А9; 3 – втянут; 4 – поднят; 5 – нет; 6 – 2; 7 – нет; 8 – нет; 9 – да; 10 – да. Все ответы оказались правильными. Проверка ответов также производилась на онтологической модели с использованием SPARQL-запросов и с использованием сетей Петри, описанных в работах [6-8].

В заключение следует отметить, что чат-бот ChatGPT полностью справился с решением тех задач, которые были определены. Как показали эксперименты, с его помощью можно производить моделирование и верификацию, по крайней мере, несложных систем. Он может выполнять логический вывод на продукционных правилах, а также выполнять алгоритмы, определенные на псевдокоде. Кроме того, он правильно интерпретирует операторы временной логики, что, однако, требует проверки на более сложных примерах. Следует также отметить, что начальная текстовая модель должна быть очень тщательно сформулирована, в ней не должно быть неточностей, двусмысленностей и противоречивых описаний, иначе ответы на вопросы могут быть некорректными.

Библиографический список

1. Ozdemir S. Quick Start Guide to Large Language Models: Strategies and Best Practices for Using ChatGPT and Other LLMs. - Addison-Wesley Professional. 2023. - 288 p.
2. Akhavan A., Jalali M.S. Generative AI and simulation modeling: how should you (not) use large language models like ChatGPT // System Dynamics Review, 40, May 2024. 27 P.
3. Dan Yu D., et al. Large Language Model for Verification: A Review and Its Application in Data Augmentation // Int. Conf. "Design and Verification" (DVCon-2024), San Lose, CA, USA, 2024. 8 p.
4. Huang J, Chang K.C.C. Towards Reasoning in Large Language Models: A Survey // Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2023. pp. 1049–1065.
5. FESTO Didactic [Электронный ресурс] – URL: <https://ip.festo-didactic.com/Infoportal/EN/index.html>.
6. Дубинин А.В., Дубинин В.Н. Онтологическое моделирование тестирующей станции производственной системы FESTO // В сборнике: Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы. сборник статей по материалам X Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2023. С. 388-391.

7. Дубинин А.В., Ручкин М.А., Дубинин В.Н. Моделирование производственных систем с использованием языка SPARQL // Сборник научных статей Международной научно-технической конференции "Современные информационные технологии", Пенза, 2023, вып. 38. С. 41-55.

8. Дубинин А.В., Дубинин В.Н. Онтологическое моделирование распределительной станции производственной системы FESTO с учетом динамики // Новые информационные технологии и системы (НИТиС-2024). Сборник научных статей по материалам XXI международной научно-технической конференции. Пенза, 2024.

УДК 004.8; ГРНТИ 28.23

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАМКАХ ПРОЦЕССА ЛОКАЛИЗАЦИИ ВИДЕОИГР

А.О. Сапрыкина, А.А. Яркович

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,
Российская Федерация, Рязань

Аннотация. В работе рассматриваются особенности использования искусственного интеллекта (ИИ) в процессе перевода и локализации видеоигр. Приводится определение ИИ, рассматривается история его развития, анализируются достоинства и недостатки современных искусственных нейронных сетей. Описывается структура нейросетей и их работа, включая этапы обработки данных и обучения. Характеризуются особенности применения нейросетей в локализации видеоигр.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейросеть, локализация, DeepL, Starfield.

FEATURES OF AI APPLICATION IN VIDEO GAME TRANSLATION WITHIN THE LOCALIZATION PROCESS

A.O. Saprikina, A.A. Yarkovich

Ryazan State University named after S.A. Yesenin,
Russian Federation, Ryazan

The summary. This paper discusses the peculiarities of using artificial intelligence (AI) in the translation and localization process of video games. It provides a definition of AI, examines its development history, and analyzes the advantages and disadvantages of modern artificial neural networks. The structure and functioning of neural networks are described, including data processing and training stages. The characteristics of applying neural networks in video game localization are also highlighted.

Keywords: artificial intelligence, neural networks, localization, DeepL, Starfield.

Искусственный интеллект (ИИ) представляет собой направление в области информатики, сосредоточенное на разработке систем, способных выполнять задачи, которые требуют умственных способностей, включая распознавание образов, принятие решений и обучение на основе информации. В самом общем понимании ИИ можно охарактеризовать как интеллектуальные способности, проявляемые машинами, особенно компьютерными системами.

Одно из наиболее известных определений ИИ было предложено Джоном Маккарти в 1956 году на семинаре в Дартмутском колледже:

"Искусственный интеллект — это наука и технология создания интеллектуальных машин, в особенности — интеллектуальных компьютерных программ" [3].

Термин "искусственный интеллект" был введен Джоном Маккарти и его коллегами во время семинара в Дартмуте в 1956 году. Это событие считается началом академической дисциплины ИИ. Исходная цель заключалась в том, чтобы исследовать возможности создания машин, способных выполнять функции, традиционно считающиеся интеллектуальными для человека, такие как решение задач и обучение. С тех пор область ИИ претерпела значительные изменения и расширения, включая разработку различных методов и технологий для достижения поставленных целей.

На данный момент полноценный искусственный интеллект (ИИ), также известный как общий ИИ (AGI), который мог бы выполнять любые интеллектуальные задачи на уровне человека, еще не существует. Современные системы ИИ, такие как нейронные сети и машинное обучение, демонстрируют высокую эффективность в узкоспециализированных задачах, но не обладают универсальными способностями, характерными для человеческого интеллекта. Илон Маск, известный предприниматель и инженер, высказал мнение о том, что к концу 2025 года ИИ-технологии могут превзойти человеческие способности [6]. Он отметил, что текущая проблема заключается в нехватке данных для обучения моделей ИИ, что препятствует созданию по-настоящему революционных систем AGI. Для преодоления этой проблемы предполагается использование синтетических данных, которые генерируются самими ИИ-системами. На сегодняшний день ИИ активно используется в различных отраслях, таких как финансы, здравоохранение и сельское хозяйство. К примеру, технологии искусственного интеллекта способствуют прогнозированию урожая и автоматизации различных процессов, что в свою очередь позволяет сократить затраты и увеличить эффективность работы. Однако эти системы все еще остаются специализированными и не обладают общей интеллектуальной способностью.

Современные ИИ и способы их реализации

Даже если говорить о нейросетях, активно используемых повсюду, то они не являются полноценными ИИ, а лишь способом реализации ИИ. Нейросети представляют собой алгоритмы, созданные для выполнения специфических задач, таких как распознавание изображений, обработка звука или генерация текста. Они функционируют по принципу, аналогичному работе нейронных связей в человеческом мозге, и могут обучаться на основе данных, что позволяет им адаптироваться и улучшать свои результаты с течением времени [2].

Несмотря на свои впечатляющие способности, нейросети не могут считаться полноценным искусственным интеллектом (ИИ) по нескольким причинам. Во-первых, они разрабатываются для выполнения конкретных задач и не обладают универсальными навыками. Например, нейросеть, обученная распознавать изображения котиков, не сможет выполнять задачи по обработке текста или звука. Во-вторых, нейросети не понимают контекст или значение информации так, как это делает человек; они просто обрабатывают данные на основе заранее заданных алгоритмов и весов, не обладая истинным осознанием. В-третьих, для обучения нейросетям требуется значительное количество данных, и они не могут самостоятельно генерировать новые знания или идеи без предварительных примеров. Наконец, нейросети не обладают самосознанием или способностью к абстрактному мышлению, что означает, что они не могут создавать новые концепции или идеи самостоятельно, а лишь комбинируют уже существующие данные.

Современные нейросети состоят из множества искусственных нейронов, организованных в слои, и обладают способностью обучаться на примерах, что позволяет им выявлять закономерности и принимать решения. Основная структура нейросети включает три ключевых слоя. Входной слой принимает данные, такие как изображения, текст или звуковые файлы, и передает их на следующий уровень. Затем информация обрабатывается в скрытых слоях, количество которых может варьироваться в зависимости от сложности задачи. Наконец, выходной слой выдает окончательный результат обработки данных.

Каждый нейрон в сети обрабатывает входные данные, применяя веса к сигналам, получаемым от других нейронов, что определяет значимость каждого входного сигнала. В процессе обучения нейросети корректируют эти веса с целью минимизации ошибок в предсказаниях. После обработки входных данных нейрон использует функцию активации для определения, будет ли он "активирован" и передаст ли сигнал дальше по сети, что позволяет принимать нелинейные решения. Обучение нейросетей происходит на больших объемах данных и включает подачу обучающего набора, где каждому примеру соответствует правильный ответ.

Также стоит отметить этический вопрос. С развитием технологий искусственного интеллекта (ИИ) возникают важные этические вопросы, касающиеся их применения в различных сферах. Одним из ключевых аспектов является влияние автоматизации на рынок труда, так как внедрение ИИ может привести к сокращению рабочих мест для специалистов, таких как переводчики и редакторы. Также существует риск предвзятости в алгоритмах, поскольку нейросети обучаются на больших объемах данных, содержащих стереотипы и предвзятости, что может негативно сказаться на качестве перевода и восприятии контента. Прозрачность алгоритмов ИИ также является важным вопросом: пользователи должны понимать, как работают системы и какие данные используются для их обучения. Кроме того, обработка больших объемов данных вызывает опасения по поводу конфиденциальности и безопасности личной информации. Важно учитывать этические нормы при разработке ИИ-систем, чтобы минимизировать негативные последствия и обеспечить ответственное использование технологий [4].

Применение нейросетей в процессе перевода и локализации видеоигр

На данный момент нейросети активно используются в локализации видеоигр, и их применение становится все более популярным. Однако важно отметить, что нейросети не всегда могут полностью заменить человеческий перевод, особенно в контексте сложных игровых сценариев. Одним из ярких примеров является локализация проекта Starfield выполненная с использованием нейросети DeepL. Энтузиасты из сообщества Zone of Games использовали DeepL для перевода всех игровых диалогов. Остальные текстовые элементы игры пока находятся в процессе доработки. Это позволяет значительно ускорить процесс локализации по сравнению с традиционными методами, которые требуют больше времени и ресурсов.

Сама же DeepL — это высококачественный сервис машинного перевода, который был запущен в 2017 году компанией DeepL GmbH. Он быстро завоевал популярность благодаря своей способности предоставлять точные и естественные переводы, что делает его идеальным инструментом для переводчика [1]. DeepL обладает рядом ключевых особенностей, которые делают его эффективным инструментом для перевода. Он использует современные нейронные сети, что позволяет системе обрабатывать текст с учетом контекста, обеспечивая более точные и плавные переводы по сравнению с традиционными методами. Одной из самых значимых характеристик DeepL является его способность учитывать контекст при переводе, что особенно важно для языков с богатой грамматикой и нюансами, делая переводы более естественными.

Кроме того, DeepL поддерживает множество языков, включая английский, немецкий, французский, испанский и итальянский, что делает его универсальным инструментом для пользователей по всему миру. Платформа предлагает интуитивно понятный интерфейс, позволяющий легко вводить текст или загружать документы для перевода, а также настраивать стиль и тональность переводов. Наконец, DeepL предоставляет API для разработчиков, который можно интегрировать в различные приложения и сервисы, что позволяет автоматизировать процессы перевода и улучшить рабочие процессы в бизнесе.

Этим и был обусловлен выбор DeepL. В отличие от других систем машинного перевода, таких как Google Translate, DeepL часто показывает более естественные и точные результаты, что особенно важно для игр с богатым сюжетом и диалогами.

Сам процесс включал следующие этапы.

1. Сбор данных: вся текстовая информация из игры была собрана для последующего перевода.
2. Перевод с использованием DeepL: с помощью API DeepL тексты были автоматически переведены на русский язык. Это позволило значительно ускорить процесс по сравнению с традиционными методами локализации.

3. Редактирование: полученные переводы были проверены и доработаны профессиональными переводчиками, чтобы учесть культурные нюансы и специфические термины, характерные для игрового контекста.

Использование DeepL в процессе локализации Starfield позволило достичь высокой степени точности перевода, что положительно сказалось на восприятии игры русскоязычными игроками. По сравнению с предыдущими проектами, где использовались менее эффективные методы локализации, результаты работы с DeepL продемонстрировали значительное улучшение качества текста. Так же это позволило выделить следующие положительные и негативные стороны:

Преимущества

- **Скорость:** автоматизированный перевод значительно ускоряет процесс локализации.
- **Качество:** нейросети обеспечивают более точный перевод по сравнению с традиционными методами.
- **Экономия ресурсов:** снижение затрат на локализацию позволяет разработчикам выделять больше средств на другие аспекты разработки игры.

Недостатки

- **Ограничения контекста:** нейросети могут не всегда правильно интерпретировать сложные фразы или культурные нюансы.
- **Необходимость редактирования:** автоматический перевод требует последующей проверки и редактирования профессиональными переводчиками.

Применение нейросетей, таких как DeepL, в процессе локализации видеоигр открывает новые возможности для разработчиков и переводчиков. Пример Starfield демонстрирует эффективность автоматизированного перевода при условии его последующей доработки специалистами. Несмотря на существующие ограничения, использование нейросетей в локализации продолжает развиваться и может значительно улучшить качество и скорость перевода в будущем [5].

Библиографический список

1. DeepL GmbH. Как работает DeepL [Электронный ресурс] / DeepL GmbH. – 2021. – Режим доступа: <https://www.deepl.com/en/blog/how-does-deepl-work>. – Дата доступа: 26.02.2025.
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. Deep Learning / – Кембридж: MIT Press, 2016. – 775 с.
3. McCarthy, J. Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence [Электронный ресурс] / J. McCarthy – 1956. – Режим доступа: <https://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>. – Дата доступа: 26.02.2025.
4. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., N. et al. Attention is All You Need / Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N. // Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS). – 2017.
5. Канобу. Перевод Starfield на основе DeepL [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://kanobu.ru/news/55191/>. – Дата доступа: 26.02.2025.
6. Илон Маск. Твит о развитии ИИ [Электронный ресурс] / И. Маск. – 23.12.2024. – Режим доступа: <https://x.com/elonmusk>. – Дата доступа: 26.02.2025.

УДК 004.896; ГРНТИ 20.23.17

СКВОЗНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

И.С. Филиппин*, А.В. Осокин**

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, coppeliusanx@gmail.ru,

**Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета,
Российская Федерация, Рязань, torn_78@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы повышения возможности реализации сквозной интеграции различных систем управления нормативно-справочной информацией, использующихся на различных производствах, включенных в состав современных отечественных PLM-систем. Выделяются преимущества работы предложенного способа объединения данных систем.

Ключевые слова: нормативно-справочная информация, САПР, управление производством, PLM, краудсорсинг.

END-TO-END INTEGRATION OF VARIOUS REGULATORY INFORMATION MANAGEMENT SYSTEMS

I.S. Filippin*, A.V. Osokin**

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, coppeliusanx@gmail.ru,

**Ryazan Institute of Moscow Politechnic University, Russia, Ryazan, torn_78@mail.ru

The summary. The issues of increasing the possibility of implementing end-to-end integration of various regulatory information management systems used in various industries included in modern domestic PLM-systems are considered. The advantages of the proposed method of combining these systems are highlighted..

Keywords: regulatory reference information, CAD, production management, PLM, crowdsourcing.

В настоящее время, имеется в наличии тенденция, когда на предприятиях используются параллельно несколько систем управления нормативно-справочной информацией (далее – НСИ) [1]. Так получилось, что вместе с внедрением новых PLM-систем, особенно в условиях импортозамещения, компаниям приходится поддерживать и предыдущие НСИ, до момента полного перевода данных из одной информационной системы (далее – ИС) в другую. Также, следует учесть, что в крупных корпорациях может существовать, помимо общей ИС используемой всеми дочерними общества, свои собственные системы, применяемые на каждом предприятии в связи с тем, что вхождение их в общий консорциум происходит не одновременно. В итоге из-за этого обнаруживается, что вместо преимуществ, которые приносит цифровизация, получают проблемы в области хранения и анализа данных. При этом, следует заметить, что грамотно построенная система НСИ нужна для корректного планирования своей работы любой производственной компании.

Интеграция в промышленных комплексах информатизации - явление далеко не новое. Отечественные системы автоматизированного проектирования (далее - САПР) сейчас сочетают в себе разнообразные комбинации CAD/CAE, CAD/CAM и CAD/CAE/CAM, с которыми совместно совершенствуются системы управления данными об изделиях (далее – PDM) [2].

Основное назначение PDM-технологий, чтобы сделать информационные процессы открытыми и управляемыми – это реализуется при помощи увеличения доступности для участников жизненного цикла изделия с помощью их объединения в единую информационную модель (рисунок 1).

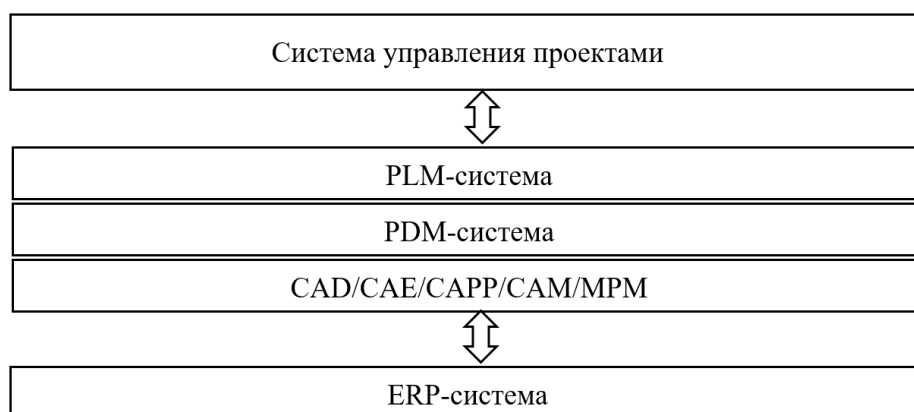


Рис. 1. Интегрированная PLM-система на основе PDM

Приведем примеры наиболее часто применяемых программных продуктов, используемых для систем НСИ и управления инженерными данными [3, 4] и приведем их в таблице 1:

Таблица 1. Программные продукты, наиболее часто используемые для систем НСИ

Наименование программного продукта	Описание	Веб-клиент
ЛОЦМАН:PLM	Система управления данными и ЖЦ изделия выполняет координирующую роль в рамках программного комплекса АСКОН. Представляет собой платформу, которая включает в себя базовые инструменты и прикладные модули.	Есть
ПОЛИНОМ:MDM	Решение, позволяющее управлять НСИ промышленного предприятия, с возможностью применения единых инструментов и методов для работы с данными.	Есть
Союз-PLM	Программный комплекс для широкого спектра задач управления инженерной технической информацией. Предназначен для применения на предприятиях любого масштаба.	Есть
T-FLEX DOCs	система предназначена для комплексного управления инженерными данными предприятия, а также решения задач конструкторско-технологического и организационно-распорядительного документооборота. Служит основой для реализации концепции PLM.	Есть

Все перечисленные системы, кроме хранения данных, объединяет возможность использования WEB-интерфейса. Соответственно, основываясь на анализе изложенных выше фактов, можно создать единую систему управления НСИ путем объединения вывода информации с этих ресурсов на одну веб-страницу или веб-сайт (рисунок 2).

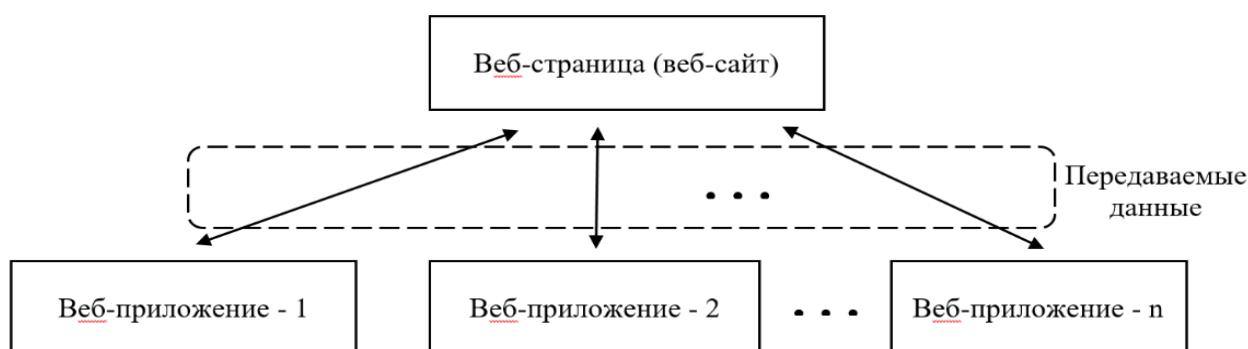


Рис. 2. Схема работы интерфейса для систем управления НСИ

Сам поиск и вывод информации можно использовать по всем программным комплексам, применяемым на предприятии или по какому-то одному, для удобства пользователя. При этом экран можно делить на несколько составляющих частей по количеству баз НСИ или сделать в качестве вкладок на одном окне.

В итоге, при реализации предложенной концепции, появляется возможность работы с разными системами одновременно, что уменьшает временные затраты в целом.

Следует заметить, что список программных продуктов упомянутых в таблице 1 можно существенно расширить, так как использование веб-интерфейса подключить буквально любое решение к данной структуре и оно необязательно может быть отечественного производства. Этот момент является еще одним плюсом для данного подхода.

Следует упомянуть про возможности дальнейшего развития предложенной системы. Оно может пойти как по пути применения механизмов краудсорсинга с целью наполнения и поддержки баз НСИ, так и с использованием облачных сервисов.

В качестве примера реализации концепции краудсорсинга для развития систем в основе которых лежат информационные базы данных можно привести онлайн-площадку форума «Сильные идеи для нового времени». Данный краудсорсинговый проект, организованный в 2020 году Агентством стратегических инициатив, собрал в себя все самое лучшее с начала развития направления проектов по сбору идей в России начиная с 2010 года. Более того он постоянно совершенствуется и проводится на ежегодной основе и соответственно можно говорить о возможности его применения для обучения проектной деятельности и такие практики в нашей стране уже есть [5].

По поводу использования облачных сервисов, можно упомянуть площадку «МТС FOG PLAY». К несравненным плюсам этого сервиса можно отнести то, что он может работать на «слабых» персональных компьютерах за сравнительно небольшую почасовую оплату – от 13 руб/ч (таблица 2). Предложенная технология относится к категории туманного гейминга. Основная особенность – это то, что в качестве серверов используются компьютерная техника других пользователей. Таким образом, если в последствии появятся свободные вычислительные мощности, то их можно предоставить, получая при этом доход с площадки, не устанавливая самостоятельно программного обеспечения пользователя. Сам сервер восстановится до предоставленного состояния после работы на нем после перезагрузки. Данные при этом могут сохраняться в облаке от МТС – «МТС Вторая Память».

Таблица 2. Примеры серверов сервиса МТС FOG PLAY

Наименование сервера	Описание сервера	Стоимость, руб/ч
10192X13	Процессор: Intel(R) Core™ i9-14900K Видеокарта: NVIDIA GeForce RTX 4060 Ti 16109 Мб Оперативная память: 32 Gb	75
6D6X21	Процессор: 13 th Gen Intel® Core™ i5-13400F Видеокарта: NVIDIA GeForce RTX 4070 SUPER 11999 Мб Оперативная память: 32 Gb	55
198CX5	Процессор: 12 th Gen Intel® Core™ i5-12400 Видеокарта: NVIDIA GeForce RTX 4060 Ti 16109 Мб Оперативная память: 32 Gb	38
11FF9X5	Процессор: Intel(R) Xeon® CPU E5-2670 v2 @ 2.5GHz Видеокарта: NVIDIA GeForce RTX 2060 SUPER 8006 Мб Оперативная память: 32 Gb	13

Соответственно можно предположить, что возможно использование различных ИС и САПР, если они будут присутствовать на площадке сервиса.

В целом, интеграция и совместное использование различных систем управления НСИ имеет высокий потенциал для внедрения и использования на практике, так позволяют произ-

водственным предприятиям сокращать затраты на закупку и внедрение PLM-платформ и при этом совместно работать с глобальными корпоративными проектами используя в случае облачных сервисов менее мощную компьютерную технику.

Библиографический список

1. Фортун, Е. С. Преимущества внедрения единой системы нормативно-справочной информации / Е. С. Фортун, А. Ю. Гуляев, А. С. Галаев // Решетневские чтения. – 2013. – Т. 2. – С. 162-164
2. Покатаева, Е. Цифровое предприятие: битва сетевых платформ Обзор. Часть 3 / Е. Покатаева // Станкоинструмент. – 2018. – № 4(13). – С. 56-66.
3. Салтыкова, Н. В. Анализ рынка PLM систем / Н. В. Салтыкова, Н. Г. Ераскин // Вестник Калужского университета. – 2021. – № 2(51). – С. 114-116.
4. Калимуллина, Э. Р. Анализ и сравнение отечественных PDM систем / Э. Р. Калимуллина, А. Ф. Валиахметов // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2016. – № 2(15). – С. 61-65.
5. Осокин, А. В. Обучение по проектной деятельности в вузах на основе Форума «Сильные идеи для нового времени» / А. В. Осокин // Перспективы цифровой трансформации образования : Материалы III Национальной научно-практической конференции, Рязань, 20–21 июня 2024 года. – Рязань: Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина, 2024. – С. 184-186.

УДК 004.942; ГРНТИ 28.17.31

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ КЛИЕНТОВ

А.Д. Кошелев, М.С. Кошелева

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, adkoshelev98@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается концепция цифрового двойника, а также возможность её применения в моделирование бизнес-процессов, в частности в персонализации клиентов. Даются рекомендации по созданию цифрового двойника клиента. Описываются преимущества использования синтетических данных и возможные проблемы. Показано, что применение концепции цифрового двойника клиента позволяет персонализировать маркетинговые кампании и улучшить обслуживание клиентов.

Ключевые слова: цифровой двойник, персонализация, цифровой двойник клиента, CJO, синтетические данные.

USING DIGITAL TWINS IN CUSTOMER PERSONALIZATION

A.D. Koshelev, M.S. Kosheleva

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, adkoshelev98@gmail.com*

Abstract. This work presents the concept of a digital twin, and the possibility of its application in the modeling of business processes, particularly in customers personalization.

Recommendations are given for creating a digital twin of the customer. This article describes the advantages of using synthetic data and possible problems. It is shown that the application of concept of a digital twin of the customer allows to personalize marketing campaigns and improve customers service.

Keywords: digital twin, personalization, customer digital twin, CJO, synthetic data.

Введение

Цифровой двойник (ЦД, digitaltwins) – виртуальный аналог реального объекта, группы объектов или процессов, созданный на основе данных, получаемых на стадии разработки и изготовления продукта, а также во время всего его жизненного цикла при помощи многочисленных датчиков.

Концепция начала развиваться в производственной сфере. Она использовалась для имитации различных ситуаций, позволяющих в последствии подбирать наиболее адекватные сценарии проведения технических систем, машин или процессов в целях контроля качества и предотвращения сбоев.

Применение ЦД в промышленности дает ряд преимуществ, в том числе:

– улучшение качества разработки за счет выявления потенциальных проблем еще на этапе проектирования, что существенно снижает затраты на доработку изделия или процесса;

– увеличение срока службы оборудования за счет возможности прогнозировать отказы оборудования и своевременно проводить профилактическое обслуживание, что снижает риски простоев и поломок;

– оптимизация использования ресурсов (энергия, вода и сырье).

Благодаря стремительному развитию искусственного интеллекта и Интернета вещей, цифровые двойники получили широкое распространение за пределами промышленности. В частности, наблюдается тенденция использования ЦД в моделировании бизнес-процессов, а именно в персонализации клиентов.

Персонализация

Персонализация (personalization) – процесс адаптации продукции и услуг компании к определённой, достаточно узкой целевой аудитории или отдельным клиентам. Для этого в продукцию вносят необходимые конструктивные и дизайнерские решения, формируют для клиентов специальные условия и предложения (например, по кредитам, вкладам или условиям обслуживания).

Главная задача персонализации заключается в создании у клиента ощущения, что изделие разрабатывалось специально для него и удовлетворяет его личные потребности. Для этого компании производят непрерывную актуализацию состояния профилей клиентов, включая отслеживание изменений их интересов и поведения с целью формирования бизнес-правил, позволяющих повысить эффективность работы компании, вырабатывать новые бизнес-стратегии в изменяющихся условиях рынка.

Выделяют массовую и предсказательную персонализацию. В первом случае в продукцию изначально закладывается возможность его изменения клиентом под свой вкус (например, возможность замены панели мобильного телефона на другой цвет, изменения высоты кресла и т.д.). Суть предсказательной персонализации заключается в определении особенностей потребительского поведения и потребностей клиентов, чтобы предлагать именно то, что им нужно (или, наоборот, избегать предложений того, что может вызвать негативную реакцию).

Как правило, персонализация востребована малым бизнесом, способным более внимательно отнестись к запросам узких групп потребителей. Крупные компании ориентированы на продажу товаров или услуг для широкой целевой аудитории, так как проще и дешевле выпустить товар или услугу для большого сегмента рынка, чем создавать товар под каждого конкретного клиента, следовательно, таким предприятиям сложнее обеспечить персонализацию.

Недостатком персонализации является удорожание услуг и продуктов, что может снизить их конкурентоспособность с точки зрения широкой целевой аудитории. В то же время персонализация позволяет заинтересовать покупателя продуктом, созданным по его особому заказу. Поэтому на высококонкурентных рынках большие организации вынуждены использовать технологии, позволяющие совместить массовое производство с персонификацией.

Персонализация включает разные технологии для сбора, классификации, анализа, передачи и масштабируемости данных, например, платформы управления данными или управления взаимоотношениями с клиентами [3].

Платформа управления данными (Data Management Platforms, DMP) – это централизованная вычислительная система для сбора, интеграции и управления большими наборами структурированных и неструктурированных данных из разрозненных источников. Персонализированный маркетинг, поддерживаемый DMPs, продается рекламодателям с целью обеспечения потребителей актуальными, своевременными, персонализированными сообщениями и рекламой, которые соответствуют их уникальным потребностям.

Платформы управления взаимоотношениями с клиентами (Customer Relationship Management Platforms, CRM) предназначены для сбора информации о клиентах по различным каналам (точкам контакта между клиентом и компанией), которые могут включать веб-сайт компании, оперативную поддержку, прямую почтовую рассылку, и социальные сети, а также для улучшения деловых отношений с клиентами, содействия удержанию клиентов и стимулирования роста продаж

В последнее время, в качестве инструмента персонализации клиентов, набирает популярность цифровой двойник клиента.

Цифровой двойник клиента

Цифровой двойник клиента (ЦДК) – это виртуальное представительство, цифровой аватар клиента или группы клиентов. С его помощью можно изучать предпочтения потенциальных клиентов, моделировать их поведение и результаты работы.

ЦДК могут использоваться для самых разных целей в бизнес-аналитике [2], основная из которых оптимизация пути клиента CJO (Customer JourneyOrchestration) – процесс улучшения взаимодействия клиента с компанией на всех этапах его жизненного цикла.

CJO основывается на машинном обучении [1] и предназначен для направления клиентов к событию конверсии на основе исторических данных, объединенных с текущими, а также схожих моделей поведения при маркетинговых действиях. Со временем система CJO позволяет выявить, что лучше всего подходит для определенных ситуаций, и реагирует соответствующим образом. CJO часто применяет результаты обучения к цифровым представлениям клиентов, прежде чем предоставить отдельному клиенту следующие наилучшие рекомендации для совершения покупки.

Используя цифровой двойник клиента маркетологи могут:

- создавать персонализированные сообщения и предложения для каждого отдельного клиента, а не заставлять их идти по заранее определенному пути, предложенному компанией. ЦД могут быть включены в сценарии CJO, чтобы предоставить реальным клиентам наилучший план действий, основанный на сочетании профилей и поведения других клиентов;

- понять, насколько новый продукт или услуга будет интересен целевой аудитории за счет использования ЦДК для оценки новшеств до их запуска и продвижения.

Рекомендации по созданию цифрового двойника клиента

Первоначальный шаг – определение плана того, как будет использоваться ЦДК, какие данные необходимы (органические и синтетические) и какова конечная цель (она должна отвечать двум критериям: повышение эффективности бизнеса и улучшение качества обслуживания клиентов).

Профили клиентов должны храниться в общедоступной среде данных для использования более широким кругом бизнеса. Кроме того, компании должны учитывать и понимать проблемы конфиденциальности данных и кибератак, поскольку имитация данных и среды увеличивает юридические и регуляторные риски [4].

Для разработки цифрового двойника клиента необходимо привлекать высококвалифицированных специалистов, способных создавать различные типы аналитических моделей, включая модели на основе искусственного интеллекта или машинного обучения.

Использование синтетических данных в ЦДК

Исходные данные и данные сторонних организаций, собранные с их фирменных сайтов и других источников, являются основой профиля клиента. Поскольку эти данные могут устаревать и их становится все труднее получить, организации должны иметь возможность сами генерировать данные для создания и расширения виртуальных профилей клиентов. Такие данные называются синтетическими (СД).

Генерация СД используется для заполнения пропусков в данных, а также их обогащения. Моделируя один полный профиль клиента, на основе данных похожего двойника, синтетическая генерация позволяет использовать аналогичное моделирование для персонализации и таргетинга.

В качестве возможных проблем, возникающих в процессе создания цифрового двойника клиента с использованием СД, можно выделить:

– недостаток понимания и доверия – многие организации и потребители не понимают, что такое синтетические данные и как они могут быть использованы в маркетинге. Это приводит к недоверию и нежеланию компаний делиться своими данными;

– сложность создания реалистичных и полезных СД – генерация синтетических данных, которые будут отражать реальные характеристики и поведение целевой аудитории, является сложной задачей. Существующие методы часто приводят к созданию данных, которые не соответствуют реальности или не подходят для использования;

– необходимость обеспечения конфиденциальности и безопасности данных – СД должны быть защищены от несанкционированного доступа и использования. Организации должны разработать и внедрить надежные меры безопасности, чтобы обеспечить конфиденциальность данных своих клиентов.

Заключение

Цифровые двойники – это концепция, позволяющая в режиме реального времени отслеживать состояние физического объекта (процесса или системы), прогнозировать его поведение и оптимизировать работу, за счет использования данных, получаемых на стадиях всего его жизненного цикла.

В последнее время, за счет повсеместного внедрения искусственного интеллекта и Интернета вещей, наметилась тенденция использования ЦД в моделирование бизнес-процессов, в частности, в персонализации клиентов.

Цифровой двойник клиентов – это мощный инструмент совершенствования бизнес-процессов, призванный помочь организациям лучше понимать своих потребителей, персонализировать маркетинговые кампании, следовательно, повысить конверсию и лояльность клиентов.

Синтетические данные открывают новые возможности для персонализации и улучшения взаимодействия с клиентами. Преодолев проблемы, связанные с доверием, созданием реалистичных и полезных данных, а также обеспечением конфиденциальности и безопасности, организации могут использовать синтетические данные для принятия более эффективных и успешных решений.

Библиографический список

1. Корячко, В.П. Интеллектуальные системы и нечеткая логика: учебник / В.П. Корячко, М.А. Бакулева, В.И. Орешков. — М.: КУРС, 2020. — 352 с.
2. Паклин, Н.Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям: учебное пособие / Н.Б. Паклин, В.И. Орешков. - 2-е изд., доп. и перераб.— СПб: Питер, 2013. — 704 с.
3. Сабурова, М.М. Маркетинговые коммуникации (теория, управление, практика): учебное пособие / М. М. Сабурова. — 2-е изд., перераб, и доп. — Ульяновск: УлГТУ, 2017. — 192 с.
4. Стариковская, Н.А. Цифровой бизнес и сквозные цифровые технологии: теория и практика: учебное пособие / Н.А. Стариковская, А.И. Стариковский, М.В. Куш. — Москва: РГУ МИРЭА, 2022 — Часть 1 — 2022. — 259 с.

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ»

УДК 621.317.39.084.2; ГРНТИ 29.35

АНАЛИЗ МЕТОДИЧЕСКОГО ДОКУМЕНТА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СТЕНДА ПРОВЕРКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ФСТЭК

В.В. Ни

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Российская Федерация, Томск, nivladislav350@mail.ru*

Аннотация. В работе проводится анализ методики ФСТЭК России. На основе анализа описан алгоритм, по которому должен работать стенд для проверки ПО перед вводом в эксплуатацию.

Ключевые слова: информационная безопасность, стенд, обновления.

ANALYSIS OF A METHODOLOGICAL DOCUMENT FOR THE DEVELOPMENT OF A SOFTWARE TESTING STAND FOR COMPLIANCE WITH FSTEC REQUIREMENTS

V.V. Ni

*The National Research Tomsk State University,
Russia, Tomsk, nivladislav350@mail.ru*

The summary. The paper analyzes the methodology of the FSTEC of Russia. Based on the analysis, an algorithm is described, according to which the stand for checking software before putting it into operation should work.

Keywords: information security, stand, updates.

В условиях современного информационного общества, где безопасность данных и систем становится приоритетной задачей, методики оценки и проверки программного обеспечения играют ключевую роль. В частности, методика ФСТЭК России предлагает ряд процедур, направленных на обеспечение безопасности обновлений программного обеспечения. В данной статье мы рассмотрим шесть ключевых этапов проверки обновлений безопасности, предложенных ФСТЭК, и их важность для создания стенда проверки ПО перед внедрением в информационные системы компании.

Одна из основных задач верификации программного обеспечения для автоматизированных рабочих мест заключается в проверке его правильной работы в соответствии с заранее определенными требованиями, функциональностью и безопасностью. Важно проводить проверку не только отдельных компонентов и модулей программ, но и их взаимодействия, чтобы обеспечить стабильную и безопасную работу системы в целом. Проверка должна проходить в соответствии с методикой тестирования обновлений безопасности программных, программных и программно-аппаратных средств, утвержденный Федеральной службой по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) России от 28 октября 2022 г. [1].

Методика тестирования

Согласно методике, утвержденной ФСТЭК, необходимо провести следующие тесты:

- 1) сверка идентичности обновлений безопасности (T001);
- 2) проверка подлинности обновлений безопасности (T002);
- 3) антивирусный контроль обновлений безопасности (T003);
- 4) поиск опасных конструкций в обновлениях безопасности (T004);
- 5) мониторинг активности обновлений безопасности в среде функционирования (T005);

б) ручной анализ обновлений безопасности (T006).

Дополнительно могут проводиться тесты, утвержденные во внутренних документах компании.

В данных процедурах тесты проводятся исследователем по его усмотрению, учитывая доступность обновлений безопасности различными способами и/или из разных источников в открытом (дешифрованном) виде, а также учитывая его способности расшифровать обновления безопасности и наличие необходимых инструментов анализа и других технических средств. После завершения тестирования исследователь подробно описывает результаты каждого проведенного теста. Если в процессе проведения теста исследователь обнаруживает признаки несанкционированных возможностей, их следует дополнительно проанализировать путем ручного изучения обновлений безопасности. Следующий шаг — оператор информационной системы принимает решение о возможности установки обновления безопасности на основе результатов проведенных исследователем тестов в соответствии с установленной последовательностью.

Рассмотрим этапы по отдельности.

Сверка идентичности обновлений безопасности (T001) является первым и одним из наиболее критически важных этапов в методике ФСТЭК для обеспечения безопасности программного обеспечения. Этот процесс направлен на подтверждение подлинности и целостности обновлений, что крайне необходимо для защиты информационных систем от возможных угроз. В данном анализе мы рассмотрим ключевые аспекты данного этапа и предложим рекомендации по его реализации на стенде проверки готового ПО.

Проверка подлинности обновлений безопасности (T002) является важным этапом в методике ФСТЭК, направленным на подтверждение того, что обновления, которые будут применяться к программному обеспечению, действительно являются официальными и не содержат вредоносных модификаций.

Антивирусный контроль обновлений безопасности (T003) предусматривает обязательный антивирусный контроль. Перед установкой, все обновления сканируются на наличие вирусов и других угроз. Главная цель — предотвратить заражение и сохранить целостность системы, гарантируя безопасность установки обновлений.

Поиск опасных конструкций в обновлениях безопасности T004 представляет собой важный процесс, направленный на выявление потенциально опасных или уязвимых конструкций в обновлениях программного обеспечения. Этот этап обеспечивает дополнительный уровень безопасности и защиты информационных систем от внедрения уязвимостей, которые могут быть использованы злоумышленниками.

Мониторинг активности обновлений безопасности в среде функционирования T005 направлен на обеспечение контроля за установкой и функционированием обновлений безопасности в информационных системах. Данный процесс позволяет поддерживать безопасность и целостность программного обеспечения, а также своевременно реагировать на потенциальные угрозы.

Ручной анализ обновлений безопасности T006 — это важный этап оценки и проверки их безопасности перед применением к программному обеспечению. Он позволяет выявлять потенциальные уязвимости и риски, обеспечивая корректную работу системы после установки обновлений.

Мероприятия для обеспечения безопасности

Для обеспечения безопасности и эффективности процесса обновления программного обеспечения предлагается комплексный подход, включающий следующие мероприятия:

1) Мониторинг и анализ:

– Развертывание систем обнаружения вторжений (IDS) для мониторинга подозрительной активности.

- Регулярная генерация отчетов о состоянии обновлений, их влиянии на систему и критических событиях (с уведомлением ответственных сотрудников).

- Автоматизированный сбор метаданных установленных обновлений (дата, версия, описание) и интеграция с системами управления конфигурацией.

- Использование инструментов анализа производительности для оценки воздействия обновлений (до и после установки). Мониторинг аномалий в работе ПО после обновлений и автоматическое реагирование на них.

- Разработка шаблонов отчетов о состоянии обновлений и их влиянии на систему (с возможностью автоматической и по запросу генерации).

- Тщательное изучение документации и релиз-нотов, предоставленных разработчиками обновлений, с анализом известных уязвимостей и исправлений.

2) Тестирование и оценка рисков:

- Создание изолированной тестовой среды, точно отражающей рабочую систему.

- Использование инструментов статического и динамического анализа кода обновлений.

- Разработка и проведение ручного тестирования обновлений, включая проверку функциональности, безопасности, совместимости с существующими компонентами и выявление потенциальных конфликтов.

- Оценка вероятности и последствий выявленных рисков, с подготовкой рекомендаций по минимизации рисков и планом действий в случае возникновения проблем.

- Ведение подробной отчетности о проведенном анализе, выявленных рисках и рекомендациях, а также создание базы знаний для будущих обновлений.

3) Администрирование и Обучение:

- Разработка удобного административного интерфейса для инициирования проверок обновлений и просмотра результатов.

- Проведение обучения персонала по методам ручного анализа обновлений и использованию инструментов тестирования, с регулярным обновлением знаний о новых угрозах и методах защиты.

- Регулярный аудит процесса ручного анализа обновлений для выявления недостатков и улучшения методик, с внедрением механизмов обратной связи.

Данный подход обеспечивает комплексный и многоуровневый контроль за процессом обновления ПО, минимизируя риски и повышая общую безопасность информационной системы.

Реализация стенда

Далее предлагается вариант реализации стенда для всесторонней проверки безопасности обновлений программного обеспечения, основанная на автоматизированных методах анализа и контроля. Цель стенда – обеспечение надежной защиты информационных систем от угроз, связанных с установкой обновлений.

1) Автоматизированная верификация подлинности:

Стенд включает автоматизированную систему проверки целостности и подлинности обновлений. Это достигается за счет:

- Автоматизированной проверки цифровых подписей и хэш-сумм: Разработаны скрипты (или используются специализированные инструменты) для автоматической проверки цифровых подписей (например, RSA или ECDSA) и хэш-сумм (например, SHA-256) обновлений. Эти скрипты интегрированы в CI/CD pipeline, обеспечивая автоматическую проверку перед внедрением;

- Проверка источников: скрипты и инструменты автоматизируют проверку источников обновлений. Проверяется соответствие URL-адреса загрузки обновления официальным

адресам производителя. Реализован механизм фильтрации и проверки источников, предотвращающий загрузку обновлений из ненадежных источников;

– База данных проверенных обновлений: создана база данных, хранящая информацию о проверенных обновлениях (версия, хэш-сумма, дата проверки, статус);

2) Антивирусный контроль:

Стенд оборудован надежным антивирусным ПО, выбранным на основе эффективности, частоты обновления баз данных и совместимости с операционной системой. Реализованы следующие функции:

– Автоматическое сканирование: все загружаемые обновления автоматически сканируются на наличие вирусов и вредоносных компонентов перед установкой. Настроено сканирование в реальном времени для минимизации задержек;

– Обработка и анализ результатов: создана система обработки и анализа результатов сканирования, включающая классификацию угроз и принятие решений о дальнейших действиях (блокировка, изоляция);

– Интеграция в CI/CD: антивирусные проверки интегрированы в CI/CD процессы, гарантируя проверку всех обновлений перед внедрением.

3) Анализ кода:

Для выявления потенциально небезопасных конструкций используется комбинированный статический и динамический анализ кода:

– Статический анализ: применяются инструменты статического анализа для проверки на наличие известных уязвимостей (SQL-инъекции, переполнение буфера и др.). Используются шаблоны угроз для автоматического обнаружения распространенных уязвимостей.

– Динамический анализ: в дополнение к статическому анализу, на стенде реализован динамический анализ кода для выявления уязвимостей во время выполнения.

– Анализ зависимостей: проводится анализ зависимостей обновлений на наличие известных уязвимостей в сторонних библиотеках и компонентах, используя базы данных уязвимостей (например, CVE).

– Оценка рисков: разработана методология оценки рисков, связанная с внедрением обновлений, включающая классификацию рисков по уровням критичности.

4) Мониторинг и логирование:

Стенд обеспечивает комплексный мониторинг и логирование:

– Журналирование: ведется журнал всех установленных обновлений (дата, версия, описание изменений). Используются автоматизированные инструменты для регистрации событий.

– Анализ производительности: проводится анализ влияния обновлений на производительность системы и функционирование приложений.

– Обнаружение аномалий: разработаны механизмы обнаружения аномальной активности, связанной с обновлениями (сбои, попытки несанкционированного доступа).

Заключение

Проведенный анализ методики ФСТЭК по проверке безопасности обновлений программного обеспечения демонстрирует необходимость комплексного подхода, включающего шесть ключевых этапов: верификацию подлинности (T001), проверку аутентичности (T002), антивирусный контроль (T003), поиск опасных конструкций (T004), мониторинг активности (T005) и ручной анализ (T006). Каждый этап играет критическую роль в обеспечении безопасности информационной системы, начиная от проверки целостности и подлинности обновления и заканчивая мониторингом его функционирования. Гибкость методики позволяет исследователю использовать различные методы и инструменты в зависимости от доступности обновлений и его технических возможностей, что подчеркивает важность экспертного анализа и принятия взвешенных решений оператором информационной системы на основе

полученных результатов. Дополнительные внутренние проверки компании лишь усиливают многоуровневую систему защиты от потенциальных угроз. Систематическое выполнение всех этапов значительно снижает риски, связанные с установкой обновлений, и обеспечивает надежную защиту информационных систем. Представленная реализация стенда обеспечивает комплексный подход к проверке безопасности обновлений ПО, значительно повышая надежность и безопасность информационных систем. Автоматизация процессов позволяет сократить время проверки и минимизировать человеческий фактор, повышая эффективность и точность контроля. В отличие от стенда, используемого в процессе разработки, стенд для проверки готового ПО фокусируется на оценке рисков, связанных с внедрением ПО "как есть". Это требует более глубокого анализа поведения ПО в реальном окружении и оценки потенциального ущерба от эксплуатации уязвимостей.

1 Методика тестирования обновлений безопасности программных, программно-аппаратных средств// ФСТЭК России [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/metodicheskij-dokument-ot-28-oktyabrya-2022-g>– Дата доступа 03.02.2025.

УДК 004.422.81; ГРНТИ 50.41.25

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ РЕГИСТРАЦИИ И ХРАНЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ

М.И. Федоров*, **Д.Е. Ликанов****, **Ю.М. Кузьмин*****

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, *missio0427@mail.ru, **den.likanov@mail.ru, ***kuzmin_yurii@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена реализации прикладной программы, предназначенной для эффективного управления документооборотом. В работе обоснована неотложность разработки такого программного обеспечения, выделены основные требования к проекту. Проведена разработка ключевых компонентов, включая действия с базой данных, программные модули, пользовательский интерфейс. Подробно описаны особенности функционирования созданного программного продукта. В заключении статьи подчеркивается важность и перспективность разработки программы для управления документооборотом. Обсуждаются преимущества её внедрения, включая оптимизацию процессов, повышение эффективности коммуникации внутри организации и обеспечение надежности в обработке информации.
Ключевые слова: документооборот, база данных, C#, SQL-запрос, хранение данных.

DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR ELECTRONIC REGISTRATION AND DOCUMENT STORAGE

M.I. Fedorov*, **D.E. Likanov****, **Y.M. Kuzmin*****

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, *missio0427@mail.ru, **den.likanov@mail.ru, ***kuzmin_yurii@mail.ru*

The summary: The article is devoted to the implementation of an application program designed for effective document management. The work substantiates the urgency of developing such software and highlights the main requirements for the project. The development of key components was carried out, including actions with the database, program modules, and user interface. The features of the functioning of the created software product are described in detail. In conclusion, the article emphasizes the importance and prospects of developing a program for document management. The benefits of its implementation are discussed, including streamlining processes, increasing the efficiency of communication within the organization and ensuring reliability in information processing.
Keywords: document management, database, C#, SQL query, data storage.

В настоящее время существует множество программ для ведения документооборота в электронном виде, но они имеют довольно сложный процесс первоначальной настройки и

работы, широкий функционал, который может быть избыточен для многих малых организаций или частных лиц, а также многие такие программы являются условно бесплатными или платными, что обязывает покупать лицензии для их использования.

В связи с этими недостатками возникла необходимость разработки простой программы с минимально необходимым пользователю функционалом для документооборота (регистрации и хранения документов), но с заложенным потенциалом для дальнейшего увеличения функционала при необходимости.

Для удобства будем использовать систему управления базами данных Microsoft SQL Server 2022, а в качестве языка программирования – C# с Windows Forms на платформе .NET Framework 4.7.2 в среде программирования Visual Studio 2022.

Для создания программной системы, обеспечивающей документооборот с применением базы данных и языка программирования C# [2], требуется разработать структуру базы данных. Эта структура должна включать в себя хранение информации о документах, их метаданных, данных о пользователях и прочих связанных с системой данными.

Помимо сказанного необходимо разработать приложение, которое будет обеспечивать функциональность загрузки, хранения и поиска документов, а также для удобства пользователей иметь понятный графический интерфейс. Для обеспечения безопасности и контроля доступа к документам необходимо реализовать механизмы аутентификации и авторизации пользователей.

Использование вышеописанных технологий разработки позволит создать эффективную систему управления документооборотом, обеспечивая эффективное хранение и обработку информации, контроль доступа к документам, автоматизацию рабочих процессов, а также повышение общей производительности.

Использование вышеописанных технологий разработки откроют возможность создания системы управления документооборотом, которая обеспечит эффективное хранение и обработку информации, контроль доступа к документам, автоматизацию рабочих процессов, что в конечном итоге приведет к повышению общей производительности.

Важно обеспечить безопасность хранения и обработки документов, учитывая потенциальные угрозы безопасности информации. При разработке автоматизированных систем документооборота необходимо уделять особое внимание реализации механизмов защиты данных, контроля доступа и резервирования информации.

Для разработки программы определим следующие требования: разработка программы с интуитивно понятным пользовательским интерфейсом, обеспечивающим простое и удобное управление процессами регистрации и хранения документов в электронном формате. Важными характеристиками будут надежность системы для обеспечения сохранности данных, а также функциональность, позволяющая эффективно организовать поиск, редактирование и удаление документов. Также необходимо предусмотреть механизмы контроля доступа, обеспечивающие безопасность информации. Кроме того, программа должна быть масштабируемой, чтобы легко адаптироваться к растущим потребностям и объемам документооборота.

Программа должна:

- 1) хранить информацию о документах (его номер, дата регистрации, источник документа, краткое содержание);
- 2) иметь разграничение доступа (пользователь и администратор);
- 3) создавать резервные копии всех записей о зарегистрированных документах и дальнейшее восстановление всех данных из последней резервной копии;
- 4) хранить файлы документов если они в электронном виде или хранить записи о местонахождении бумажных документов;
- 5) иметь возможность регистрации нескольких типов (источников) документов.

Разработку начнем с создания базы данных, в которой будут размещены таблицы для хранения информации о документах и информации о пользователях.

Поля таблицы для хранения информации о документах и их описание:

Код – уникальный идентификатор записи в таблице.

№ Записи – уникальный номер каждой записи, который может использоваться для обращения к конкретной записи.

Дата внесения документа – дата, когда документ был добавлен в систему или когда информация о нем была обновлена.

Краткое содержание – описание содержания документа или информации, внесенной в запись.

Кому – целевой получатель или адресат документа или информации, указанный в записи.

Примечания – дополнительные заметки или комментарии, которые могут быть связаны с документом.

Путь к документу – указание на местонахождения на компьютере или путь к физической копии документа или информации.

Поля таблицы для хранения информации о пользователях:

– ID пользователя – уникальный идентификатор пользователя в системе;

– Логин пользователя – уникальное имя пользователя, которое используется для входа в систему;

– Пароль пользователя – хэшированный пароль пользователя, который используется для аутентификации при входе в систему.

Для реализации функционала необходимы действия с базой данных:

- 1) Добавление информации в базу данных;
- 2) Изменение информации в базе данных;
- 3) Удаление информации из базы данных;
- 4) Поиск информации в базе данных;
- 5) Создание резервной копии базы данных;
- 6) Восстановление информации из резервной копии.

Создадим SQL-запросы [1] для выполнения указанных операций:

— для изменения и добавления данных в таблицу о документах:

```
update {Название базы данных} set [№ Записи] = 'Номер записи', [Дата внесения документа] = 'Дата внесения документа', [Краткое содержание] = 'Содержание', Кому = 'Фамилия Имя Отчество', Примечания = 'Примечания и пометки', [Путь к документу] = 'Место хранения' where Код = 'Код записи'
```

— для удаления данных из таблицы о документах:

```
delete from {Название базы данных} where Код = 'Код записи'
```

Запрос для поиска данных:

```
select * from {Название базы данных} where concat([№ Записи],[Дата внесения документа],[Краткое содержание],Кому,Примечания,[Путь к документу]) like "%" + [Искомая информация] + "%"
```

— для создания резервной копии:

```
backup database [Название базы данных] to disk = 'Путь + "ВашаРезервнаяКопия.bak"' with format, init
```

— для восстановления данных из резервной копии:

```
alter database [Название базы данных] set SINGLE_USER with rollback immediate  
use master restore database [Название базы данных] from disk='Путь' with replace;  
alter database [Название базы данных] set MULTI_USER
```

— для проверки существования пользователя при регистрации:

```
select [ID пользователя], [Логин пользователя] from Пользователи where [Логин пользователя] = 'Логин'
```

— для добавления (регистрации пользователя):

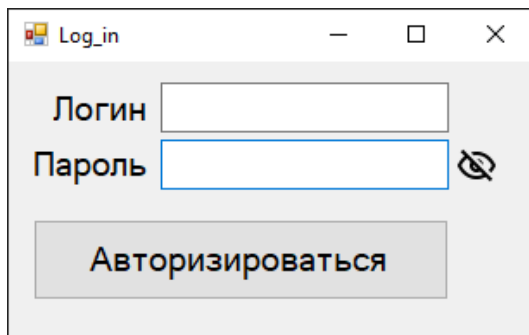
insert into Пользователи ([Логин пользователя], [Пароль пользователя]) values ('Логин', 'Пароль')

— для поиска введенного в форме авторизации логина и пароля таблице с учетными данными пользователей:

```
select [ID пользователя], [Логин пользователя], [Пароль пользователя] from Пользователя where [Логин пользователя] = 'Логин' and [Пароль пользователя] = 'Пароль'
```

Таким образом, ключевые шаги для взаимодействия с базой данных были определены. Теперь требуется разработать программу с удобным пользовательским интерфейсом для взаимодействия с базой данных.

Начнем с формы для авторизации пользователя (рис. 1).

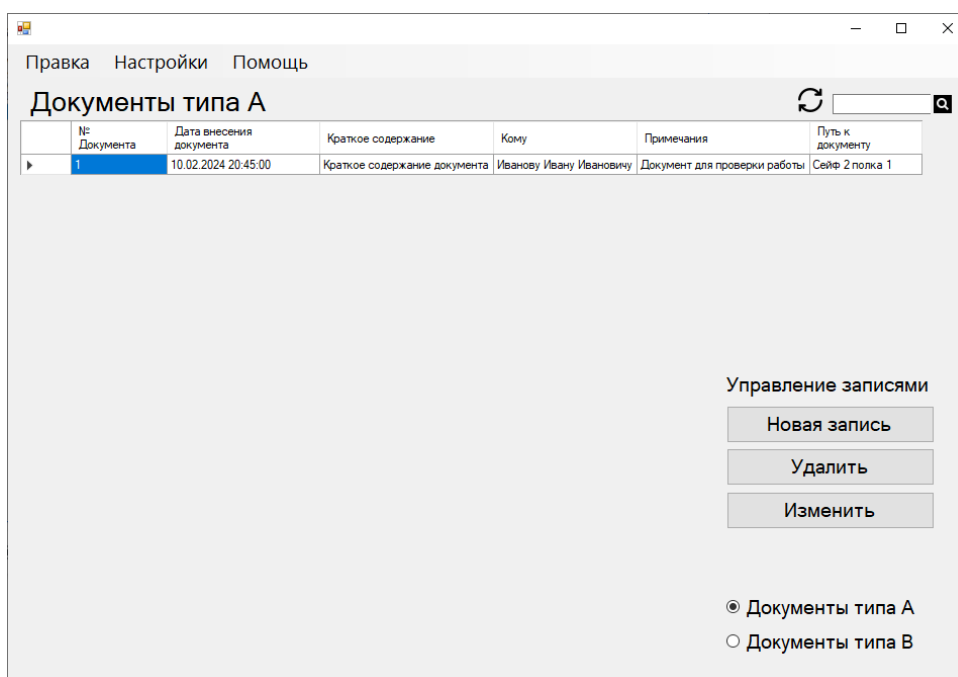


The screenshot shows a window titled 'Log_in'. It contains two text input fields: 'Логин' (Login) and 'Пароль' (Password). The 'Пароль' field has a small eye icon to its right, indicating a toggle for password visibility. Below the fields is a large button labeled 'Авторизироваться' (Authorize).

Рис. 1. Форма авторизации

При старте программы отображается окно авторизации, где пользователю требуется ввести свои учетные данные. В полях "Логин" и "Пароль" необходимо указать соответствующие данные зарегистрированного пользователя, после чего нажать кнопку "Авторизоваться". Далее выполняется SQL-запрос для поиска введенных авторизационных данных в таблице, содержащей учетные данные пользователей. В случае, если соответствующие данные обнаружены, окно авторизации закрывается и становится доступной основная форма программы, иначе будет выведено сообщение "Такого аккаунта не существует или пароль введен неверно" и будет предложено ввести учетные данные заново.

Далее рассмотрим основную форму программы (рис. 2), на которой происходит вся работа по регистрации документов.



The screenshot shows the main application window with a menu bar (Правка, Настройки, Помощь) and a title bar (Документы типа А). Below the title bar is a table with the following data:

№ Документа	Дата внесения документа	Краткое содержание	Кому	Примечания	Путь к документу
1	10.02.2024 20:45:00	Краткое содержание документа	Иванову Ивану Ивановичу	Документ для проверки работы	Сейф 2 полка 1

Below the table, there is a section titled 'Управление записями' (Manage records) with three buttons: 'Новая запись' (New record), 'Удалить' (Delete), and 'Изменить' (Edit). At the bottom, there are two radio buttons: 'Документы типа А' (Documents of type A) and 'Документы типа В' (Documents of type B).

Рис. 2. Основная форма программы

На этой форме расположено главное меню с разделами: "Правка", "Настройки", "Помощь", обеспечивающими быструю навигацию по программе. Для визуального представления данных используется таблица, отображающая информацию о документах. Все взаимодействие с базой данных сосредоточено в блоке "Управление записями", где доступны следующие опции: "Новая запись", "Удалить", "Изменить".

При выборе пункта "Новая запись" появляется блок, где пользователь может зарегистрировать документ, указав тип (электронный или бумажный) и путь к расположению файла (расположение на компьютере (рис. 3) или физическое его нахождение, если документ не является цифровым (рис. 4)).

The screenshot shows a web application window with a menu bar containing 'Правка', 'Настройки', and 'Помощь'. The main heading is 'Документы типа А'. Below it is a table with columns: '№ Документа', 'Дата внесения документа', 'Краткое содержание', 'Кому', 'Примечания', and 'Путь к документу'. The table is currently empty. On the left, there is a 'Запись:' section with a list icon and a plus sign. The form fields are: '№ Записи:' (input: 1), 'Дата внесения документа:' (calendar: 10 февраля 2024 г.), 'Краткое содержание документа:' (input: Иванову Ивану Ивановичу), 'Кому:' (input: Документ для проверки работы), 'Примечания:' (input:), 'Путь к документу:' (input: C:\Users\denli\Desktop\), and 'Бумажный вид' (checkbox: unchecked). On the right, there is a 'Управление записями' section with buttons 'Новая запись', 'Удалить', and 'Изменить', and radio buttons for 'Документы типа А' (selected) and 'Документы типа В'.

Рис. 3. Добавление электронного документа

The screenshot shows the same application window as in Figure 3. The table is empty. In the 'Запись:' section, the 'Путь к документу:' field now contains 'Сейф 2 полка 1' and the 'Бумажный вид' checkbox is checked. The 'Управление записями' section remains the same, with 'Документы типа А' selected.

Рис. 4. Добавление бумажного документа

При выборе пункта "Изменить" открывается блок для редактирования документа (аналогичен блоку при регистрации документа), а после внесения всех изменений пользователь может сохранить их.

При выборе пункта "Удалить" происходит удаление выбранного документа из базы данных.

Также на главной форме имеется возможность поиска информации по всему документу, что помогает быстро найти нужный документ или информацию о нем.

Пользователь имеет возможность изменять настройки программы. Для этого необходимо на главной форме приложения выбрать пункт "Настройки" в главном меню, после чего происходит переход на форму настроек (рис. 5).

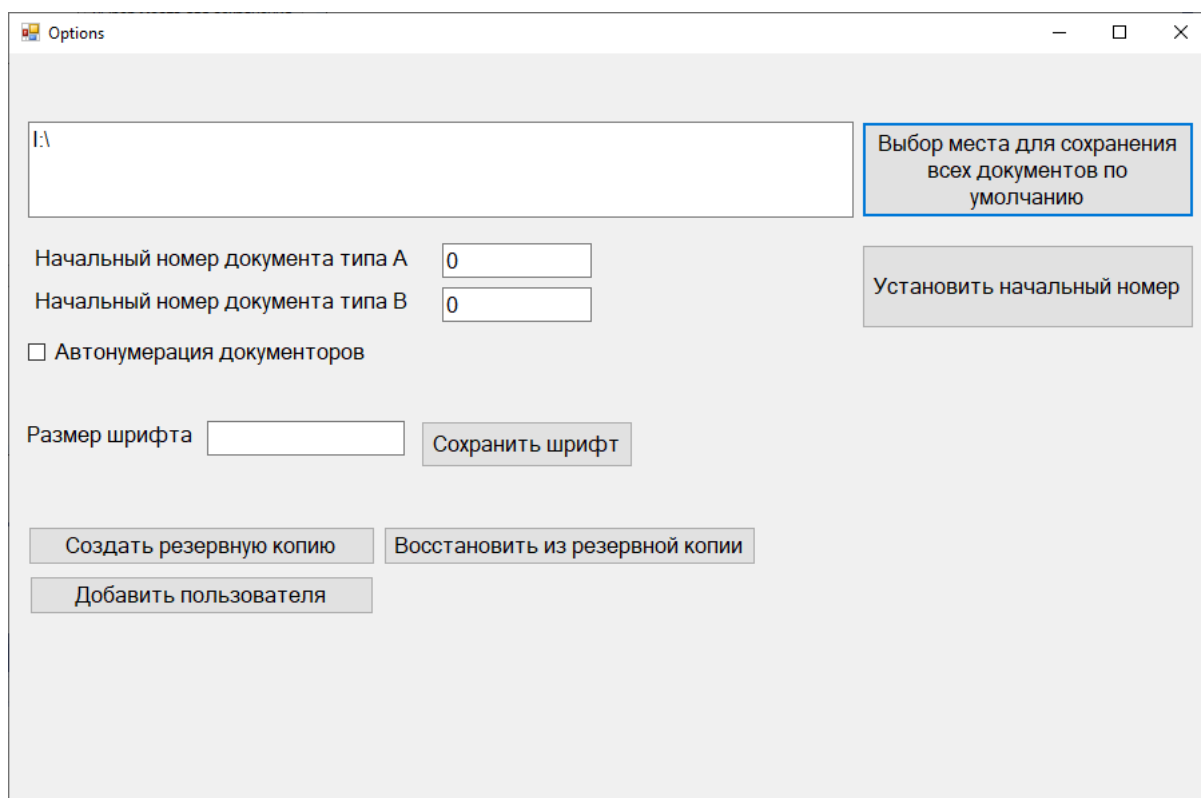


Рис. 5. Форма с настройками

Пользователь имеет возможность выбрать место сохранения всех электронных документов, используя кнопку "Выбор места для сохранения всех документов по умолчанию". После этого все поступающие в электронном формате документы будут автоматически сохраняться в указанный каталог, обеспечивая удобную структуру хранения.

Для дополнительного удобства, пользователь может настраивать начальные номера документов, включать или отключать автоматическую нумерацию. Также есть возможность индивидуальной настройки размера шрифта для всех элементов управления на формах, и при нажатии кнопки "Сохранить шрифт", заданный шрифт будет применен ко всей программе.

Для обеспечения безопасности данных предусмотрены функции создания резервных копий и их последующего восстановления с использованием кнопок "Создать резервную копию" и "Восстановить из резервной копии".

Добавлена возможность разграничения доступа с помощью функции "Добавить пользователя". При необходимости получения справки о функционале программы, пользователь может воспользоваться кнопкой "Помощь" или клавишей "F1", открыв файл справочной системы.

Разработанная программа обладает потенциалом для будущего расширения. Существует возможность изменения полей для регистрируемого документа, расширения списка доступных типов документов, а также превращения ее в приложение-клиент для удаленной работы. В таком случае хранение документов и базы данных с информацией о документах будет осуществляться на удаленном сервере, обеспечивая более гибкую и масштабируемую систему.

В заключении статьи можно подчеркнуть, что создание такой программы представляет собой неотъемлемый шаг в современном офисном управлении. Эффективное внедрение данного инструмента позволит улучшить процессы обработки документов, повысить оперативность и надежность работы, а также уменьшить риски ошибок и упростить взаимодействие между сотрудниками и отделами. Разработка программы для документооборота представляет собой важный шаг в сторону оптимизации бизнес-процессов, обеспечивая более эффективное управление информацией и повышение общей производительности организации.

Библиографический список

1. Системы баз данных: организация, инженерия, ведение : учебное пособие / О. В. Тараканов, Ю. А. Паршенкова, М. Ю. Коньшев [и др.]. — Москва : РТУ МИРЭА, 2023. — 373 с. — ISBN 978-5-7339-1767-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/368672> (дата обращения: 11.02.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Тюкачев, Н. А. С#. Основы программирования : учебное пособие для вузов / Н. А. Тюкачев, В. Г. Хлебостроев. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 272 с. — ISBN 978-5-8114-7266-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/158960> (дата обращения: 11.02.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей

УДК 004.67; ГРНТИ 20.23.17

РАЗВИТИЕ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ИДЕНТИФИКАТОРОВ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ: ОПЫТ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА OID МИНЗДРАВА

М.А. Королев, Т.И. Калинкина

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Российская Федерация, Рязань, mat.kolev@yandex.ru, tkalinkina2014@mail.ru

Аннотация. В данной работе обсуждается роль Международной системы учета объектов (ИСО) в создании уникальных идентификаторов для цифровых объектов. Фокус делается на национальном сегменте OID Минздрава России, освещающая сложности регистрации медицинских объектов. Проблемы, связанные с ролью органов регистрации, подчеркивают важность точности технических функций и следования стандартам. Документ также представляет структуру Реестра OID Минздрава, описывая формирование сегмента для субъектов системы здравоохранения. Преодоление сложностей в нормативной сфере здравоохранения подчеркивает важность единообразной идентификации объектов для эффективного управления медицинской информацией.

Ключевые слова: объектный идентификатор, дерево объектных идентификаторов, Минздрав России, проблема органов регистрации.

DEVELOPMENT AND STANDARDIZATION OF INTERNATIONAL IDENTIFIERS IN HEALTHCARE: EXPERIENCE OF THE RUSSIAN OID SEGMENT OF THE MINISTRY OF HEALTH

M.A. Korolev, T.I. Kalinkina

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Russia, Ryazan, mat.kolev@yandex.ru, tkalinkina2024@mail.ru

The summary. This work discusses the role of the International Organization of Standardization (ISO) in creating unique identifiers for digital objects. The focus is on the national OID segment of the Russian Ministry of Health, highlighting the complexities of registering medical facilities. The problems associated with the role of registration authorities highlight the importance of technical accuracy and adherence to standards. The document also presents the structure of the OID Register of the Ministry of Health, describing the formation of a segment for subjects of the healthcare system. Navigating the complexities of the healthcare regulatory landscape underscores the importance of consistent entity identification for effective health information management.

Keywords: object identifier, Tree of object identifiers, Russian Ministry of Health, registration authorities problem.

Рост объектов информационного мира привел к созданию Международной системы учета объектов (ИСО) в 1971 году. Организация предоставляет уникальные идентификаторы (ID) для различных объектов, существующих в цифровом пространстве (например, телефонные номера, интернет-домены и IP-адреса), обеспечивая уникальность идентификаторов, а также исключая конфликты и дублирования.

Объект информационного мира или как установлено в регулирующем документе «объект интереса – что-либо в некоем «мире» (в общем случае в мире телекоммуникаций и информатики) или в некоторой его части:

- что может быть идентифицировано (может быть названо);
- что может быть зарегистрировано [2]».

Каждый такой объект имеет уникальный ID и содержится в Международном древе идентификаторов (МДИО). Благодаря МДИО стало возможно однозначно идентифицировать «объект» и использовать в различных системах и процессах обмена информацией.

Структура МДИО (рис. 1) включает в себя три основные дуги из корня дерева:

1. МСЭ-Т/ITU-T (администрируется Сектором стандартизации Международного союза электросвязи); имеет первичное значение «0»;
2. ИСО/ISO (администрируется Международной организацией по стандартизации); имеет первичное значение «2»;
3. JOINT-ISO-ITU-T (администрируется МСЭ и ИСО совместно); имеет первичное значение «1».

Итогом такой классификации стало утверждение «Рекомендации МСЭ-Т Х.600 (издание 1.0)» 10 сентября 1992 году в Женеве. Сегодняшнее МДИО часто называется «деревом OID» и является его расширенной формой.

Структура национального сегмента

Международное дерево идентификаторов объектов (дерево OID) — это иерархическая структура идентификаторов, которая представляет собой последовательность чисел, разделенных точками [2]. Оно обеспечивает уникальность идентификации объектов без текстовых меток, что упрощает автоматическую обработку данных. Дерево OID организовано иерархически, начиная от «корня», где каждый уровень представляет поддерево и каждый узел определен уникальным числовым значением.

Для построения национальных сегментов международного дерева OID используется дуга «корня» с первичным целочисленным значением «1».

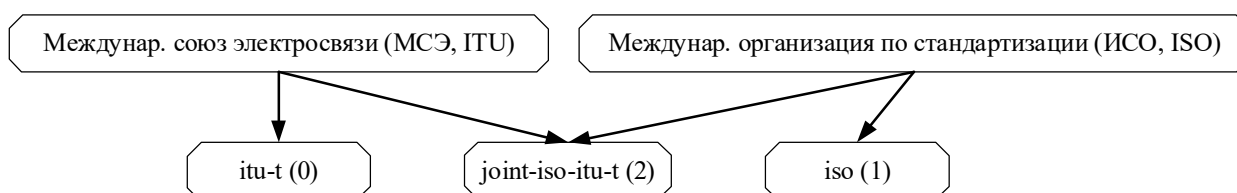


Рис. 1. Структура дерева международных идентификаторов объектов. Дуги высшего уровня

Продолжением структуры являются дуги верхнего уровня (top-level arcs) (рис. 2) из узлов 0, 1 и 2, которые предоставляют пространство имен OID для различных организаций и стандартов.

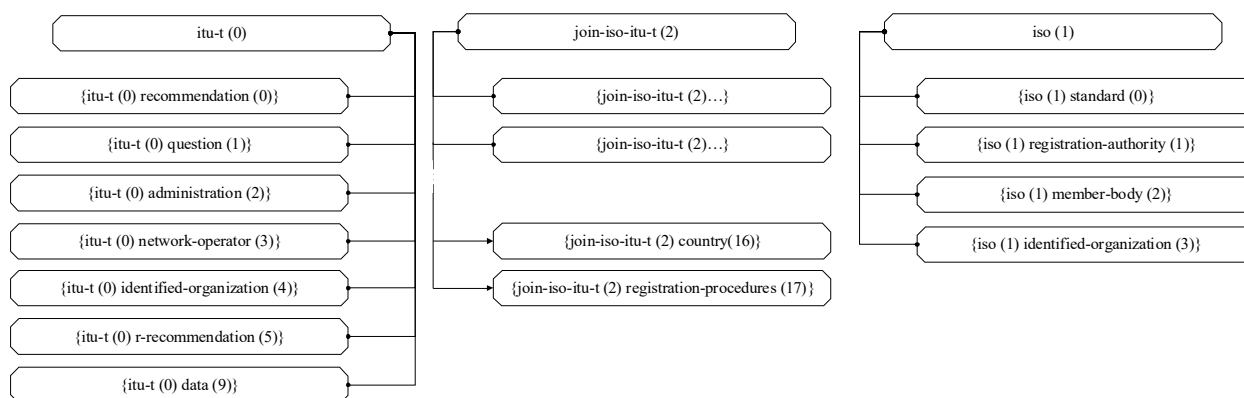


Рис. 2 – Структура дерева международных идентификаторов объектов.
Дуги верхнего уровня из узлов 0, 1, 2

Структура объектных идентификаторов, представленная в дереве, направляет нас к российскому сегменту МДИО, что демонстрируется на рисунке 3. Для глубокого понимания данной структуры, давайте обратим внимание на ряд ключевых определений:

- **идентификатор объекта (object identifier)** – уникальный идентификатор, используемый для определения конкретного объекта или свойства в информационных системах. OID представляет собой последовательность чисел, разделенных точками, которые указывают на конкретное местоположение объекта в иерархической структуре;
- **регистрация (registration)** – процесс присвоения уникального имени объекту, делая это присвоение доступным для заинтересованных сторон;
- **орган регистрации (registration authority)**: организация, стандарт или автоматическое устройство, ответственное за регистрацию различных видов объектов.
- **процедуры регистрации (registration procedures)**: процедуры, определенные для выполнения регистрации, внесения изменений (или удаления) существующих регистраций.

Каждый объект получает уникальное идентификационное значение через последовательность целых чисел от корня к узлу, что гарантирует уникальность и однозначность идентификации.

Российский национальный сегмент дерева OID

Российский национальный сегмент международного дерева идентификаторов объектов (Russian National OID Tree) — это часть дерева OID, которая зарезервирована для использования в России. Она предназначена для идентификации объектов и свойств, принадлежащих российским организациям или имеющих отношение к России.

Использование российского национального сегмента OID позволяет российским организациям иметь уникальные идентификаторы, признанные международно, упрощая обмен информацией и интеграцию с другими системами, как внутри России, так и за ее пределами.

Идентификация в нашей стране «осуществляется под узлом 1.2.643. {iso(1) member-body(2) ru (643)} [1]», где «643» числовой код страны (ISO 3166) Реестра идентификаторов объектов (OID) Российской Федерации, для которого определены 10 верхних дуг (9 из которых на сегодняшний день являются действующими). Из данного узла исходят дуги 1-го уровня по тематическим признакам (рис. 3).

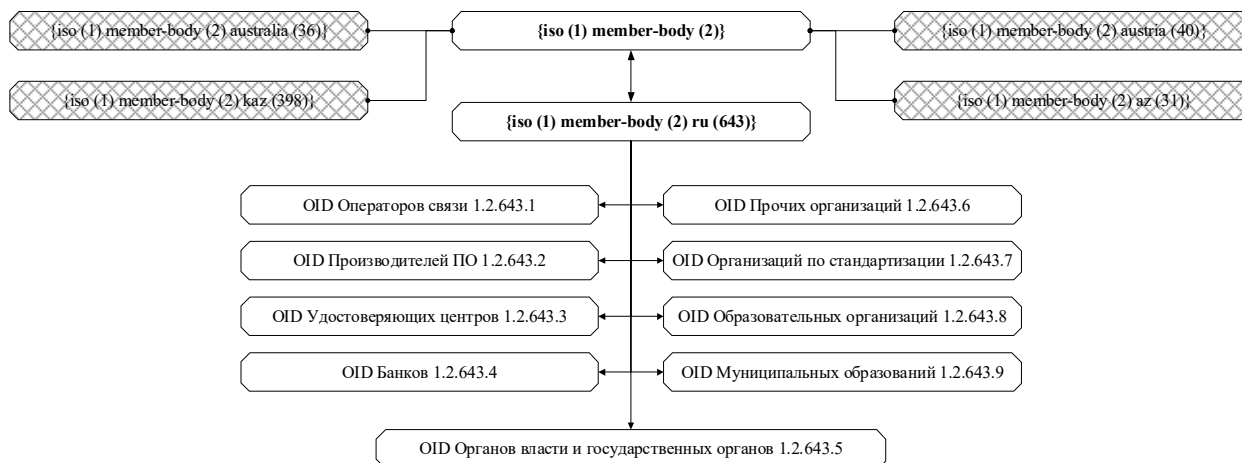


Рис. 3 – Структура дерева международных идентификаторов объектов.
Узел национального сегмента и дуги 1-го уровня

Дальнейшее дерево ведется под действием Соглашения и внутренних стандартов компании «ИнфоТеКС».

Проблема органов регистрации и присвоения имен в национальном сегменте идентификаторов объектов

Данная проблема будет показана на примере Реестра OID Министерства Здравоохранения Российской Федерации (далее: Минздрав России).

Указанная проблема заключается в недостаточной осведомленности и недоразумениях относительно их роли в дереве OID, что негативно влияет на формирование профильного пространства OID.

Она образовалась на этапе создания национального сегмента из-за неясности роли органов регистрации, отвечающих за присвоение имени объектам в дереве OID.

В отношении реестра идентификаторов объектов Минздрава России Уполномоченный орган реализует следующий набор функций:

- административная функция (роль) – присвоение и предоставление доступа к информации о зарегистрированных объектах и их определениях, а также обновление этой информации по необходимости;
- техническая функция (роль) – фиксация определений объектов, наделяемых наименованиями, а также проверка их соответствия стандартам, устанавливающим форму определений.

Часто техническая функция игнорируется, что приводит к хаотичному присвоению идентификаторов.

Локальные реестры также страдают от отсутствия четкой классификации объектов, что порождает дублирование и "вырожденные дуги". Это создает ошибки и несоответствие информации о зарегистрированных объектах, что затрудняет дальнейший поиск и управление ими.

Следовательно, необходимо уделить внимание роли и обязанностям органов регистрации. Техническая функция должна выполняться правильно и своевременно, чтобы обеспечить актуальность и оперативность регистрации объектов.

Также важно учитывать уровень регистрации объекта. В Рекомендациях МСЭ-Т X.660 / Международный стандарт ISO/IEC9834-1 имеется указание на то, что «при регистрации объекта следует обращать внимание на тот уровень, на котором уместна регистрация [4]».

Наконец, нужно понимать, что Уполномоченный орган должен поддерживать реестр имен объектов и реестр определений, связанных с ними. Эти обязательства распространяются на все органы регистрации.

Недооценка роли органа регистрации оказала сильное воздействие на начальном этапе формирования Реестра OID Минздрава России. Процесс присвоения идентификаторов объектам прошел без ясной структуры иерархии, что в лучшем случае обеспечило лишь уникальность идентификаторов без учета структуры объектов.

Это проблема, которая имеет корни в начальных этапах проекта и общественно характерна для подобных инициатив. Возможные решения представляются более подробно при анализе структуры и участников управления пространством идентификаторов объектов.

Возможные решения проблемы реестра идентификаторов объектов Минздрава России (Реестр OID)

Реестр OID Минздрава России содержит уникальные идентификаторы объектов в сфере здравоохранения.

Включает следующие категории:

- 1) Классификаторы медицинских услуг и технологий;
- 2) Типы медицинских документов;
- 3) Типы медицинских организаций;
- 4) Справочники медицинских терминов и понятий;
- 5) Протоколы и стандарты обмена медицинской информацией;
- 6) Идентификаторы форматов электронных документов.

Реестр OID обеспечивает стандартизацию информационного обмена в сфере здравоохранения.

Управление Реестром включает:

1. Орган, ответственный за российский национальный сегмент и обладающий полномочиями по регистрации, делегированными агентством Росстандарт в соответствии с Соглашением (задача данного органа – управление дугой с OID Минздрава России).
2. Минздрав России, осуществляющий решения по разработке и реализации государственной политики и правовому регулированию в области здравоохранения.
3. Уполномоченную организацию, которой делегированы полномочия по ведению Реестра OID с корневого идентификатора.
4. Центр идентификации объектов Минздрава России (ЦВУ), специализированное подразделение Уполномоченной организации, обеспечивающее практическое осуществление управления Реестром.

Уполномоченная организация сегодня решает две главные задачи в управлении Реестром Минздрава:

1. Локализация и минимизация последствий формирования тематического сегмента OID Минздрава до 2016 года без полноценного определения типов объектов. Это включает архитектурное дополнение в структуре дуги OID Минздрава, включая уникальный идентификатор 1.2.643.5.1.13.13, который стал основой для формирования пространства OID с 2016 года.
2. Формирование Реестра OID Минздрава на основе единого методического и методологического подхода, включая разработку "типов объектов" и стандартизацию процедур.

Важное изменение в работе включает архитектурное дополнение в структуре дуги OID Минздрава (рис. 4), с уникальным идентификатором 1.2.643.5.1.13.13. Основное развитие происходит в соответствии с разработанными нормативными документами и требованиями, необходимыми для регистрации объектов. Это особенно важно для формирования федерального реестра медицинских организаций и оценки региональной информатизации.



Рис. 4. Дуги 1-го и 2-го уровня Минздрава России (от узла 1.2.643.5.1.13.13)

Планками без узора обозначены узлы OID, относящиеся к актуальным дугам, используемым для регистрации объектов Минздрава России.

Реестр OID Минздрава России. Субъекты системы здравоохранения

При создании Реестра OID Минздрава РФ возникают трудности из-за сложностей нормативных актов, определяющих здравоохранение в России. В соответствии с законодательством, система здравоохранения включает в себя управляющие органы и медицинские учреждения, которые работают для предупреждения заболеваний, поддержания здоровья и предоставления медицинской помощи. Это включает государственную, муниципальную и частную системы здравоохранения, гарантированные Конституцией.

Важно определить, какие организации участвуют в оказании медицинской помощи, вместо того чтобы классифицировать их по системе здравоохранения. Фармацевтические организации имеют аналогичное значение.

Кроме организаций, создающих систему здравоохранения, законодательство также учитывает отдельные подразделения, действующие в сфере здравоохранения. Это важно как на уровне управления, так и на более низких уровнях.

Также важно учесть учебные организации, которые готовят медицинских и фармацевтических специалистов, их обучение может проводиться как в образовательных организациях, так и в медицинских организациях.

С учетом вышесказанного, для решения задачи формирования пространства объектов, относящихся к типу «Субъекты системы здравоохранения» для дуг первого уровня (от узла 1.2.643.5.1.13.13.12.), разработана следующая структура, включенная в Положение ЦВУ (описание типа объектов) «Субъекты системы здравоохранения: ведомства, учреждения, организации, структурные подразделения, регистрируемые в Реестре идентификаторов объектов Минздрава РФ под узлом 1.2.643.5.1.13.13.12 [3]».

Для создания Реестра OID Минздрава необходимо разработать общие правила идентификации, которые будут применяться ко всем участникам системы здравоохранения. После префикса (1.2.643.5.1.13.13.12.) и номера дуги (1,2...) указывается код региона, а затем номер объекта в этой дуге (рис. 5).

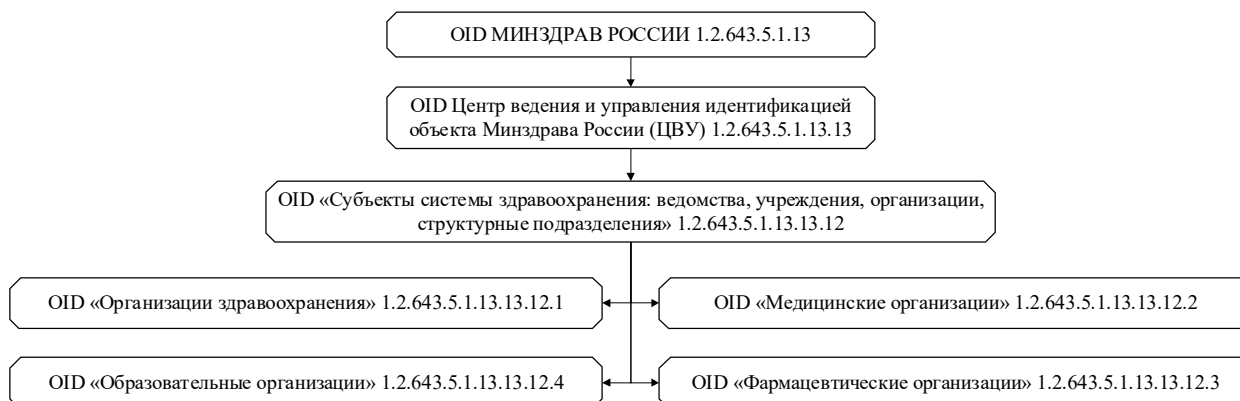


Рис. 5. Дуги 3-го уровня Минздрава России (от узла 1.2.643.5.1.13.13.12)

Важный вопрос, который остается за рамками данной статьи, — это регистрация отдельных подразделений (территориальных и структурных), для которых нужно создать дуги на втором и третьем уровнях, а также разработать соответствующую номенклатуру.

Заключение

Данная статья представляет информацию о роли и значении международных идентификаторов объектов (OID) в контексте организации информационного пространства идентификации в Российской Федерации. Международная система учета объектов (ИСО) играет важную роль в обеспечении уникальности идентификаторов для различных объектов в цифровом пространстве, таких как телефонные номера, интернет-домены и IP-адреса. Она позволяет избежать конфликтов и дублирования в идентификации объектов, облегчая обмен информацией и интеграцию между различными системами.

Особое внимание уделяется роли органов регистрации и присвоения имен в национальном сегменте OID. Проблемы, связанные с неясностью и недоразумениями относительно их роли, могут привести к хаотичному присвоению идентификаторов и созданию "вырожденных дуг". Для решения этих проблем важно, чтобы техническая функция выполнялась правильно, с учетом уровня регистрации объекта, и чтобы уполномоченные органы следовали стандартам и процедурам регистрации.

Документ также описывает работу над Реестром OID Минздрава России, который играет важную роль в стандартизации информационного обмена в здравоохранении. Для успешной формирования этого реестра были разработаны специфические структуры и методологии, учитывая сложности нормативных актов, регулирующих здравоохранение в России. Этот опыт также подчеркивает важность четкой и единообразной идентификации объектов, в частности, субъектов системы здравоохранения, чтобы обеспечить эффективное управление информацией и медицинскими данными.

В заключении, статья подчеркивает важность правильной организации идентификации объектов в цифровом пространстве и необходимость соблюдения стандартов и процедур регистрации. Это обеспечивает уникальность, актуальность и эффективность системы идентификации, что является ключевым фактором для обмена информацией, интеграции систем и обеспечения качества услуг в различных областях, включая здравоохранение.

Библиографический список

1. О порядке ведения Реестра идентификаторов объектов Минздрава РФ: положение – М. : Регламентная служба ведения нормативно-справочной информации Минздрава России, 2016. 10 с.
2. О ведении идентификаторов объектов Минздрава России, назначаемых в рамках российского национального сегмента международного дерева идентификаторов объектов (Реестр идентификаторов объектов Мин-

здрава РФ): положение – М. : Регламентная служба ведения нормативно-справочной информации Минздрава России, 2018. 17 с.

3. О ведении идентификаторов объектов Минздрава России, назначаемых в рамках российского национального сегмента международного дерева идентификаторов объектов (Реестр идентификаторов объектов Минздрава РФ). Субъекты системы здравоохранения: ведомства, учреждения, организации, структурные подразделения: приложение «В12» к положению – М. : Регламентная служба ведения нормативно-справочной информации Минздрава России, 2018. 13 с.

4. Рекомендации МСЭ-Т X.660 / Международный стандарт ISO/IEC9834–1: международный стандарт – Женева : Международный союз электросвязи, 2011. 32 с.

УДК 004.056; ГРНТИ 81.93.29

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ SECRET NET STUDIO ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Н.А. Колесенков, А.Р. Любакова, А.Р. Макушева

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, nastya.arm03@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается применение системы защиты информации Secret Net Studio в контексте государственных информационных систем. Приведены основные характеристики и функциональные возможности данной системы, а также анализируется её роль в обеспечении безопасности данных, хранящихся и обрабатываемых в государственных информационных системах. Даны действия, которые должны осуществляться посредством организационно-технических мер по защите информации для достижения её безопасности. Перечислены основные функции Secret Net Studio для операционных систем семейства Windows и Linux. Более подробно рассмотрена структура Secret Net Studio для Windows - её компоненты и режимы их функционирования.

Ключевые слова: Secret Net Studio, государственные информационные системы, средства защиты информации, данные, защита информации, несанкционированный доступ.

APPLICATION OF SECRET NET STUDIO FOR DATA PROTECTION IN GOVERNMENT INFORMATION SYSTEMS

N.A. Kolesenkov, A.R. Lyubakova, A.R. Makusheva

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, nastya.arm03@mail.ru*

Abstract. The paper discusses the application of the Secret Net Studio information security system in the context of government information systems. The main characteristics and functionality of this system are given, as well as its role in ensuring the security of data stored and processed in government information systems is analyzed. The actions that should be carried out through organizational and technical measures to protect information in order to achieve its security are given. The main functions of Secret Net Studio for Windows and Linux operating systems are listed. The structure of Secret Net Studio for Windows is considered in more detail - its components and their modes of operation.

Keywords: Secret Net Studio, government information systems, information security tools, data, information security, unauthorized access.

В государственных информационных системах (далее - ГИС) содержится и обрабатывается большой объем важной информации, необходимой для обеспечения их функционирования. Согласно Федеральному закону №149 «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» [1], информационная система определяется как «совокупность информации, содержащейся в базах данных, и технологий, обеспечивающих ее обработку». ГИС разрабатываются для выполнения функций государственных органов и обеспечения взаимодействия между ними, а также для достижения других целей, предусмотренных федеральными законами. Эти системы делятся на федеральные и региональные, которые создаются соответственно на основе федеральных законов и законов субъектов Российской Феде-

рации, а также на основании правовых актов государственных органов. Названные системы представляют большой интерес для злоумышленников из-за ценности обрабатываемых в них данных. К таким данным может относиться такая конфиденциальная информация как, например, персональные данные или служебная тайна.

С каждым годом число ГИС продолжает увеличиваться, что повышает необходимость в обеспечении защиты информации, содержащейся в них. Это обусловлено ростом объемов данных и повышением требований к их безопасности. Для обеспечения должной защиты информации в информационных системах проводятся следующие мероприятия [2]:

1. Формирование требований по защите информации, содержащейся в информационной системе;
2. Разработка системы защиты информации информационной системы;
3. Внедрение системы защиты информации информационной системы;
4. Аттестация информационной системы по требованиям защиты информации и ввод ее в действие;
5. Обеспечение защиты информации в ходе эксплуатации аттестованной информационной системы;
6. Обеспечение защиты информации при выводе из эксплуатации аттестованной информационной системы или после принятия решения об окончании обработки информации.

В Приказе ФСТЭК России №17 [2] установлены требования к мерам защиты информации, содержащейся в ГИС. В зависимости от разновидностей угроз безопасности информации, используемых информационных технологий и структурно-функциональных характеристик технические и организационные меры, осуществляемые в качестве средств защиты в информационных системах, должны обеспечивать:

- 1) идентификацию и аутентификацию субъектов доступа и объектов доступа;
- 2) управление доступом субъектов доступа к объектам доступа;
- 3) ограничение программной среды;
- 4) защиту машинных носителей информации;
- 5) регистрацию событий безопасности;
- 6) антивирусную защиту;
- 7) обнаружение (предотвращение) вторжений;
- 8) контроль (анализ) защищенности информации;
- 9) целостность информационной системы и информации;
- 10) доступность информации;
- 11) защиту среды виртуализации;
- 12) защиту технических средств;
- 13) защиту информационной системы, ее средств, систем связи и передачи данных;
- 14) защиту информационной системы от атак, направленных на отказ в обслуживании.

Обеспечение требований по защите информации в ГИС реализуется с помощью специализированных программных средств защиты. Одним из таких эффективных решений является система Secret Net Studio – отечественный продукт компании «Код Безопасности». Эта система защиты информации предлагает широкий спектр функциональных возможностей, что позволяет осуществлять комплексную защиту данных. Система защиты информации Secret Net Studio (далее – СЗИ Secret Net Studio) реализует: защиту от несанкционированного доступа к информационным ресурсам; мониторинг устройств, подключаемых к компьютерам; обнаружение вторжений в информационную систему; фильтрацию сетевого трафика с помощью межсетевого экрана; авторизацию сетевых соединений; антивирусную защиту и другие функции [4], некоторые из которых будут рассмотрены ниже.

СЗИ Secret Net Studio состоит из трех компонентов: центр управления, клиент и сервер, каждый из которых выполняет определенные функции.

Клиент служит для обеспечения защиты компьютера, на котором установлен этот компонент. Защита осуществляется с помощью набора настраиваемых программных средств, которые входят в состав клиента и обеспечивают безопасное использование ресурсов.

Во время установки клиентского программного обеспечения доступны два режима работы клиента: автономный и сетевой. Автономный режим позволяет осуществлять управление защитными механизмами исключительно на локальном уровне. Сетевой режим сочетает в себе локальное и централизованное управление защитными механизмами, а также предоставляет централизованный доступ к информации и возможность изменения состояния защищаемых компьютеров.

В сетевом режиме сервер безопасности предоставляет централизованное управление клиентами. Он обеспечивает хранение данных и координацию работы других компонентов при централизованном управлении системой. Сервер безопасности отвечает за получение и обработку сведений о состоянии защищаемых систем, а также осуществляет сбор и хранение журналов событий. Ещё одной функцией названного компонента является управление пользователями и авторизация сетевых соединений.

Центр управления предназначен для централизованного контроля серверов безопасности и клиентов при сетевом режиме работы. Данный компонент СЗИ Secret Net Studio регулирует параметры объектов, а также отображает сведения о состоянии защищаемых систем и зафиксированных событиях тревоги, что помогает своевременно выявлять и реагировать на потенциальные угрозы. Также центр управления поддерживает загрузку журналов событий и оперативное управление работой систем.

К основным функциям СЗИ Secret Net Studio, обеспечивающих безопасность хранимых в ГИС данных, можно отнести следующие функции.

1) Защита входа в систему (идентификация и аутентификация).

В системе Secret Net Studio возможна идентификация пользователей в следующих режимах:

- «По имени» — для входа в систему необходим ввод учетных данных пользователя (имя и пароль) или использование аппаратных средств, поддерживаемых ОС;
- «Смешанный» — вход в систему возможен при вводе учетных данных или при использовании персонального идентификатора, поддерживаемого системой Secret Net Studio;
- «Только по идентификатору» подразумевает обязательное использование персонального идентификатора, в качестве которых в Secret Net Studio используются средства идентификации и аутентификации на базе идентификаторов eToken, RuToken, JaCarta, ESMART или iButton.

Аутентификация пользователей в Secret Net Studio может осуществляться в усиленном режиме. Данный режим подразумевает проверку паролей пользователей на соответствие политике паролей не только в операционной системе, но и в Secret Net Studio.

2) Замкнутая программная среда.

Механизм замкнутой программной среды дает возможность определить индивидуальный перечень разрешенного программного обеспечения, который может использовать пользователь. Система защиты осуществляет контроль и запрещает использование файлов запуска программ и библиотек и сценариев, которые не входят в перечень разрешенных для запуска.

3) Механизм контроля целостности, проводимый в автоматическом режиме в соответствии с заданным расписанием. Информация об объектах, способах и заданном расписании контроля целостности содержится в так называемой модели данных – специальной структуре, хранимой в локальной базе СЗИ Secret Net Studio.

4) Ограничение доступа к локальным дискам при несанкционированном запуске компьютера, то есть при запуске средствами операционной системы без клиентского программного обеспечения.

5) Система шифрования данных в криптоконтейнерах и на носителях информации.

Криптографический контейнер (криптоконтейнер) – специальное хранилище, в котором хранятся операции шифрования и расшифрования. Физически это файл, который может использоваться в системе как дополнительный диск.

6) Теневое копирование дубликатов данных в специально организованное хранилище, расположенное в системной папке локального диска компьютера, доступ к которому ограничен.

7) Затирание данных в областях памяти, хранящих в себе остаточные данные удаленных объектов. Названная функция гарантирует уничтожение информации без возможности восстановления, что реализуется за счет записи случайных последовательностей символов в освобожденные области памяти.

8) Журнал событий.

Информация о событиях безопасности, фиксируемых средствами системы защиты, заносится в журнал событий. Такие сведения позволяют обеспечивать контроль работы различных механизмов защиты.

9) Дискреционное и полномочное разграничение доступа.

Механизм дискреционного управления доступом предназначен для эффективного ограничения доступа пользователей к информационным объектам. Основой этого механизма служит матрица доступа, определяющая права субъектов на доступ к объектам системы. Дискреционное управление доступом обеспечивает контроль как при локальных, так и при сетевых запросах. Кроме того, названный механизм является независимым от встроенного управления доступом в операционной системе Windows, а также предотвращает обход установленных прав доступа к информационным ресурсам.

Механизм полномочного управления доступом обеспечивает разграничение доступа пользователей к данным с различными уровнями конфиденциальности, что защищает данные от несанкционированного использования. Он также контролирует подключение и использование устройств, потоки конфиденциальной информации внутри системы. Кроме того, данный механизм следит за отображением защищаемых файлов в файловых менеджерах и управляет сетевыми интерфейсами, устанавливая допустимые уровни конфиденциальности для пользовательских сессий. Также осуществляется контроль печати документов с конфиденциальными данными, что дополнительно усиливает защиту информации.

При определенных вариантах настройки система Secret Net Studio обеспечивает соответствие требованиям для государственных информационных систем.

ГИС делятся на четыре класса защищенности: K1, K2, K3 и K4. Названные классы указывают на степень защиты имеющейся в ГИС информации. Четвертый класс обладает самым низким уровнем защиты, в то время как первый класс обеспечивает самый высокий уровень. Важность обрабатываемой в информационной системе информации и масштаб самой системы определяет степень ее защищенности. В связи с этим выдвигаются обязательные требования по защите данных в государственных информационных системах.

Для классов защищенности государственных информационных систем K1, K2, K3, K4 в СЗИ Secret Net Studio определены базовые наборы мер защиты информации, которые были перечислены в данной статье ранее. Также стоит отметить, что для классов защищенности K1 и K2 необходимо применять средства доверенной загрузки операционной системы, в качестве которого может использоваться, например, изделие «Программно-аппаратный комплекс Соболев». Чтобы обеспечить бесперебойную работу СЗИ Secret Net Studio в ГИС всех классов защищенности, рекомендуется устанавливать, как минимум, два сервера безопасности в каждом домене безопасности.

СЗИ Secret Net Studio имеет соответствующие сертификаты ФСБ России, которые подтверждают соответствие «Требованиям к средствам защиты информации ограниченного доступа, не содержащей сведений, составляющих государственную тайну, от несанкционированного доступа», а также сертификат ФСТЭК России, подтверждающий возможность применения названной системы защиты информации в ГИС до первого класса включительно.

В связи с длительным процессом перехода с операционной системы Windows на операционные системы семейства Linux возникает необходимость унифицированного средства защиты, способного корректно управлять политикой безопасности в инфраструктуре. В качестве такого средства компания «Код Безопасности» предлагает СЗИ Secret Net Studio для Linux. Данный продукт также является сертифицированным средством и имеет сертификаты ФСТЭК России, один из которых подтверждает возможность применения названной системы защиты информации в ГИС до первого класса включительно. Secret Net Studio для Linux имеет примерно те же механизмы защиты, что и Secret Net Studio для операционных систем Windows, за некоторым исключением. Так, например, в Secret Net Studio для Linux отсутствует теневое копирование информации и механизмы шифрования.

СЗИ Secret Net Studio для Windows, как и СЗИ Secret Net Studio для Linux, предусматривают совместный режим работы с программно-аппаратным комплексом «Соболь». Функция данного комплекса заключается в проверке прав доступа пользователя при входе в информационную систему, предотвращая несанкционированный доступ третьих лиц к ресурсам защищаемой информационной системы. Если пользователь предоставляет необходимые данные — персональный идентификатор и пароль, ему разрешается вход. В случае их отсутствия доступ к системе для данного пользователя блокируется.

Подводя итог всему вышесказанному, можно прийти к выводу, что использование СЗИ Secret Net Studio в государственных информационных системах является надежным решением для обеспечения безопасности информации, не составляющей государственную тайну, за счет широкого функционала и гибкости настроек, позволяющих адаптировать систему под конкретные требования.

Библиографический список

1. Федеральный закон "Об информации, информационных технологиях и о защите информации" от 27.07.2006 №149-ФЗ. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/?ysclid=m7ch0ay8rx259415589
2. Приказ ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах». – Режим доступа: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/prikazy/prikaz-fstek-rossii-ot-11-fevralya-2013-g-n-17?ysclid=m7chbeq265918238503>
3. Онлайн-документация продукта компании "Код безопасности" Соболь 4.4 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://docs.securitycode.ru/products/sobol_4_4/
4. Онлайн-документация продукта компании "Код безопасности" Secret Net Studio 8.10 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://docs.securitycode.ru/products/secret_net_studio_8_10/
5. Онлайн-документация продукта компании "Код безопасности" Secret Net Studio для Linux 8.1 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://docs.securitycode.ru/products/secret_net_studio_for_linux_8_1/

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ИЗУЧЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ХЕШИРОВАНИЯ ДАННЫХ

М.Е. Аверкин, Т.О. Аверин

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Россия, Рязань, meazerg@gmail.com

Аннотация. В данной работе исследуются различные алгоритмы хеширования данных с целью оценки их эффективности, безопасности и применимости в различных областях информационных технологий. Рассмотрены наиболее известные алгоритмы хеширования, встроенные в популярные языки программирования. Для сравнения использованы три метрики: скорость работы алгоритма, объем занимаемой памяти и лавинный эффект. Приведены результаты исследования, проведен сравнительный анализ алгоритмов, даны выводы о наиболее подходящих вариантах для различных задач.

Ключевые слова: хеш-функция, безопасность данных, хеш-код, алгоритмы хеширования, производительность, лавинный эффект.

STUDYING DATA HASHING ALGORITHMS

M.E. Averkin, T.O. Averin

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, meazerg@gmail.com

The summary. This paper studies various data hashing algorithms in order to evaluate their efficiency, security and applicability in various fields of information technologies. The most well-known hashing algorithms embedded in popular programming languages are considered. Three metrics are used for comparison: algorithm speed, memory footprint and avalanche effect. The results of the study are presented, the algorithms are analyzed comparatively, and conclusions are drawn about the most suitable variants for various tasks.

Keywords: hash function, data security, hash code, hashing algorithms, performance, avalanche effect.

Одной из главных проблем современных информационных технологий является обеспечение безопасности данных при передаче и хранении. В условиях постоянного роста объемов информации и увеличения числа кибератак хеш-функции играют ключевую роль в защите данных от несанкционированного доступа, подделки и потери целостности. Однако не все алгоритмы хеширования одинаково эффективны. Некоторые из них уже устарели и могут быть взломаны методами подбора или атаками на коллизии. Поэтому исследование различных алгоритмов хеширования и их характеристик является актуальной задачей.

Введение

Современные информационные технологии требуют надежных методов защиты данных. Одним из ключевых инструментов являются алгоритмы хеширования, которые позволяют представлять данные в компактной и уникальной форме. Основным принципом хеш-функции заключается в преобразовании входных данных любого размера в фиксированную последовательность символов, которая уникально идентифицирует исходные данные. Это делает хеш-функции незаменимыми в системах хранения паролей, цифровых подписях, проверке целостности данных и других приложениях. В данной работе проведено исследование эффективности хеш-функций, их практическое применение и анализ безопасности [5,6].

Основные характеристики хеш-функций

Хеш-функции представляют собой математические преобразования, которые принимают на вход данные произвольного размера и возвращают фиксированную строку битов. Основные этапы работы алгоритмов хеширования [5]:

- разбиение входных данных на блоки фиксированного размера;

- добавление-padding для выравнивания длины входного сообщения;
- итеративная обработка блоков с использованием нелинейных функций;
- вычисление итогового хеш-кода.

Формально, хеш-функция $H(x)$ определяется как отображение: $H : \{0,1\}^* \rightarrow \{0,1\}^n$,

где x — входное сообщение, а n — фиксированная длина хеш-кода.

Современные хеш-функции должны соответствовать следующим требованиям [5]:

- **Односторонность** – невозможность обратного восстановления исходных данных;
- **Стойкость к коллизиям** – сложность нахождения двух различных входных данных с одинаковым хешем;
- **Лавинный эффект** – небольшие изменения входных данных должны приводить к значительным изменениям выходного хеша;
- **Эффективность вычислений** – алгоритм должен работать быстро и не потреблять чрезмерные вычислительные ресурсы.

Сравнение алгоритмов хеширования

Сравним работу нескольких популярных алгоритмов.

MD5

MD5 (Message-Digest Algorithm 5) использует 128-битный хеш и состоит из 64 раундов обработки данных. Каждый блок данных размером 512 бит проходит через серию нелинейных операций [9]:

$$A = B + (A + F(B, C, D) + M[i] + T[i] \ll s)$$

где F — нелинейная функция [2];

$M[i]$ — часть входного блока;

$T[i]$ — константа;

$\ll s$ —циклический сдвиг [1].

SHA-1

SHA-1 использует 160-битный хеш и работает по схожему принципу с MD5, но включает 80 итераций обработки данных. Формула обновления состояния выглядит так:

$$A' = (A \ll 5) + f(B, C, D) + E + W[i] + K[i],$$

где $W[i]$ — расширенный входной блок, а $K[i]$ — константы для каждого этапа.

SHA-256

SHA-256 является частью семейства SHA-2 и использует 256-битный хеш. Основные операции включают битовые сдвиги, побитовые операции XOR и сложение по модулю 2 [7]:

$$S_1 = (E \gg 6) \oplus (E \gg 11) \oplus (E \gg 25) \quad Ch = (E \wedge F) \oplus ((\neg E) \wedge G).$$

BLAKE2

BLAKE2 использует модифицированную структуру хаотических операций, основанных на концепции ChaCha. Основное преобразование:

$$v[a] + v[b] + m[i]v[d] = (v[d] \oplus v[a]) \gg r.$$

BLAKE2 отличается высокой скоростью и устойчивостью к атакам, что делает его одним из лучших алгоритмов для современных приложений [8].

Анализ скорости хеширования

Одним из ключевых параметров хеш-функций является их производительность. Рассмотрим скорость работы популярных алгоритмов (данные усреднены по тестам на современном процессоре):

Таблица 1. Сравнение алгоритмов по скорости

Алгоритм	Скорость (MB/s)
MD5	500+
SHA-1	400+
SHA-256	200+
BLAKE2	800+

Из таблицы 1 видно, что BLAKE2 является наиболее производительным алгоритмом, в то время как SHA-256 работает медленнее, но обеспечивает более высокий уровень безопасности. Скорость хеширования играет ключевую роль при обработке больших объемов данных, например, в блокчейне и криптографии.

Безопасность хеш-функций

Безопасность хеш-функции определяется её устойчивостью к различным атакам [5]:

Коллизия первого рода (Preimage attack) – сложность нахождения входных данных по известному хешу.

Коллизия второго рода (Collision attack) – сложность нахождения двух различных входных данных с одинаковым хешем.

Атака дня рождения – статистическая атака, использующая вероятность совпадений.

Современные хеш-функции, такие как SHA-256 и BLAKE2, обладают высокой устойчивостью к данным атакам, в отличие от устаревших MD5 и SHA-1, которые были взломаны. Выбор надежного алгоритма хеширования необходим для защиты данных в цифровых системах [7, 8, 9, 10].

Лавинный эффект

Сравнение алгоритмов

Для сравнения были взяты самые известные на данный момент алгоритмы хеширования, многие из которых являются встроенными в базовые модули популярных языков программирования [6]:

- whirlpool
- sha3-512
- sha3-384
- sha3-256
- sha3-224
- sha2-512
- sha2-256
- sha2-224
- sha1
- ripemd-320
- ripemd-256
- ripemd-160
- ripemd-128
- md5

- md4
- blake2s-256
- blake2s-512

Для оценки лавинного эффекта было сгенерировано 2^{24} 32-битных чисел, каждое из которых отличалось от предыдущего только одним битом. Были вычислены хэши этих чисел для каждого алгоритма, и подсчитано количество различающихся битов в хэшах [3].

Результаты исследования

Приступим к сравнению. При тестировании данных алгоритмов были получены следующие замеры:

Таблица 2. Сравнение скорости работы алгоритмов хеширования

Алгоритм	Длина строки, которая подверглась хешированию	Время хеширования на 1 миллион записей (мс)
sha3-512	8	289.055
	16	296.163
	32	303.499
	64	309.377
	128	570.712
	256	1050.916
	512	1999.097
	1024	3641.230
	2048	7045.418
sha3-384	8	293.366
	16	298.96
	32	305.487
	64	320.683
	128	569.762
	256	819.781
	512	1293.118
	1024	2485.970
	2048	4938.528
sha3-256	8	300.497
	16	307.703
	32	320.882
	64	319.389
	128	327.975
	256	598.219
	512	1105.474
	1024	2072.486
	2048	4294.113
sha3-224	8	300.817
	16	316.298
	32	312.404
	64	322.006
	128	332.068
	256	578.899
	512	1057.394
	1024	2005.214
	2048	3986.206
	4096	7093.187

Продолжение таблицы 2

sha2-512	8	207.416
	16	208.653
	32	217.307
	64	233.639
	128	406.633
	256	583.109
	512	889.618
	1024	1466.785
	2048	2794.980
sha2-256	4096	5028.697
	8	72.901
	16	79.340
	32	81.547
	64	126.145
	128	168.086
	256	222.378
	512	344.459
	1024	581.661
sha2-224	2048	1100.486
	4096	2011.113
	8	71.440
	16	76.607
	32	78.418
	64	120.940
	128	169.505
	256	219.947
	512	345.303
sha1	1024	578.368
	2048	1105.630
	4096	2007.065
	8	69.534
	16	73.966
	32	80.051
	64	121.700
	128	154.164
	256	203.370
ripemd-320	512	312.650
	1024	539.538
	2048	1015.906
	4096	1877.063
	8	191.343
	16	191.988
	32	199.762
	64	359.868
	128	527.435
ripemd-256	256	812.425
	512	1402.906
	1024	2593.722
	2048	5048.907
	4096	9788.568
	8	124.652
	16	129.775
	32	134.534
	64	241.006
ripemd-256	128	336.996
	256	508.200
	512	868.768
	1024	1600.970
	2048	3048.315
	4096	5935.397

Продолжение таблицы 2

ripemd-160	8	221.396
	16	226.024
	32	230.480
	64	427.832
	128	613.599
	256	969.029
	512	1689.226
	1024	3129.530
	2048	6035.308
	4096	11812.243
ripemd-128	8	150.015
	16	156.877
	32	159.455
	64	287.694
	128	413.474
	256	634.903
	512	1083.804
	1024	1977.733
	2048	3789.409
	4096	7384.974
blake2b-512	8	169.202
	16	173.870
	32	181.786
	64	188.185
	128	196.501
	256	324.018
	512	512.321
	1024	917.139
	2048	1740.127
	4096	3369.274
blake2s-256	8	151.599
	16	155.878
	32	159.882
	64	170.657
	128	280.565
	256	473.541
	512	845.365
	1024	1617.407
	2048	3234.101
	4096	6243.357
whirlpool	8	440.438
	16	453.810
	32	827.117
	64	842.001
	128	1227.557
	256	1964.979
	512	3479.286
	1024	6551.966
	2048	12475.386
	4096	24629.346
md5	8	117.951
	16	126.099
	32	126.741
	64	225.913
	128	312.371
	256	468.214
	512	775.517
	1024	1391.872
	2048	2652.981
	4096	5121.610

Окончание таблицы 2

md4	8	90.760
	16	98.317
	32	97.721
	64	163.712
	128	226.373
	256	327.007
	512	541.924
	1024	969.353
	2048	1827.927
	4096	3524.013

Эти данные наглядно представлены на сравнительном графике рисунка 1.

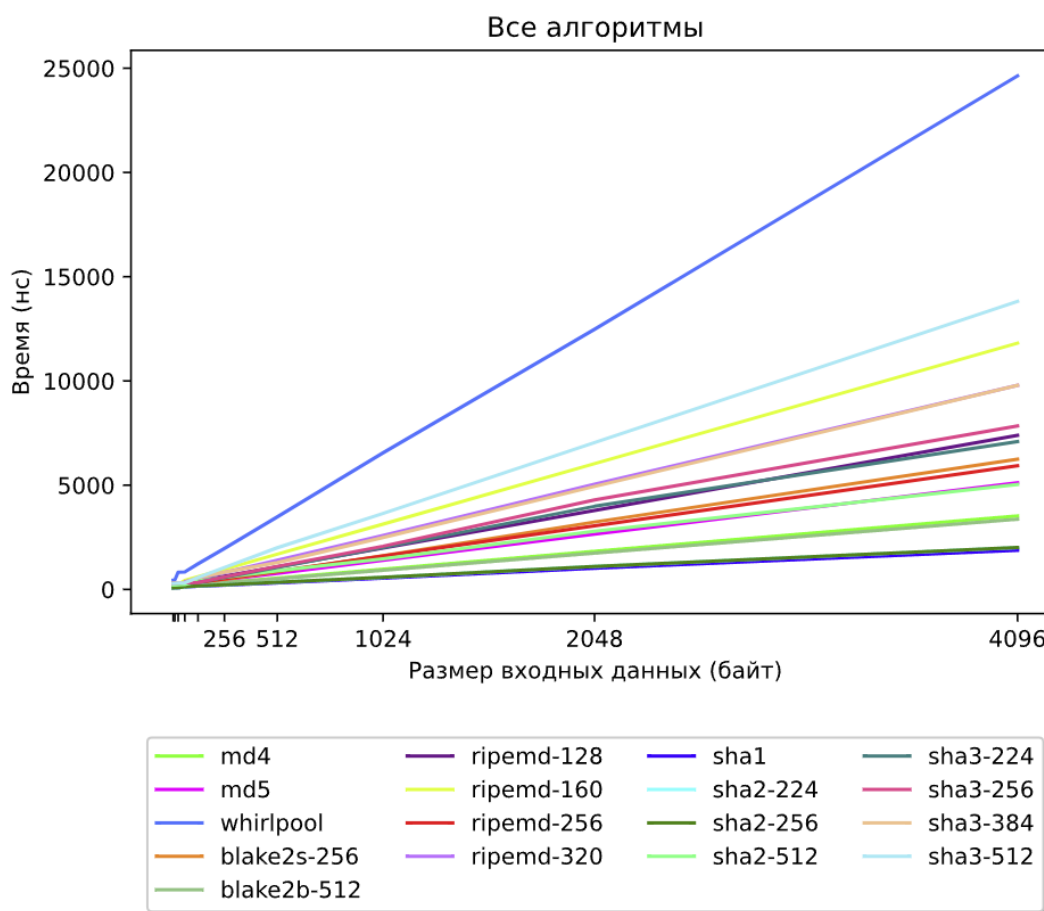


Рис. 1. Сравнительный график работы алгоритмов хеширования

Как видно из графика, алгоритмы семейств SHA-2, RIPEMD, BLAKE2, а также MD4, MD5 и SHA-1 показывают схожую, относительно высокую производительность. Заметно медленнее работают алгоритмы семейства SHA-3 и Whirlpool, чье время обработки существенно возрастает с увеличением размера входных данных.

На рисунке 2 подробно показана зависимость времени хеширования от размера входных данных для алгоритма sha3_512.

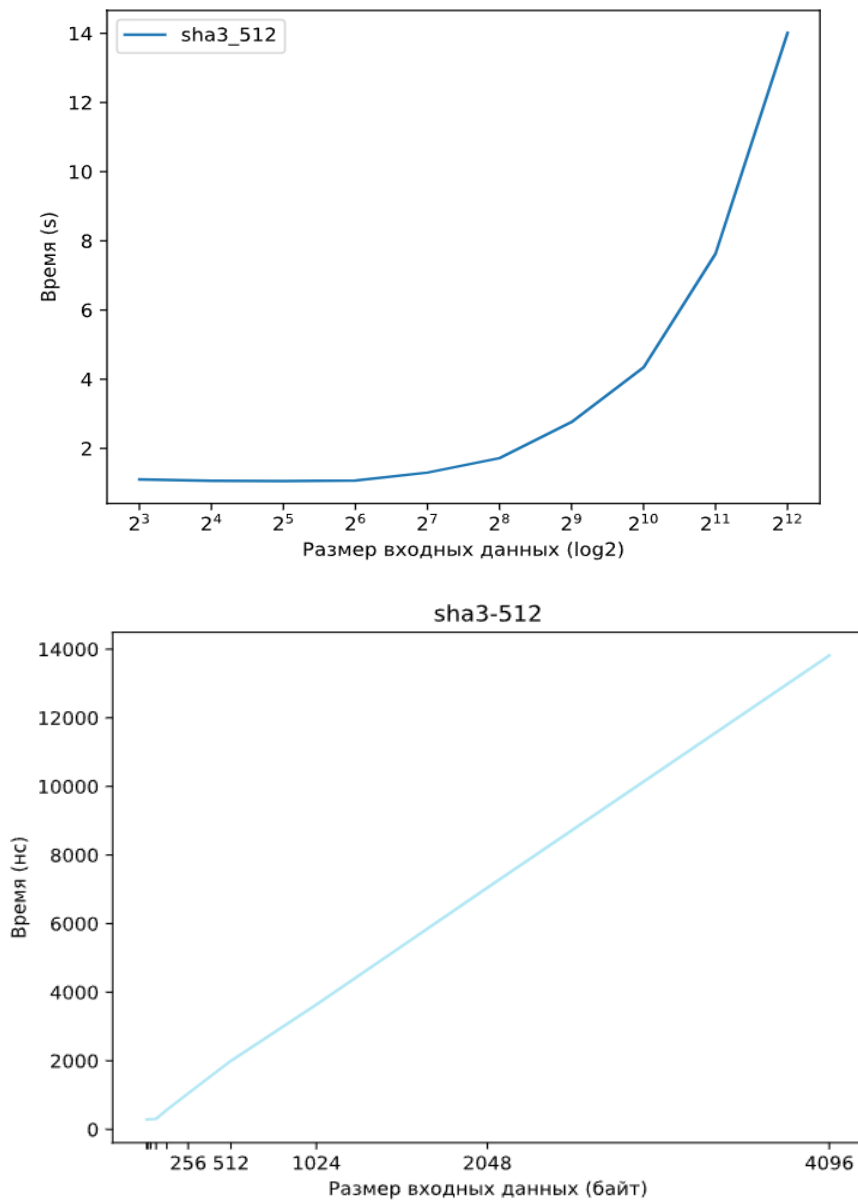


Рис. 2. Графики зависимости алгоритма sha3_512 от количества символов

Графики иллюстрируют практически линейный рост времени вычислений с увеличением объема данных, что характерно для итеративных хеш-функций, обрабатывающих входные данные блоками.

Аналогичная зависимость для устаревшего, но все еще встречающегося алгоритма sha1 представлена на рисунке 3.

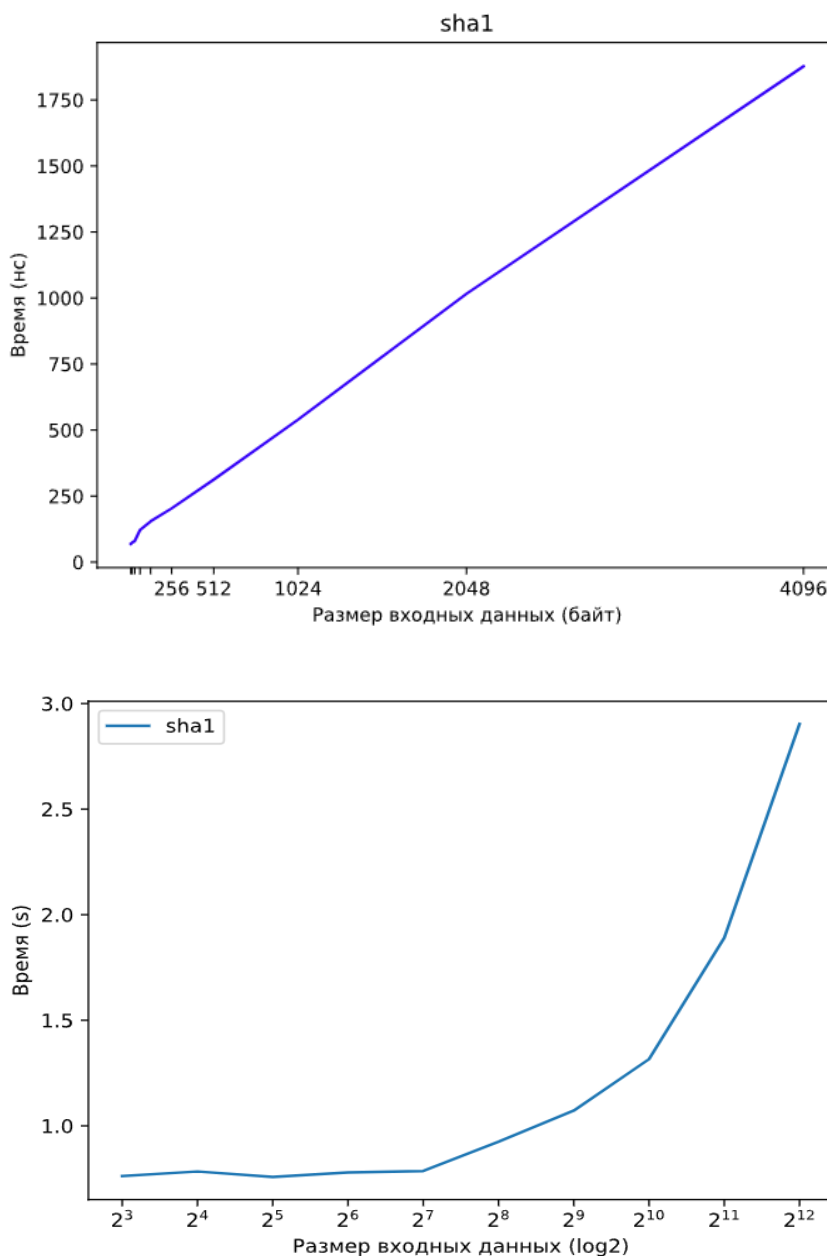


Рис. 3. Графики зависимости алгоритма sha1 от количества входных символов

Как видно при сравнении графиков на рисунках 2 и 3, sha1 работает значительно быстрее sha3_512, однако обладает известными уязвимостями, что делает его непригодным для использования в современных системах, требующих высокой безопасности.

На рисунке 4 приведены гистограммы распределения количества измененных битов в хеше для алгоритмов sha3-512 и md5 при изменении одного бита входных данных. Идеальное распределение стремится к нормальному с центром в 50% от длины хеша. Как видно из рисунка, sha3-512 демонстрирует распределение, близкое к идеальному, подтверждая сильный лавинный эффект. Наименее чувствительными оказались MD5 и MD4, что коррелирует с их известными слабостями в плане коллизионной стойкости.

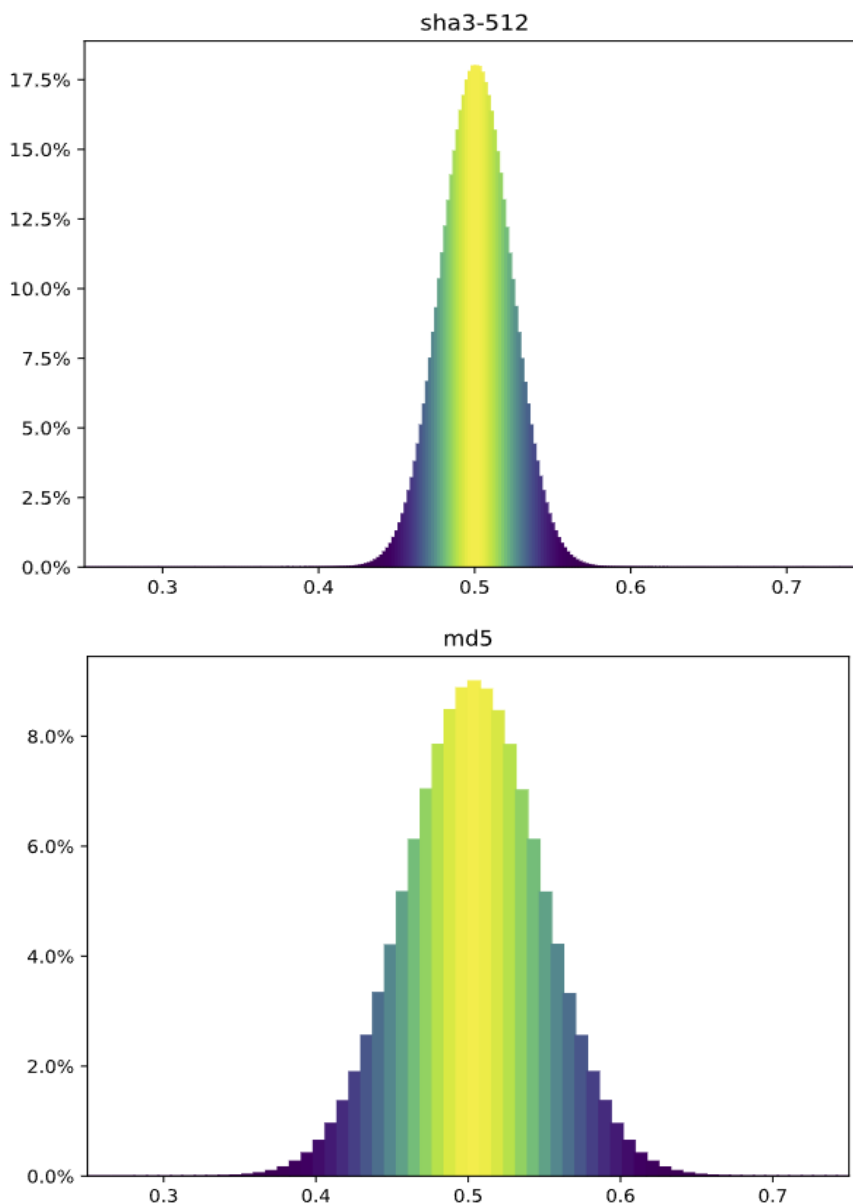


Рис. 4. Оценка лавинного эффекта md5

Результаты оценки эффективности алгоритмов хеширования показали, что наиболее быстрыми являются SHA3-512 и SHA3-384. Наименьший объем памяти требуют MD5, MD4 и RIPEMD-128. Наиболее простыми в редактировании являются SHA1, SHA2 и RIPEMD.

Оценка лавинного эффекта показала, что наиболее чувствительными к изменению входных данных являются SHA3-512, SHA3-384 и SHA2-512. Наименее чувствительными оказались MD5 и MD4.

Применение хеш-функций

Хеширование данных применяется в различных сферах информационной безопасности [4]:

- защита паролей – хранение хешей вместо самих паролей;
- цифровые подписи – обеспечение целостности сообщений;
- проверка целостности данных – контроль изменений в файлах;
- блокчейн – применение хеш-функций для создания цепочек блоков.

Выбор алгоритма зависит от уровня требуемой безопасности и скорости обработки данных.

Заключение

В ходе исследования были рассмотрены различные алгоритмы хеширования, их характеристики и устойчивость к атакам. Современные алгоритмы, такие как SHA-256 и BLAKE2, обладают высокой степенью безопасности и широко применяются в криптографии. На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что выбор хеш-функции зависит от требований к безопасности и производительности. Быстродействие и надежность алгоритмов определяют их применение в современных цифровых технологиях.

Библиографический список

1. Шнайер, Б. Прикладная криптография: Протоколы, алгоритмы и исходный код на C / Б. Шнайер. – М.: Вильямс, 2002. – 816 с.
2. Ривест, Р. Алгоритм MD5 / Р. Ривест. – RFC 1321, 1992. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/rfc1321>. – Дата доступа: 01.10.2023.
3. Национальный институт стандартов и технологий (NIST). Стандарт безопасного хеширования (SHS) / NIST. – FIPS PUB 180-4, 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.180-4.pdf>. – Дата доступа: 01.10.2023.
4. Аумассон, Ж.-П. BLAKE2: проще, меньше, быстрее, чем MD5 / Ж.-П. Аумассон. – IACR Cryptology ePrint Archive, 2013. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eprint.iacr.org/2013/322.pdf>. – Дата доступа: 01.10.2023.
5. Коблиц, Н. Курс теории чисел и криптографии / Н. Коблиц. – М.: Наука, 2001. – 254 с.
6. Морозов, С.С. Методики оценки экспортного потенциала / С.С. Морозов. – М.: ЭКСМО, 2014. – 133 с.
7. Карачев, И.А. Определение категории «экспортный потенциал предприятия» в контексте формирования региональной модели ВЭД / И.А. Карачев // Вестник Финансового университета [Электронный ресурс]. – 2015. – №4. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-kategorii-eksportnyu-potentsial-predpriyatiya-v-kontekste-formirovaniya-regionalnoy-modeli-ved>. – Дата доступа: 01.02.2018.
8. Кобзарев, А.М. Основные аспекты формирования экспортного потенциала на современном этапе / А.М. Кобзарев // Вестник БГЭУ. – 2012. – №3. – С.25 – 29.
9. Ривест, Р. Алгоритм SHA-1 / Р. Ривест. – RFC 3174, 2001. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/rfc3174>. – Дата доступа: 01.10.2023.
10. Национальный институт стандартов и технологий (NIST). Руководство по криптографическим стандартам / NIST. – SP 800-107, 2012. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-107r1.pdf>. – Дата доступа: 01.10.2023.

УДК 004.622; ГРНТИ 50.05.03

КАК ПРАВИЛЬНО ОРГАНИЗОВАТЬ ДОСТУП К ФАЙЛОВОЙ СИСТЕМЕ В DELPHI 10+: ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Н.С. Левакин, Ю.М. Кузьмин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, levakinnikita2024@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются основные принципы организации доступа к файловой системе в среде программирования Delphi версии 10+ на примере файловой системы FAT32. Особое внимание уделяется методам получения информации о структуре диска, включая чтение загрузочного сектора, таблицы размещения файлов (FAT) и корневого каталога. Приведены практические примеры использования функций работы с низкоуровневым доступом к данным логического диска, в частности, функция ReadSectors(). Разбираются возможные ошибки, возникающие при вычислении смещений и обработке файловых объектов, а также пути их устранения. Статья предназначена для студентов и разработчиков, интересующихся работой с файловыми системами и низкоуровневым программированием в Delphi.

Ключевые слова: файловая система FAT32, Delphi, доступ к диску, загрузочный сектор, файловые таблицы, корневой каталог.

HOW TO PROPERLY ORGANIZE FILE SYSTEM ACCESS IN DELPHI 10+: PRACTICAL RECOMMENDATIONS

N.S. Levakin, Y.M. Kuzmin

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, levakinnikita2024@yandex.ru

Abstract. This article explores the fundamental principles of organizing file system access in the Delphi version 10+ programming environment using the FAT32 file system as an example. Special attention is given to methods for retrieving disk structure information, including reading the boot sector, file allocation tables (FAT), and the root directory. Practical examples are provided for working with low-level access to logical disk data, particularly the ReadSectors() function. Common errors related to offset calculations and file object processing are analyzed, along with methods for resolving them. This article is intended for students and developers interested in working with file systems and low-level programming in Delphi.

Keywords: FAT32 file system, Delphi, disk access, boot sector, file allocation tables, root directory.

Многие студенты сталкиваются с проблемами при выполнении заданий, связанных с доступом к файловой системе и дальнейшим получением информации о ней. Например, такие данные как: содержимое загрузочного сектора, таблиц файлового расположения, корневого каталога и подкаталогов в дальнейшем. С точки зрения математики, а точнее вычисления блоков и смещения, проблем обычно не возникает, а вот получение необходимой информации по рассчитанным данным и дальнейшее преобразование с такой информацией вызывают вопросы. В данной статье будут рассмотрены примеры по получению начальных сведений и дальнейшего обращения к памяти логического диска на их основе для получения вышеописанной информации на языке объектно-ориентированного программирования Delphi версии 10 и выше. Для примера выбрана файловая система FAT32, а преобразовать представленные в статье сведения можно под любую другую файловую систему без лишних трудностей.

Первоначально необходимо получить доступ к данным загрузочного сектора (он же является нулевым в структуре дискового пространства). Для выполнения данной операции необходимо обратиться к описанному сектору и запросить ровно один сектор памяти. Чтобы выполнить приведенные ранее действия воспользуемся функцией ReadSectors() (см. пример 1), в параметрах которой необходимо передать: литеру логического диска, к которому идёт обращение, номер запрашиваемого сектора, количество секторов, которые надо считать в байтовый динамический массив, который будет выступать в качестве временного буфера, указатель на сам динамический массив, а также количество байт на сектор. Последний параметр можно не указывать, так как размер загрузочного сектора всегда равен 512 байтам, и если размер буфера до передачи в функцию установить заранее в необходимое количество позиций, то функция будет работать пока массив не заполнится полностью. Использование функции ReadSectors() показано в примере 2.

Пример 1. Текст функций

Текст функции ReadSectors():

```
function ReadSectors(drive:char; StartingSector, SectorCount: DWORD; Buffer: Pointer; BytesPerSector: DWORD): DWORD;
```

```
var
```

```
hFile: THandle;
```

```
br,TmpLo,TmpHi: DWORD;
```

```
FileSystemName: PChar;
```

```
MaxFileNameLen,FSFlags:DWORD;
```

```

    DriveLetter: Char;
begin
    Result := 0;
    DriveLetter:=UpCase(Descriptors.DriveComboBox1.Drive);
    GetMem(FileSystemName,100);
    GetVolumeInformation(PChar(DriveLetter+'\'), NIL, 0, NIL, MaxFileNameLen, FSFlags,
FileSystemName, 100);
    Descriptors.FileSystem := FileSystemName;
    FreeMem(FileSystemName,100);

    if FileSystemName = 'FAT32' then
        begin
            hFile := CreateFile(PChar('\\.\'+Drive+':'), GENERIC_READ, FILE_SHARE_READ, nil,
OPEN_EXISTING, FILE_ATTRIBUTE_NORMAL, 0);
            if hFile = INVALID_HANDLE_VALUE then
                Exit;
            end
        else
            begin
                ShowMessage('Недоступная файловая система');
                Exit;
            end;

            TmpLo := __Mul(StartingSector,BytesPerSector,TmpHi);

            if SetFilePointer(hFile,TmpLo,@TmpHi,FILE_BEGIN) = TmpLo then
                begin
                    SectorCount := SectorCount*BytesPerSector;
                    if ReadFile(hFile,Buffer^,SectorCount,br,nil) then
                        Result := br;
                    end;

                    CloseHandle(hFile);
                end;
            Текст вспомогательной функции _Mul():
            function __Mul(a,b: DWORD; var HiDWORD: DWORD): DWORD;
            asm
                mul edx
                mov [ecx],edx
            end;

```

Пример 2. Использование функции

```

Desc := 0;
drive := Drivecombobox1.drive;
setlength(buf,512);
while True do
    try
        begin
            if ReadSectors(drive, Desc, 1, pointer(buf)) <> 0 then
                begin

```

```

if Desc = 0 then
  begin
    {Определение адреса корневого каталога}
  end;
end;
end;
except
{Действия при возникновении некорректного поведения программы}
end;

```

Получив данные из загрузочного сектора, не представляет сложности вычислить местоположение в структуре диска таблиц файлового расположения и корневого каталога. Для вычисления начального сектора, например, первой FAT таблицы достаточно знать количество резервных секторов, а для нахождения начала корневого каталога необходимо воспользоваться следующей формулой:

Сектор корневого каталога = кол-во резервных секторов + кол-во копий FAT * кол-во секторов в FAT

Далее, используя значение вычисленного сектора, считать информацию о корневом каталоге при помощи описанной ранее функции ReadSectors(), определить его конец (иногда корневой каталог может быть разделён на несколько частей в структуре логического диска) и провести действия по преобразованию полученной информации в доступный пользователю вид (рис. 1).

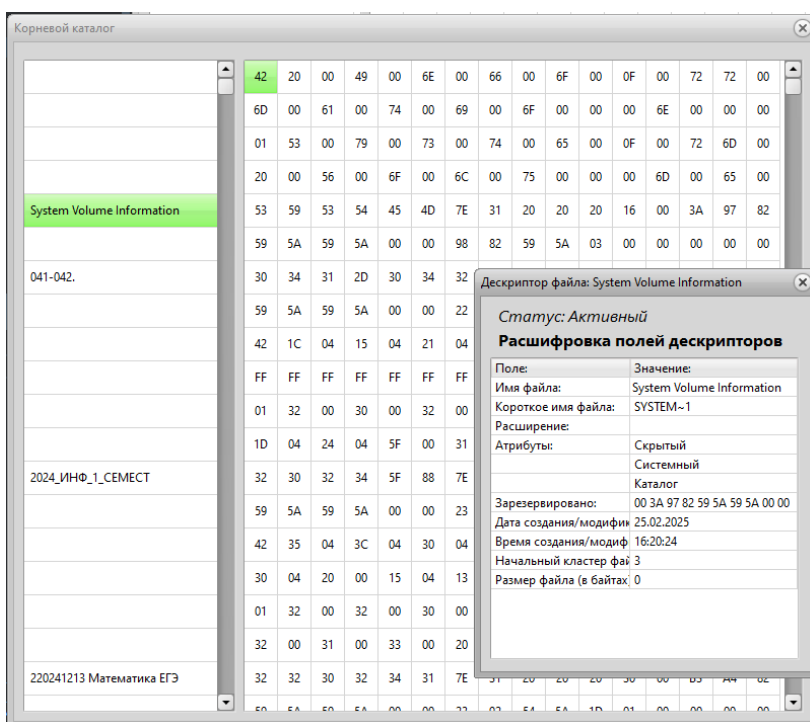


Рис. 1. Вариант программной реализации отображения корневого каталога

В файловой системе семейства FAT корневой каталог выглядит как перечисление дескрипторов файловых объектов, таких как: метка диска, каталоги, файлы (рис. 2). Обработка файловой системы NTFS производится по другому алгоритму, так как в ней отсутствуют понятия «корневой каталог» и «дескриптор». Описание устройства данной системы не входит в рамки текущей статьи.

001000000	8D 8E 82 9B 89 20 92 8E	8C 20 20 08 00 00 00 00	.....	.....
001000010	00 00 00 00 00 00 97 82	59 5A 00 00 00 00 00 00	.....YZ.....	.....
001000020	42 20 00 49 00 6E 00 66	00 6F 00 0F 00 72 72 00	B.I.n.f.o...r.	.....r
001000030	6D 00 61 00 74 00 69 00	6F 00 00 00 6E 00 00 00	m.a.t.i.o...n.	matio.n.
001000040	01 53 00 79 00 73 00 74	00 65 00 0F 00 72 6D 00	.S.y.s.t.e...m.	.....m
001000050	20 00 56 00 6F 00 6C 00	75 00 00 00 6D 00 65 00	.V.o.l.u...m.e.	Volu.me
001000060	53 59 53 54 45 4D 7E 31	20 20 20 16 00 3A 97 82	SYSTEM~1	....t...
001000070	59 5A 59 5A 00 00 98 82	59 5A 03 00 00 00 00 00	YZYZ...YZ.....	.....
001000080	30 34 31 2D 30 34 32 20	20 20 20 30 00 43 A2 82	041-042 0.Cf.	...'f...
001000090	59 5A 59 5A 00 00 22 92	54 5A 05 00 00 00 00 00	YZYZ..".TZ.....	.....
0010000A0	42 1C 04 15 04 21 04 22	04 00 00 0F 00 F2 FF FF	B...i"...öyy	.....
0010000B0	FF FF FF FF FF FF FF FF	FF FF 00 00 FF FF FF FF	YYYYYYYY...yy	.....
0010000C0	01 32 00 30 00 32 00 34	00 5F 00 0F 00 F2 18 04	.2.0.2.4...d..	.....И
0010000D0	1D 04 24 04 5F 00 31 00	5F 00 00 00 21 04 15 04	..\$._.1...l...	НФ_1_СЕ
0010000E0	32 30 32 34 5F 88 7E 31	20 20 20 30 00 5C A2 82	2024_~1 0.Cf.	....t...
0010000F0	59 5A 59 5A 00 00 23 92	54 5A 13 00 00 00 00 00	YZYZ..#.TZ.....	.....
001000100	42 35 04 3C 04 30 04 42	04 38 04 0F 00 B8 3A 04	B5.<.0.B.8...;.:	.....к
001000110	30 04 20 00 15 04 13 04	2D 04 00 00 00 00 FF FF	0. ....-...yy	a ETЭ...
001000120	01 32 00 32 00 30 00 32	00 34 00 0F 00 B8 31 00	.2.2.0.2.4...1.	.....1
001000130	32 00 31 00 33 00 20 00	1C 04 00 00 30 04 42 04	2.1.3. ....0.B.	213 M.at
001000140	32 32 30 32 34 31 7E 31	20 20 20 30 00 B3 A4 82	220241~1 0.*n.	....t...
001000150	59 5A 59 5A 00 00 23 92	54 5A 1D 01 00 00 00 00	YZYZ..#.TZ.....	.....ĝ..
001000160	41 18 04 3D 04 44 04 3E	04 40 04 0F 00 6E 3C 04	A..=.D.>@...n<.	.....м
001000170	30 04 42 04 38 04 3A 04	30 04 00 00 00 00 FF FF	0.B.8...0...yy	атика...
001000180	88 8D 94 8E 90 8C 7E 31	20 20 20 30 00 9E A6 82	.....~1 0.!.:	....t...
001000190	59 5A 59 5A 00 00 23 92	54 5A F5 03 00 00 00 00	YZYZ..#.TZö.....	.....e..
0010001A0	42 22 04 24 04 00 00 FF	FF FF FF 0F 00 8E FF FF	B".\$....yy...yy	.....

Рис. 2. Пример корневого каталога в файловой системе FAT32

После представления корневого каталога в доступном виде необходимо получить основной дескриптор выбранного файлового объекта и извлечь из него значение начального кластера. Имеется разница между основным дескриптором объекта с коротким (до 8 байт) и длинным (свыше 8 байт) названием. В первом случае поле одно, а во втором их два, представляющих собой старшую и младшую части, которые необходимо объединить, чтобы получить действительное значение начального кластера. Получив ранее упоминаемое значение необходимо пересчитать значение кластера в соответствующее реальности значение первого сектора запрашиваемого каталога:

Сектор = (Значение кластера – 2) * количество секторов на кластер + первый сектор корневого каталога

Далее, передаем рассчитанное значение сектора в функцию ReadSectors() и проводим необходимые действия по приведению полученной информации в приемлемый вид.

Несмотря на очевидную логичность этих операций, у студентов часто возникают с ними проблемы. Ошибки, как правило, связаны с некорректным вычислением смещения, неверным открытием файлов или путаницей в структуре каталогов. Именно поэтому важно не только понимать теоретические основы, но и регулярно практиковаться в работе с файловой системой, используя реальные примеры и анализируя возникающие ошибки.

Библиографический список

1. Бабаев С.И., Засорин С.В., Операционные системы. Лабораторный практикум / Бабаев С.И., Засорин С.В. - Б. м. : КУРС, 2020. - 240 с. - ISBN 978-5-906923-87-5.
2. Современные операционные системы [Текст] / Э. Таненбаум ; [пер. с англ. Н. Вильчинский, А. Лашкевич]. — 3-е изд. — Москва [и др.] : Питер, 2011. — 1115 с. : ил., табл. : 24 см — (Классика computer science); ISBN 978-5-459-00757-2.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ УГРОЗАМ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

Д.В. Ципиньо

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, laavidaalocaa@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается вопрос применения методов интеллектуального анализа в сфере кибербезопасности. Приводятся преимущества использования и описываются конкретные задачи, где их применение целесообразно. Затрагиваются проблемы и нюансы внедрения методов интеллектуального анализа в программное обеспечение. Исследуются уже существующие решения, где были применены методы интеллектуального анализа для защиты от угроз кибербезопасности. Также затрагивается вопрос конкурентоспособности новых отечественных программных продуктов в данной сфере с точки зрения закона о значимых объектах критической информационной инфраструктуры.

Ключевые слова: искусственный интеллект, методы интеллектуального анализа, машинное обучение, кибербезопасность, программное обеспечение, ЗОКИИ.

USING INTELLIGENCE ANALYSIS METHODS TO COUNTER CYBERSECURITY THREATS

D.V. Tsipino

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, laavidaalocaa@yandex.ru*

The summary. This paper deals with the issue of applying the methods of intelligence analysis in the field of cyber security. The advantages of their use are given and specific tasks where their application is expedient are described. The problems and nuances of the introduction of methods of intellectual analysis in software are touched upon. Existing solutions are studied, where the methods of intelligence analysis were successfully applied to protect against cybersecurity threats. Also the question is considered from the point of view of the legislation of the Russian Federation, ZOKII and what peculiarities of the software development process follow from it.

Keywords: artificial intelligence, intelligent analysis methods, machine learning, cyber security, software, ZOKII.

В последние несколько лет искусственный интеллект стал одним из ключевых направлений развития сферы информационных технологий, теперь его используют не только профильные специалисты, но и рядовые пользователи, а ИИ-агенты стараются внедрять в различное программное обеспечение. Одной из сфер, которую мог бы улучшить искусственный интеллект, является кибербезопасность. Первоочередной вопрос, который встает в данном контексте – а будет ли это эффективно и стоит ли тратить ресурсы на внедрение ИИ в данную сферу или более классические методы и так решают весь спектр связанных задач и попытка применить искусственный интеллект – просто нерациональная, навязчивая мысль, порожденная модой на данную технологию в целом.

Стараясь ответить на данный вопрос, можно выделить основную проблему классических методов – работу по принципу «черного списка», то есть с помощью них можно отследить только известные угрозы. Вредоносное ПО эволюционирует и меняет свою структуру с высокой скоростью, поэтому значительная его часть будет пропущена фильтрами на основе классических методов. Очень часто, круг задач, которые следует решать с применением технологий ИИ, можно описать правилом: используйте искусственный интеллект там, где в системе порождается столь широкий набор состояний, что описать общий алгоритм для решения задач либо невозможно вообще, либо крайне нерационально.

Распознавание ранее неизвестных угроз – подходит под этот принцип, поэтому можно сделать вывод, что использование искусственного интеллекта для этой задачи эффективно.

Также технологии искусственного интеллекта могут помочь решить задачи, которые в настоящий момент часто решаются в ручном режиме. Миллиарды пользователей сети еже-

дневно генерируют гигантское количество информации, которая требует анализа с целью помешать злоумышленникам осуществлять противоправную деятельность, снижать негативное влияние успешных атак и стараться не допустить их повторения в будущем. Использование специалистов для этого – чрезвычайно ресурсозатратный подход, применение же ИИ позволит анализировать информацию гораздо дешевле.

Проблемы использования технологий искусственного интеллекта в сфере кибербезопасности

На данный момент технологии, связанные с искусственным интеллектом, далеко не совершенны. Кибербезопасность – сфера, где даже доли процентов ошибок могут повлечь колоссальное влияние на пользователей, существующие же модели ИИ не способны обеспечить необходимый уровень допустимого риска. Кроме, возможно, пропуска вредоносных атак в классическом понимании, добавляются риски, специфичные именно для искусственного интеллекта. Например, успешные попытки обхода фильтров языковых моделей чат-ботов с помощью особых prompt-запросов с целью получения опасной информации – далеко не редкость, поэтому стоит учитывать, что злоумышленник, зная, что ему противодействует ИИ попытается использовать схожий подход. Также возможная обратная ситуация, где программное обеспечение на основе искусственного интеллекта наоборот заблокирует вполне легальный трафик, посчитав его вредоносным, что может повлечь совершенно нежелательный негативный user experience. Поэтому при разработке ПО с использованием технологий ИИ следует помнить об этих рисках и сочетать с классическими методами противодействия киберугрозам.

Существующие решения

Для более глубокого погружения в данную тему следует ознакомиться с методами интеллектуального анализа системных событий для обнаружения многошаговых кибератак, включая обучение с учителем и без учителя, а также использованием баз знаний, таких как экспертные правила и сценарии атак [1]. Узнать, как методы ИИ позволяют анализировать большие объёмы данных [2], а также визуализировать уязвимые точки компьютерных сетей [3].

На данный момент уже существуют примеры успешного внедрения технологий искусственного интеллекта для противодействия киберугрозам. Опыт этих систем следует использовать при разработке нового решения.

1. Darktrace

- Использует машинное обучение для обнаружения аномалий в сетевом трафике.
- Создает «цифровой иммунитет» сети, автоматически реагируя на потенциальные угрозы.

2. IBM Watson for Cyber Security

- Анализирует огромные массивы данных, включая отчеты о кибератаках, форумы хакеров, статьи и техническую документацию.
- Позволяет быстрее обнаруживать новые угрозы.

3. Google Chronicle

- Анализирует логи предприятий в режиме реального времени, выявляя сложные угрозы.

4. Microsoft Defender AI

- Использует ИИ для выявления атак на устройства и облачную инфраструктуру.

Возможности внедрения и конкурентоспособность с точки зрения закона о значимых объектах критической инфраструктуры

Согласно федеральному закону «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 N 187-ФЗ системы, относящиеся к объектам критической инфраструктуры, должны использовать программное обеспечение отечественного производства и не зависеть от иностранных вендоров. Очевидно, систем, направленных на противодействие киберугрозам, это напрямую касается. На данный момент существует высокая потребность в полностью российском ПО в сфере кибербезопасности. Это означает, что можно создавать собственные решения на основе опыта иностранных аналогов, при этом последние на российском рынке не смогут быть полноценными конкурентами, что сильно повышает востребованность создаваемого ПО.

Вывод

Таким образом, внедрение технологий искусственного интеллекта в сфере противодействия угрозам кибербезопасности целесообразно и эффективно. Классические методы противодействия киберугрозам по-прежнему необходимы, но некоторый спектр задач в сфере можно делегировать ИИ. Рынок в России имеет потребность в создании профильного отечественного ПО, что делает разработку таких систем оправданной целью.

Библиографический список

1. И. В. Котенко, Д. А. Левшун Методы интеллектуального анализа системных событий для обнаружения многошаговых кибератак: использование баз знаний. – Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, 2023
2. Анализ и прогнозирование уязвимостей с помощью искусственного интеллекта и больших языковых моделей [Сайт] – URL: <https://www.secuteck.ru/articles/analiz-i-prognozirovanie-uyazvimostej-s-pomoshchyu-iskusstvennogo-intellekta-i-bolshih-yazykovyh-modelej>
3. Использование машинного обучения в кибербезопасности [Сайт] – URL: <https://bigdataschool.ru/blog/ml-cybersecurity-use-cases-and-perspectives.html>

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О VIII МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2025»	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»	6
Секция «ЦИФРОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ»	6
Фетисова Л.А., Волченков В.А. Разработка модели формирования сигналов в среде математического моделирования SIMINTECH для изучения их характеристик обучающимися.....	6
Долматов Ю.И. Оценка безопасности применения радиолокационного метода для дистанционного мониторинга сердечного ритма человека.....	14
Кудимов Н.О. ПЛИС и их применение для реализации системы цифровой обработки сигналов.....	17
Захаркин А.А., Овинников А.А. Сравнение кривых зависимости вероятности битовой ошибки от отношения сигнал-шум кодов Хэмминга и основанных на них кодов Рида-Маллера.....	23
Виноградов Н.С., Овинников А.А. Исследование способов реализации декодера Витерби для БЧХ кодов на ПЛИС.....	26
Виклов Р.О. Оценка возможности использования модуля AWR1642boost для анализа variability сердечного ритма.....	30
Алексашин А.А., Волченков В.А. Разработка моделей обработки сигналов в отечественных средах математического моделирования.....	35
Филимонова М.О. Пример реализации нейросети для идентификации гласных букв.....	40
Сивов Н.Д., Волченков В.А. Разработка моделей систем связи в отечественных средах математического моделирования.....	46
Бондарь Ю.А., Захарченко В.Д., Коваленко И.Г. Оценка особенностей геометрии космических объектов сложной формы на основе дробного дифференцирования доплеровского сигнала в режиме реального времени.....	52
Секция «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»	59
Белов В.В., Эквист К.А. Методология использования базальтовой фибры в эффективных тонкостенных облицовочных изделиях.....	59
Ветшев К.А., Мишанина А.Ю. Определение комплексных соединений меди методом спектрофотометрии.....	65
Ветшев К.А., Бодрова О.А., Тарасюк В.А., Чикина С.Д. Исследование количественного содержания ионов меди и никеля в растворе спектрофотометрическим методом.....	68
Воробьева Е.В., Есина А.Р. Подбор ингибитора коррозии в кислой среде.....	72

Коваленко В.В., Нахаева П.А. Проблемы и перспективы использования ароматических соединений в качестве сырья для химической промышленности.....	76
Коваленко В.В., Кулавина Н.Ю., Шашкина Г.А. Применение гипотетических компонентов при моделировании разделения нефтяных фракций.....	81
Дубков М.В., Ветшев К.А. Исследование влияния различных условий ввода заряженных частиц на аналитические характеристики трипольного масс-анализатора.....	85
Дубков М.В., Ветшева А.Д. Исследование работы тандемного квадрупольного масс-фильтра во второй зоне диаграммы стабильности.....	88
Архипова Д.С., Емельянов А.В., Лызлов П.В., Лызлова М.В., Мельник Г.И. Изучение структурно-группового состава керосино-газойлевых фракций для использования в качестве рабочей жидкости электроэрозионной обработки материалов.....	94
Храпова Е.Ю., Мельник Г.И. Влияние состава на эксплуатационные свойства мембранных кровельных материалов.....	101
Воробьева Е.В., Новикова Е.А. Исследование возможности использования биоремедиации в процессе утилизации осадков сточных вод.....	104
Сусова А.К., Семенов А.Р. Разработка метода количественного анализа содержания ароматических углеводородов в дизельном топливе на основе измерения ИК спектра.....	108
Смирнов Е.С., Семенов А.Р. Применение оживителя азота на установке разделения воздуха.....	111

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ.
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ».....**

116

**Секция «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ».....**

116

Сапрыкин А.Н. Проектирование условных графических обозначений электронных компонентов в САПР печатных плат KICAD.....	116
Сапрыкина А.О., Ракчеева А.В. Адаптация технической документации систем автоматизированного проектирования электронных средств в мультиязычном контексте.....	120
Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю. Требования к разработке автоматических средств проектирования электронных модулей.....	125
Селифанова Е.А., Трохимчук В.В. Исследование методов описания, анализа и моделирования технологических процессов в производстве ЭВМ.....	129
Букина Ю.А., Чугунов Е.В. Эффективное проектирование печатных плат с помощью DipTrace и современных IT-решений.....	134
Гвоздков А.А., Орлов В.Д. Особенности моделирования электронных средств в Micro Cap.....	138

Секция «МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В САПР»	142
Скворцов С.В., Хрюкин В.И. Автоматизированная система экспертной оценки проектных альтернатив методами кластерного анализа.....	142
Дубинин В.Н., Зорин В.Н., Дубинин А.В., Климкина Л.П. Моделирование и верификация производственной системы FESTO в ChatGPT.....	149
Сапрыкина А.О., Яркович А.А. Особенности применения искусственного интеллекта в рамках процесса локализации видеоигр.....	156
Филиппин И.С., Осокин А.В. Сквозная интеграция различных систем управления нормативно-справочной информации.....	160
Кошелев А.Д., Кошелева М.С. Применение цифровых двойников в персонализации клиентов.....	163
Секция «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ»	167
Ни В.В. Анализ методического документа для разработки стенда проверки программного обеспечения на соответствие требованиям ФСТЭК.....	167
Федоров М.И., Ликанов Д.Е., Кузьмин Ю.М. Разработка программы для электронной регистрации и хранения документов.....	171
Королев М.А., Калинкина Т.И. Развитие и стандартизация международных идентификаторов в здравоохранении: опыт российского сегмента OID Минздрава.....	177
Колесенков Н.А., Любакова А.Р., Макушева А.Р. Применение системы защиты SECRET NET STUDIO для защиты данных в государственных информационных системах.....	184
Аверкин М.Е., Аверин Т.О. Изучение алгоритмов хеширования данных.....	189
Левакин Н.С., Кузьмин Ю.М. Как правильно организовать доступ к файловой системе В DELPHI 10+: практические рекомендации.....	199
Ципиньо Д.В. Использование методов интеллектуального анализа для противодействия угрозам кибербезопасности.....	204

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Научное издание

В 10 томах

Том 3

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.25. Формат 60x84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л..

Тираж 100 экз. Заказ №.

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Редакционно-издательский центр РГРТУ,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

ISBN 978-5-7722-0425-2



9 785772 204252 >