

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И. РАЗЗАКОВА

**Компьютерные и информационные
технологии в науке, инженерии
и управлении**

«КомТех-2023»

Материалы Всероссийской научно-технической
конференции с международным участием

В двух томах

Том I

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2023

УДК 004:[001+62+005](063)

ББК 32.973-018.2+32.81я31

К63

Ответственный редактор С. И. Клевцов

К63 Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2023» : материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023.

ISBN 978-5-9275-4442-4

Т. 1. – 309 с.

ISBN 978-5-9275-4443-1 (Т. 1)

В настоящее издание вошли доклады по материалам Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О. Н. Пьявченко «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении», рекомендованные к опубликованию Оргкомитетом.

В первый том материалов конференции вошли доклады участников конференции, посвященные методам, моделям и алгоритмам обработки информации, методам, системам и средствам обработки и моделирования физических сигналов, полей и процессов, авиационным системам, технологиям беспилотных летательных аппаратов, современным микро- и нанoeлектронным системам и технологиям, проблемам промышленного дизайна и аддитивным технологиям.

Доклады могут быть интересны научным работникам, преподавателям, инженерам и студентам, специализирующимся в применении компьютерной обработки информации в различных областях деятельности человека.

УДК 004:[001+62+005](063)

ББК 32.973-018.2+32.81я31

ISBN 978-5-9275-4443-1 (Т. 1)

ISBN 978-5-9275-4442-4

© Южный федеральный университет, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Секция – Методы, модели и алгоритмы обработки информации

Зайцев Максим Дмитриевич, Хомутская Ольга Владиславовна, Копылов Денис Александрович ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФОНЕТИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ: КОМПЛЕКСНЫЙ АЛГОРИТМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ОБУЧАЮЩИХ АУДИОДАНЫХ	9
Копылов Денис Александрович, Зайцев Максим Дмитриевич, Хомутская Ольга Владиславовна ФОРМИРОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СБОРКИ ДЕТАЛЕЙ.....	16
Гушанский Сергей Михайлович, Потапов Виктор Сергеевич РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЯТИКУБИТНОГО КВАНТОВОГО КОДА ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК СО СВЕРХПРОВОДЯЩИМИ КУБИТАМИ.....	21
Гуркина Алина Анатольевна АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ.....	28
Хлуденев Александр Владимирович ИНТЕГРАЦИЯ СРЕДСТВ СИНТЕЗА ДОПУСКОВ С ИНСТРУМЕНТАМИ EDA.....	33
Дмитриев Александр Георгиевич ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ АГРЕГИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ	39
Егорчев Антон Александрович, Чикрин Дмитрий Евгеньевич, Фахрутдинов Адель Фердинандович АЛГОРИТМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ МЕЛКОЙ МОТОРИКИ ПО ДАННЫМ ДАТЧИКОВ СМАРТФОНА СИСТЕМЫ БИОМЕДИЦИНСКОГО МОНИТОРИНГА.....	43

Федосов Валентин Петрович, Аль-Мусави Висам Мохаммедтаки М. Джавади АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА В СИСТЕМАХ SISO И МІМО ДЛЯ КАНАЛА 3D-WIMAX В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ В РАЙОНЕ С ПЛОТНОЙ ЗАСТРОЙКОЙ.....	50
Проскуряков Александр Викторович ПРОЦЕСС ВЕРИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ФРАГМЕНТОВ МЕДИЦИНСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПОДСИСТЕМОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КАК КИБЕРФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ	57
Проскуряков Александр Викторович ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ.....	69
Шарипов Марсель Ривкатович, Фахрутдинов Адель Фердинандович, Кокунин Петр Анатольевич МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ ОТ СЕНСОРОВ СМАРТФОНА.....	83
Егорчев Антон Александрович, Сарамбаев Никита Андреевич РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ДЫХАНИЯ ПО ДАННЫМ С ВИБРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ СМАРТФОНА.....	91
Буланов Сергей Георгиевич КОМПЬЮТЕРНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ.....	97
Козловский Александр Вячеславович СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ МЕТОДА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ.....	102

Муртазина Нэля Маратовна, Шпаковская Оксана Юрьевна, Леонова Антонина Валерьевна РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГОТОВНОСТИ ВСАДНИКА И ЛОШАДИ К ИППОТЕРАПИИ.....	108
Калиберда Игорь Владимирович, Григориadis Георгис Михайлович ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ.....	112
Клевцов Сергей Иванович МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ.....	119
Пьявченко Алексей Олегович, Лищенко Егор Владимирович МЕТОД KNN И ВОПРОСЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА.....	125
Удод Евгений Васильевич ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ МЕТОДОМ ЛАГРАНЖА, ПРИ ИСКЛЮЧЕНИИ НЕДОСТОВЕРНЫХ ЗНАЧЕНИЙ В СИСТЕМАХ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ.....	135
Курдошев Зарифжон Мансур угли, Пчелинцев Евгений Анатольевич РОЛЬ ОПТИМИЗАТОРОВ И ФУНКЦИЙ ПОТЕРЬ В МОДЕЛЯХ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВЫХ АКТИВОВ	142
 Секция – Методы, системы и средства обработки и моделирования физических сигналов, полей и процессов	
Гузь Егор Эдуардович, Кисель Наталья Николаевна ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НИЗКОПРОФИЛЬНОЙ СШП-АНТЕННЫ ДЛЯ БПЛА	151
Алябьев Сергей Игоревич, Кисель Наталья Николаевна ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОПРОФИЛЬНОЙ АНТЕННЫ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ БПЛА	157

Дзущев Роман Константинович, Кисель Наталья Николаевна ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ.....	161
Цветков Федор Алексеевич, Михайловский Виталий Алексеевич, Васильев Василий Васильевич ОБ ОПЫТЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ OFDM-СИГНАЛА НА LABVIEW.....	168
Рыбаков Дмитрий Григорьевич, Беликов Андрей Николаевич МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОННОМ МОДУЛЕ УПРАВЛЕНИЯ «УМНЫМ» ДОМОМ...	177
Беликов Андрей Николаевич, Рыбаков Дмитрий Григорьевич МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ЭЛЕКТРОННОМ МОДУЛЕ ЗВУКОВОГО ПРЕДУСИЛИТЕЛЯ...	183
Макаров Анатолий Михайлович, Ермаков Александр Сергеевич ТЕОРИЯ ОПЕРАТОРОВ МЕЛЛИНА В ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ.....	188
Каретникова Диана Олеговна, Конченков Владимир Игоревич РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЛУХА НА ОСНОВЕ ПАР МИКРОФОНОВ.....	195
Секция – Авиационные системы, технологии беспилотных летательных аппаратов	
Носрати Мехрдад, Аббасов Ифтихар Балакишиевич ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМОСА.....	201
Джаныбеков Руслан Юсуфович, Аббасов Ифтихар Балакишиевич НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ПРОЕКТИРОВАНИИ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	206
Зарайченков Станислав Максимович ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ БПЛА: ОТ ПЕРВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДО СОВРЕМЕННЫХ ДОСТИЖНИЙ.....	213
Асовский Валерий Павлович, Кузьменко Алла Сергеевна, Асовский Алексей Валериевич МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОПРЫСКИВАНИЯ СКЛОНОВ БЕСПИЛОТНЫМИ ВОЗДУШНЫМИ СУДМИ.....	219

Секция – **Современные микро- и нанoeлектронные системы и технологии**

Андрианов Артур Валерьевич, Зикий Анатолий Николаевич, Кочубей Алексей Сергеевич АТТЕНЮАТОР САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	28
Андрианов Артур Валерьевич, Зикий Анатолий Николаевич, Кочубей Алексей Сергеевич СТУПЕНЧАТЫЙ АТТЕНЮАТОР С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	235
Мараховский Михаил Алексеевич, Панич Александр Анатольевич, Дзюба Елена Борисовна ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ КОНСОЛИДИРОВАННОГО СПЕКАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПАКЕТНЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АКТЮАТОРОВ.....	245
Прокопенко Николай Николаевич, Сергеенко Марсель Алексеевич, Клейменкин Дмитрий Владимирович БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ИНВЕРТИРУЮЩИЙ СВТ ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИМИ ЦЕПЯМИ КОРРЕКЦИИ В ОБЩИХ ЭМИТТЕРНЫХ ЦЕПЯХ ВХОДНЫХ КАСКАДОВ.....	252
Прокопенко Николай Николаевич, Чумаков Владислав Евгеньевич, Кузнецов Дмитрий Владимирович ПРЕДЕЛЬНОЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЕ СВТ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ С ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕЙ ЦЕПЬЮ КОРРЕКЦИИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА.....	259

Секция – **Промышленный дизайн и аддитивные технологии**

Занин Константин Михайлович ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛИРОВАННОГО РЕФЛЕКТОРА ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ С КОНТУРНОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ.....	267
Орехов Вячеслав Валентинович, Русин Дмитрий Иванович ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЖИЛОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ.....	274

Симонова Наталья Андреевна, Орехов Вячеслав Валентинович, Аббасов Ифтихар Балакишиевич ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭТНИЧЕСКОЙ ДЕТСКОЙ ПЛОЩАДКИ «ХОЛОЛО».....	281
Калашникова Татьяна Григорьевна, Каспшакова Виктория Олеговна, Подгорная Анастасия Константиновна, Суслина Олеся Марковна, Чернобривец Анастасия Алексеевна ДИЗАЙН И 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ИТ-КОМПАНИИ.....	292
Пилевина Яна Борисовна, Гривцов Владимир Владиславович, Литюк Леонид Викторович ДИЗАЙН СБОРНИКА СТИХОВ ОМАРА ХАЙЯМА «РУБАИ»	299

Секция – Методы, модели и алгоритмы обработки информации

УДК 004.852

Зайцев Максим Дмитриевич, Хомутская Ольга Владиславовна,
Копылов Денис Александрович

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФОНЕТИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ: КОМПЛЕКСНЫЙ АЛГОРИТМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ОБУЧАЮЩИХ АУДИОДАННЫХ

Целью данной работы является разработка алгоритма визуализации для предварительного анализа обучающих данных в моделях автоматического распознавания речи (ASR) на примере набора данных TIMIT. Задачи работы включают извлечение аудиофрагментов, специфичных для конкретной фонемы, получение мел-кепстральных коэффициентов (MFCC) для спектральных характеристик и применение алгоритма снижения размерности t -SNE для двухмерной визуализации. Полученная визуализация выявляет сложные взаимосвязи между фонемами, которые выходят за рамки акустического сходства. Анализ демонстрирует важность учета артикуляционных, акустических и перцептивных аспектов звуков речи при обучении и оценке моделей ASR. Хотя визуализация не дает однозначных выводов о структуре данных, она подчеркивает необходимость дальнейшего изучения дополнительных характеристик и свойств для лучшего понимания и отражения тонкостей человеческой речи.

Автоматическое распознавание речи, алгоритм визуализации, датасет TIMIT, mel-cepstral коэффициенты, снижение размерности, t -SNE, классификация фонем, акустическое сходство, артикуляционные свойства, перцептивные свойства.

Zaitsev Maxim Dmitrievich, Khomutskaya Olga Vladislavovna,
Kopylov Denis Alexandrovich

VISUALISING PHONETIC RELATIONSHIPS: A COMPREHENSIVE ALGORITHM FOR PRE-ANALYSIS OF TRAINING AUDIO DATA

This study aims to develop a visualization algorithm for preliminary analysis of training data in automatic speech recognition (ASR) models, using the TIMIT dataset as an example. The research objectives involve extracting phoneme-specific audio

fragments, obtaining mel-cepstral coefficients (MFCCs) for spectral features, and applying dimensionality reduction (t-SNE) for 2D visualization. The resulting visualization reveals complex relationships between phonemes that go beyond acoustic similarity. The analysis emphasizes the importance of considering articulatory, acoustic, and perceptual aspects of speech sounds when training and evaluating ASR models. Although the visualization does not provide unequivocal conclusions about the data structure, it highlights the need for further exploration of additional features and representations to better understand and capture the intricacies of human speech.

Automatic speech recognition, visualization algorithm, TIMIT dataset, mel-cepstral coefficients, dimensionality reduction, t-SNE, phoneme classification, acoustic similarity, articulatory properties, perceptual properties.

Введение

В последнее десятилетие технологии глубокого обучения получили широкое распространение и применение в решении различных задач, благодаря чему были достигнуты выдающиеся результаты в области компьютерного зрения, обработки естественного языка, распознавания речи и многих других [1, 2, 3, 4, 5].

Несмотря на значительные достижения, разработка моделей глубокого обучения - сложный и трудоемкий процесс, не имеющий универсального подхода. Качество прогнозирования моделей глубокого обучения все еще может не соответствовать ожиданиям, возможно, из-за выбора неправильной или слишком упрощенной архитектуры для анализа сложных данных. Еще одним серьезным препятствием в глубоком обучении является необходимость большого количества данных для обучения модели, которые должны быть собраны, обработаны и размечены. Ручная разметка данных может привести к многочисленным ошибкам, особенно при работе со специализированными предметными областями, что увеличивает стоимость обучения и негативно сказывается на его результатах. Кроме того, обучающих набор данных может содержать зашумленные, несбалансированные и аномальные данные. Эти проблемы подчеркивают важность тщательного предварительного исследования обучающих данных перед обучением моделей.

Такое исследование включает анализ распределения данных, обнаружение аномалий, изучение статистических свойств и выявление любых несоответствий в разбиении данных. Анализируя его результаты, исследователи могут принимать обоснованные решения о том, стоит ли

экспериментировать с существующими моделями, включать дополнительные параметры или переходить к более сложным архитектурам. Однако анализ современных медиаданных с помощью статистических методов может быть сложным из-за их многомерной формы, что требует определения соответствующих параметров для анализа. Для решения этой проблемы исследователи могут отобразить высокоразмерные данные в низкоразмерное пространство, чтобы применить классические инструменты статистического анализа и визуализации, сохранив при этом важную информацию. Этот метод отображения хорошо отработан и успешно применяется для предварительного анализа табличных данных и изображений [6].

Однако разработка систем автоматического распознавания речи требует более сложной и ответственной процедуры предварительного анализа обучающих данных, представляющих собой набор аудиофайлов. Во-первых, аудиозаписи необходимо прослушать, чтобы проверить правильность разметки данных, что может оказаться сложной задачей при оценке отдельных фонем. Во-вторых, из аудиофайлов необходимо извлечь полезные характеристики, отражающие спектральные характеристики человеческой речи, в то время как аудиозаписи могут различаться по продолжительности, что создает трудности при предварительной обработке и извлечении характеристик. Кроме того, интерпретация визуализаций на уровне фонем может быть затруднена из-за сложности фонетической классификации.

Для решения этих проблем был разработан комплексный алгоритм предварительного анализа обучающих аудиоданных с учетом вышеупомянутых обстоятельств. Алгоритм использует алгоритмы вычисления мелкеспектральных коэффициентов (MFCC) и понижения размерности t-SNE для получения низкоразмерной и репрезентативной формы аудиоданных. Полученные визуализации были проверены на применимость в анализе данных предварительного обучения с использованием общедоступного набора аудиозаписей речи TIMIT.

Основная часть

Для обучения моделей глубокого обучения в системах автоматического распознавания речи используется речевой корпус, который представляет собой базу данных аудиофайлов и соответствующих им текстовых транскрипций. Транскрипции могут иметь несколько лингвистических уровней, таких как фонемы, слоги, фразы или предложения, что позволяет идентифицировать фрагменты, содержащие произношения нужных лингвистических единиц.

На момент публикации настоящей работы в публичном доступе нет речевых корпусов на русском языке с фонетической транскрипцией. Отсутствие такой транскрипции является существенным ограничением для апробирования описываемого алгоритма статистического анализа и визуализации, поэтому в настоящей работе был выбран речевой корпус английского языка TIMIT Dataset [7]. Этот корпус включает в себя большое количество аудиозаписей с записями фонетически разнообразных предложений. Все спикеры являются носителями восьми основных диалектов американского английского.

Для работы с речевыми корпусами необходима единая система маркировки фонем, и для английских звуков в системах распознавания речи обычно используется фонетический алфавит ARPAbet, в основе которого Международный фонетический алфавит (МФА).

Для визуализации в двух- или трехмерном пространстве, все аудиозаписи должны быть сначала приведены к одинаковой длине без ущерба для дальнейшего извлечения акустических признаков. Аудиозаписи можно представить в виде векторов из R^n , где n — длина самой длинной аудиофайла. Для того, чтобы это было справедливо для всех файлов, размерность которых не одинакова, к каждому файлу конкатенируется вектор, состоящий из нулей, так, чтобы финальная длина нового вектора была бы равна n .

Затем каждой полученный вектор необходимо представить в форме, пригодной для дальнейшего анализа акустических различий между фонемами. Другими словами, нужно найти такую форму представления данных, которая отражала бы уникальные спектральные характеристики аудио сигнала.

В последнее время широкую популярность получил алгоритм вычисления мел-кепстральных коэффициентов (MFCC), который имеет ряд преимуществ для анализа человеческой речи. К ним можно отнести способность учитывать логарифмическую природу человеческого слуха, захватывать важную спектральную информацию в диапазоне частот с использованием треугольных фильтров и оставаться устойчивым к шуму и другим искажениям [8]. Какой бы алгоритм представления аудиоданных не был выбран, выходная форма все так же будет многомерной, что затрудняет статистический анализ и визуализацию данных. Для этого нужно применить алгоритм понижения размерности, который сохранит отношение между высокоразмерным и низкоразмерным представлением данных.

В этом случае целесообразно использовать алгоритм стохастического вложения соседей с t -распределением (t-SNE), который выявляет нелинейные связи в многомерных данных и проецирует их в низкоразмерное пространство, моделируя сходство между точками данных в виде условных вероятностей и стремясь минимизировать расхождение между многомерными и низкоразмерными распределениями. По сравнению с другими методами, t-SNE эффективно отражает локальные зависимости в данных, сохраняет относительные расстояния между точками данных и обеспечивает более интуитивную визуализацию сложных наборов данных путем выявления кластеров и закономерностей, которые могут быть трудно различимы в исходном высокоразмерном представлении [9].

Таким образом, преобразование аудио данных в форму, пригодную для статистического анализа и визуализации представляет из себя последовательность следующих вычислений:

- 1) приведение всех аудиозаписей к одинаковой длине;
- 2) вычисление мел-кепстральных коэффициентов для каждой аудиозаписи;
- 3) понижение размерности полученных мел-кепстральных коэффициентов с помощью алгоритма t-SNE.

Применение разработанного алгоритма позволило получить визуализации, изучение и интерпретация которых позволила дали ценные сведения о взаимосвязях между фонемами на основе их акустических свойств.

В визуализации некоторые фонемы образовывали различимые кластеры на основе их акустического сходства, причем три относительно четких кластера представляли фрикативные, гласные и полугласные звуки. Назальные звуки оказались рядом с фрикативными и полугласными звуками из-за их общих сонорных характеристик. Взрывные согласные разделились на подкластеры, возможно, связанные с различиями в артикуляции и озвучивании. Аффрикаты, обладающие свойствами как взрывных согласных, так и фрикативных, оказались рассеянными среди других кластеров, вероятно, из-за их малочисленности в наборе данных. Эти наблюдаемые закономерности можно объяснить фонетическим сходством и различиями в артикуляционных и акустических свойствах различных классов фонем [10].

Несмотря на отсутствие четко различимых кластеров для некоторых классов фонем, визуализация показала главное: акустически похожие звуки оказывались рядом друг с другом, образуя кластеры. Однако алгоритм не полностью отразил другие особенности фонем, лежащие в основе

фонетической классификации, такие как артикуляционные и перцептивные свойства.

Артикуляционные характеристики описывают способ и место артикуляции в голосовом тракте. Эти характеристики включают такие аспекты, как вибрация голосовых связок, наличие сужения или закрытия в голосовом тракте, а также конкретное местоположение этого сужения или закрытия. Перцептивные свойства, с другой стороны, влияют на то, как люди воспринимают звуки речи. Некоторые акустически похожие звуки могут восприниматься людьми как отдельные фонемы, в то время как другие могут восприниматься как сгруппированные вместе.

Выводы

В данной работе было разработан и применен комплексный алгоритм для предварительного анализа обучающих аудиоданных. Полученные результаты можно свести к следующим основным положениям:

1. Предложенный алгоритм эффективно извлекает уникальные акустические характеристики и уменьшает их размерность, сохраняя при этом исходные зависимости и закономерности, определяющие акустическое сходство звуков;
2. Схожие по звучанию фонемы образуют смежные кластеры в визуализации, подчеркивая основную структуру данных и взаимосвязи между различными классами фонем;
3. К недостаткам алгоритма относится то, что он не учитывает другие отличительные особенности фонем, которые лежат в основе классификации, предложенной фонетистами, такие как артикуляционные особенности и перцептивные свойства.

В заключение, полученные результаты демонстрируют эффективность предложенного алгоритма в выявлении акустических связей между фонемами, но также подчеркивают необходимость дальнейших исследований и доработок для учета дополнительных аспектов классификации фонем. Данная работа вносит вклад в понимание акустических свойств фонем и имеет потенциальное применение в разработке более точных систем автоматического распознавания речи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Макаренко, А. В.* Глубокие нейронные сети: зарождение, становление, современное состояние / А. В. Макаренко. — Текст : непосредственный // Проблемы управления. — 2020. — № 2. — С. 3-19.

2. Курейчик, В. В. Методы глубокого обучения для обработки текстов на естественном языке / В. В. Курейчик, С. И. Родзин, В. В. Бова. — Текст : непосредственный // Известия Южного федерального университета. Технические науки. — 2022. — № 2. — С. 189-199.
3. Гутуртуева, И. А. Современные проблемы автоматического распознавания речи / И. А. Гутуртуева. — Текст : непосредственный // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. — 2020. — № 6. — С. 189-199.
4. АНАЛИЗ МЕТОДОВ МНОГОМОДАЛЬНОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АУДИОВИЗУАЛЬНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ / Д. В. Иванько, И. С. Кипяткова, А. Л. Ронжин, А. А. Карпов. — Текст: непосредственный // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2016. — № 3. — С. 387-401.
5. Кабанова, В.В. Применение искусственного интеллекта при работе с мультимедийной информацией / В. В. Кабанова, О. С. Логунова. — Текст : непосредственный // Вестник Череповецкого государственного университета. — 2022. — № 6. — С. 387-401.
6. TIMIT Acoustic-Phonetic Continuous Speech Corpus. — Текст: электронный // Linguistic Data Consortium: [сайт]. — URL: <https://catalog.ldc.upenn.edu/LDC93s1> (дата обращения: 29.03.2023).
7. Andreas, Grünaier Using Dimension Reduction to Improve the Classification of High-dimensional Data / Grünaier Andreas, Vincze Markus. — Текст : непосредственный // OAGM Workshop 2015. — Зальцбург : OAGM/AAPR, 2015. — С. 1-8.
8. Иванов И. И. Анализ метода мел-частотных кепстральных коэффициентов применительно к процедуре голосовой аутентификации / И. И. Иванов. — Текст : непосредственный // Известия Алтайского государственного университета. — 2014. — № 2. — С. 156-160.
9. Laurens, van, der Visualizing Data using t-SNE / van der Laurens, Hinton Geoffrey. — Текст : непосредственный // Journal of Machine Learning Research. — 2008. — № 9. — С. 2579-2605.
10. Современный русский литературный язык: Фонетика, орфоэпия, графика и орфография: Учебное пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2011. — 430 с. — (Gaudeamus).

Зайцев Максим Дмитриевич, магистрант Московского авиационного института; **Копылов Денис Александрович**, магистрант Московского авиационного института.

Хомутская Ольга Владиславовна, доцент кафедры №307 «Цифровые технологии и информационные системы» Московского авиационного института, кандидат технических наук.

Копылов Денис Александрович, Зайцев Максим Дмитриевич,
Хомутская Ольга Владиславовна

ФОРМИРОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СБОРКИ ДЕТАЛЕЙ

Ниже приведен метод формирования синтетических данных для обучения нейронной сети (далее – нейросеть) распознавать существующие объекты. Данный метод призван упростить процесс составления начального набора данных и его изменения для дальнейшего использования в компьютерном зрении. В качестве образца объекта для распознавания используется напечатанный с помощью аддитивных технологий редуктор авиационного двигателя. Трехмерные модели загружались в трехмерный редактора Houdini, где с помощью подпрограмм (далее – скрипты) на Python сохранялась коллекция изображений детали на разном фоне. Полученный набор данных использовался для обучения трех различных нейронных сетей, а полученные результаты анализировались для возможности дальнейшего использования данного метода. Подробно показан процесс создания скриншотов и результат распознавания напечатанной детали с помощью трех нейронных сетей.

Распознавание объекта, компьютерное зрение, двигателестроение, трехмерный редактор, Houdini, Python, нейронные сети, машиностроение, производство.

Zaitsev Maxim Dmitrievich, Khomutskaya Olga Vladislavovna,
Kopylov Denis Alexandrovich

FORMIROVANIY SINTETICHESKIKH DANNYKH DLYA OBUCHENIYA SISTEMY OTSENKI KACHESTVA SBORKI DETALEY

The article presents artificial formations for a neural network (hereinafter referred to as a neural network). This method offers a simplified process for compiling an initial dataset and modifying it for widespread use in computer vision. As an example of an object for use, additive technologies of a geared aircraft engine are used. Three-dimensional models were loaded in the Houdini three-dimensional editor, where a collection

of screenshots of parts on different backgrounds was saved using a subprogram (hereinafter referred to as the script) in Python. The resulting network dataset is used to train three different neural networks, the results are analyzed to be able to use this method. The article describes in detail the process of creating screenshots and the result of detecting details using three neural networks.

Object recognition, computer vision, data science, aviation engine assembling, 3D editor, Houdini, Python, neural networks, mechanical engineering, manufacturing.

Введение

Современные датасеты (dataset – набор данных) изображений представляют собой сотни тысяч изображений с десятками классов. Данные для таких наборов отбираются и размечаются в течение длительного периода времени, что может стоить больших финансовых затрат. В ряде областей исследователи начинают применять синтетические исходные данные для обучения нейросетей, чтобы повысить качество получаемых прогнозов на действительных изображениях.

В области машиностроения получение полноценного набора данных в реальных условиях представляет собой практически нерешаемую задачу из-за труднодоступности или отсутствия законченного объекта.

Существует возможность воспользоваться методом синтеза данных, так как такой подход может иметь существенные преимущества:

- неограниченный объем данных;
- создание датасетов для труднодоступных объектов;
- создание анонимных данных;
- создание разметки данных на этапе синтеза.

Стоит также отметить и недостатки метода:

- не всегда синтезированные данные обладают особенностями реального объекта, которые могут оказать существенное влияние на результаты применения алгоритмов машинного обучения;

- синтез наборов данных происходит при помощи различных алгоритмов, которые в свою очередь создаются человеком;

- автоматизация разметки так же влечет за собой сложности и дополнительные ошибки.

Создание автоматизированного процесса генерации изображений для задач распознавания

В рамках данной работы исследуется возможность использования трехмерной среды Houdini для создания pipeline по генерации данных из

трехмерной детали двигателя для последующего распознавания этой детали на этапах производства. Такой подход обеспечит увеличение скорости перехода от производимой продукции к её цифровому двойнику, который является неотъемлемой частью современного производства.

Процесс автоматической генерации состоит из следующих этапов:

1. Получение 3Д отображения объекта.
2. Помещение объекта полученного на предыдущем этапе на сцену с освещением.
3. Рендер необходимого кол-ва изображений для последующего распознавания).
4. Разметка датасета для обучения.

Получение 3Д объекта в рамках данной работе не рассматривается.

Для создания сцены в которую помещается объект в Houdini созданы две сцены с различным окружением. Окружение первой сцены представляет собой только карту освещения (HDR-map). Такой подход позволяет симулировать тени и отражающие поверхности модели для лучшего распознавания. Вторая сцена представляет собой более сложную сцену с использованием сторонних моделей окружения (мебели или любых других предметов интерьера) и более точечной настройки освещения, а также места размещения объекта, использование более сложного окружения требует больших физических ресурсов на производство кадра.

Использование различного окружения позволит дополнительно исследовать его влияние на результат распознавания, так как окружение может создавать более сложные эффекты освещения и контрастности, что может оказывать существенное влияние на последующее обнаружения объекта в реальной среде.

В данной работе использованы карты освещения и модели окружающих предметов из свободно распространяемых в сети Интернет.

Для автоматизации процесса создания изображения в среде Houdini подготовлены 2 сцены и настроено окружение.

Важной составляющей генерации изображений является настройка виртуальной камеры. Виртуальная камера в большинстве трехмерных редакторов является симуляцией реальной фотокамеры, через которую строится объект.

Для работы с камерой реализован алгоритм перемещения и поворота виртуальной камеры. В зависимости от геометрических размеров объекта, определяется сферическая область, в которую может быть помещена камера.

Внутренний радиус которой в 1.5 раза больше максимального размера объекта, а внешний в 3 раза больше этого размера. Размеры получены экспериментально и требуют проведения дальнейших исследований. Таким образом использование такой области дает практически неограниченное количество уникальных точек обзора на объект, что дает в свою очередь большой объем изображений для последующего обучения.

Рендер или «запекания» изображения осуществляется встроенным рендер-движком Houdini. Для дальнейших улучшений и ускорения процесса рендеринга предполагается использовать сторонние рендер-движки на основе GPU, что позволит в разы ускорить эту стадию создания изображений.

Для обучения нейросетей необходимо разметить полученные изображения. Для данной работы в качестве разметки использован метод с применением Bounding boxes. Это один из самых простых и хорошо себя зарекомендовавших себя способов разметки изображений. Bounding box представляет собой прямоугольную ограниченную, именованную область на изображении в которую вписан объект, который необходимо распознать. После данные о координатах в плоскости изображения нормализуются и записываются в текстовый файл.

Для процесса разметки реализован алгоритм в среде Houdini, который позволяет трансформировать координаты трехмерного пространства положения объекта в координаты Bounding Box в пространстве камеры.

Используемые модели нейросетей

Для проверки работоспособности созданного pipeline генерации датасета обучено несколько базовых моделей нейросетей и проведено сравнение.

В данной работе использовались следующие модели нейронного обучения:

YOLO 5 версии (далее YOLO);

RetinaNet (retinanet_R_50_FPN_3x) (далее RetinaNet);

Faster R-CNN (faster_rcnn_R_50_FPN_3x) (далее f-CNN).

Для проверки выбраны предобученные веса с самыми большими значениями для каждой модели. Структура сетей не изменялась, не применялись методы заморозки или dropout.

Результаты применения моделей

Для обучения синтезированы 100 фотографий. После применения аугментации их количество увеличилось до 300. Для обучения изображения разбиты на обучающую и валидационную выборки в соотношении 80:20.

Результат обучения тестировался на 55 фотографиях копии 3Д объекта, изготовленного с помощью аддитивных технологий.

В рамках данной работы не стояла задача получения наилучшей модели распознавания, поэтому значения точности и стандартных метрик моделей не приводятся.

В результате анализа полученных данных распознавания исследуемого объекта сделаны следующие выводы:

Наилучшей моделью для детектирования данных после генерацией оказалась YOLOv5.

Разница между детекцией объекта в различном окружении оказалось незначительной в рамках погрешности. Время, затрачиваемое на создание изображения только с HDR-map в 2-3 раза меньше, чем в окружении с использованием статичных моделей окружения, 45 секунд и 2.5 минуты соответственно.

Таким образом входе проделанной работы удалось создать алгоритмы автоматизации процесса создания и разметки датасетов, а также видно, что полученные изображения могут быть использованы для обучения моделей нейросетей определять объекты.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (МК-582.2022.4).

Зайцев Максим Дмитриевич, магистрант Московского авиационного института; **Копылов Денис Александрович**, магистрант Московского авиационного института.

Хомутская Ольга Владиславовна, доцент кафедры №307 «Цифровые технологии и информационные системы» Московского авиационного института, кандидат технических наук

УДК [004.032]

Гушанский Сергей Михайлович, Потапов Виктор Сергеевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЯТИКУБИТНОГО КВАНТОВОГО КОДА ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК СО СВЕРХПРОВОДЯЩИМИ КУБИТАМИ

Ранее не было демонстрации полной реализации универсального квантового кода коррекции ошибок, включающего идентификацию физических ошибок, возможность манипулирования состоянием и декодирование. Для решения этой проблемы мы реализовали наименьший совершенный код $[[5, 1, 3]]$ с помощью массива сверхпроводящих кубитов и проверили его жизнеспособность. В работе подготовили закодированные состояния с разной точностью в кодовом пространстве, идентифицировали произвольные однокубитные ошибки и реализовали логические операции Паули с точностью в кодовом пространстве. Наконец, мы декодировали состояние и восстановили его с общей точностью, используя всего 92 вентиля. Данное исследование имеет важность в разработке и реализации корректирующих кодов для исправления квантовых ошибок при выполнении квантовых алгоритмов, которые решают классические задачи. Научная новизна этого направления заключается в устранении одного из недостатков квантового вычислительного процесса. Во многих передовых странах мира сейчас активно проводятся научно-исследовательские работы по созданию квантовых компьютеров и программного обеспечения, и проявляется растущий интерес к этой технологии. Большое количество статей и монографий посвящено этой теме.

Квантовая ошибка; квантовый алгоритм; кубит; модель квантового вычислителя; квантовое запутывание; суперпозиция; квантовый параллелизм.

Gushansky Sergey Mikhailovich, Potapov Viktor Sergeevich

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF A FIVE-QUBIT QUANTUM ERROR-CORRECTION CODE WITH SUPERCONDUCTING QUBITS

Previously, there was no demonstration of a complete implementation of a universal quantum error correction code, including the identification of physical errors, the ability to manipulate the state, and decoding. To solve this problem, we implemented the least perfect code $[[5, 1, 3]]$ using an array of superconducting qubits and tested its viability. In this work, we prepared encoded states with different accuracy in the code space, identified arbitrary one-qubit errors, and implemented Pauli logical operations

with accuracy in the code space. Finally, we decoded the state and reconstructed it with total accuracy using only 92 gates. This study is of importance in the development and implementation of corrective codes for correcting quantum errors in the execution of quantum algorithms that solve classical problems. The scientific novelty of this direction lies in the elimination of one of the shortcomings of the quantum computing process. In many advanced countries of the world, research work is now being actively carried out to create quantum computers and software, and there is a growing interest in this technology. A large number of articles and monographs are devoted to this topic.

Quantum error; quantum algorithm; qubit; quantum computer model; quantum entanglement; superposition; quantum parallelism.

Введение

Квантовые компьютеры могут решать классически неразрешимые задачи [1] и эффективно моделировать квантовые системы многих тел [2]. Однако общеизвестно, что квантовые компьютеры трудно контролировать из-за их повсеместного, но неизбежного взаимодействия с окружающей средой, а также из-за несовершенных манипуляций, составляющих алгоритм. Теория отказоустойчивости была разработана как долгосрочное решение этой проблемы, обеспечивающее универсальные безошибочные квантовые вычисления с шумным квантовым оборудованием [3-7]. Логические кубиты алгоритма могут быть представлены с использованием большего числа дефектных физических кубитов. При условии, что машина достаточно большая (большое количество кубитов), а физические ошибки случаются с вероятностью ниже определенного порога, то такие ошибки можно систематически выявлять и исправлять [8, 9]. В эксперименте несколько небольших квантовых исправлений ошибок можно разложить как $|\Psi\rangle$ коды, в том числе код повторения [10–16], четырехкубитный код обнаружения ошибок [17–19], семикубитный цветовой код [20], бозонный квантовый код исправления ошибок [8, 9], и другие [20–22], реализованы на разных аппаратных платформах.

1. Теоретические основы квантовых вычислений

Код с пятью кубитами $[[5, 1, 3]]$ – это тип кода стабилизатора, который определяется набором независимых операторов из группы Паули, называемых стабилизаторами, так что кодовое пространство имеет только собственное значение +1. Четыре стабилизатора

$$\begin{aligned} g_1 &= X_1 Z_2 Z_3 X_4 I_5; & g_2 &= I_1 X_2 Z_3 Z_4 X_5; \\ g_3 &= X_1 I_2 X_3 Z_4 Z_5; & g_4 &= Z_1 X_2 I_3 X_4 Z_5, \end{aligned} \quad (1)$$

где X , Z , X , I – матрицы Паули, действующие на i -ый кубит. Логические операторы Паули трансверсально реализуются путем применения соответствующих однокубитных вентилей на каждом физическом кубите. Код с пятью кубитами имеет расстояние 3, и поэтому все ошибки с одним кубитом могут быть идентифицированы (и, следовательно, исправлены), в то время как все ошибки с двумя кубитами могут быть обнаружены. Если ошибки нет, все измерения стабилизатора должны давать +1 для закодированного состояния Ψ . Когда происходит ошибка, одно или несколько измерений стабилизатора могут дать 1. Поскольку есть четыре стабилизатора, измерения которых могут принимать значения +1 или 1.

2. Разработка пятикубитного квантового кода исправления ошибок со сверхпроводящими кубитами

Устройством для реализации пятикубитного кода исправления ошибок является 12-кубитный квантовая информационная система. Среди этих 12 кубитов выбрали пять соседних кубитов для проведения эксперимента. Кубиты емкостно связаны со своими ближайшими соседями. Линии управления XY с емкостной связью позволяют применять однокубитные поворотные вентили путем применения микроволновых импульсов, а индуктивно связанные Z-линии управления позволяют использовать двухкубитные управляемые фазовые вентили путем адиабатической настройки двухкубитного состояния 11. После тщательной калибровки и оптимизации вентилей получили среднюю точность вентилей, достигающую 0,9993 для вентилей с одним кубитом и 0,986 для вентилей с двумя кубитами. С реализацией только однокубитных вентилей с вращением и двухкубитных вентилей с управляемой фазой реализовали схему для кодирования и декодирования логического состояния.

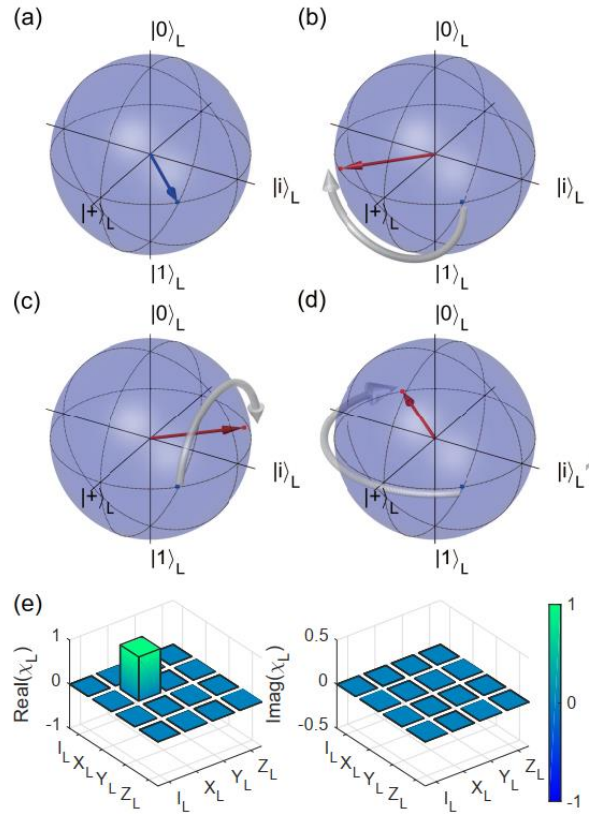


Рис. 1. а) Закодированное логическое состояние TL , проиллюстрированное на логической сфере Блоха; б) – д) Операции с одним логическим кубитом X , Y и Z , применяемые к T . Точность состояния после срабатывания вентиля составляет 98,6(1)%, 98,0(1)% и 98,7(1)% для б), с) и д) соответственно

При численном моделировании эксперимента с декогеренцией точность состояния T составляет 58,9%. После численного увеличения времени расфазировки, чтобы оно совпадало со временем релаксации энергии, точность состояния может быть увеличена до 92,1%, что указывает на потенциальное направление будущих улучшений. Качество подготовленных логических состояний можно также разделить на их совпадение с логическим кодовым пространством и его соответствие целевому логическому состоянию после его проецирования в кодовое пространство. Учитывая логические операторы Паули X , Y , Z и $I = |0\rangle_L\langle 0|_L + |1\rangle_L\langle 1|_L$, $(|0\rangle_L + e^{i\pi/4}|1\rangle_L)/2$ которое не может быть реализовано с помощью нормированной по применению матрицы плотности ρ , определяется путем проецирования экспериментально подготовленного состояния ρ в кодовое пространство $I + P^-X XL + P^-Y YL + P^-Z ZL$. К однокубитной ошибке X -, Z - или Y -типа, которая соответствует перевороту бита, перевороту фазы или комбинированной

ошибке, соответственно, применяется один из пяти кубитов с Q1 по Q5. Деструктивно измеряем четыре стабилизатора и находим устойчивые корреляции синдрома, которые идентифицируют квантовую ошибку.

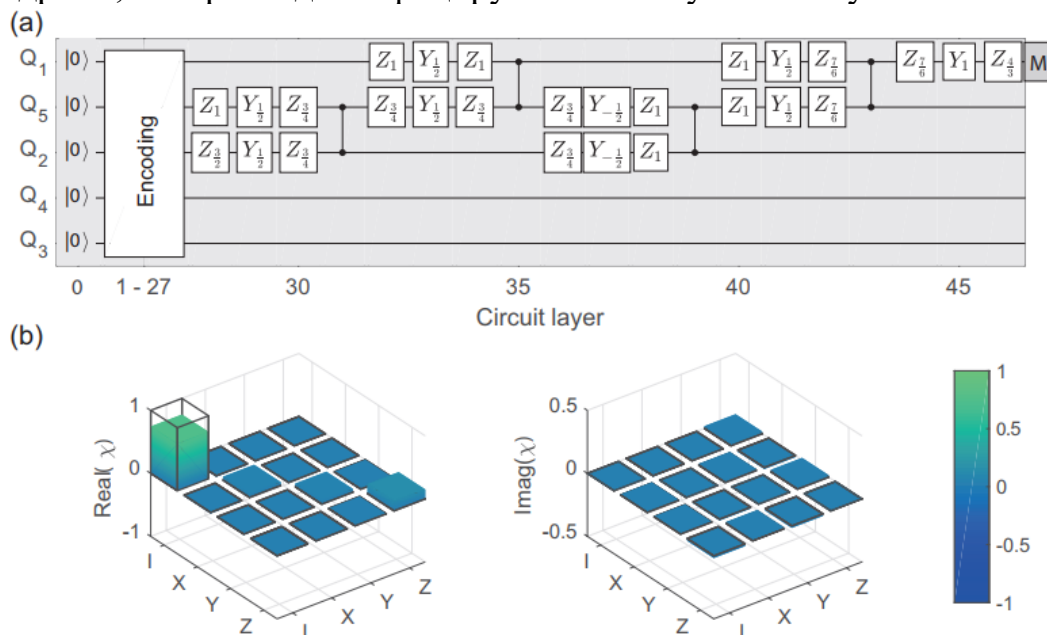


Рис. 2. Расшифровка пятикубитного кода. а) Декодирование квантовой схемы; б) Матрица χ схем кодирования и декодирования

Матрица χ логического $\text{Tr}(\rho\sigma)$ для всех $\sigma = I, X, Y, Z$, где ρ – матрица плотности пятикубитного состояния. Определяем точность в кодовом пространстве как $L = \Psi\rho\Psi$, как показано на рис. 1(с), при этом среднее значение достигает 98,6(1)%. Синие квадраты и вектор – начальные состояния. Красные кружки и векторы – конечные состояния. Состояния проецируются в кодовое пространство. Воздействуя на логическое закодированное состояние T , систематически вводим каждый тип однокубитной ошибки, искусственно применяя соответствующий одиночный кубитный вентиль к одному из пяти кубитов. Для четырех стабилизаторов g_1, g_2, g_3 и g_4 стремимся убедиться, что каждая ошибка будет правильно идентифицирована. Как показано на рисунке X, операция определяется с помощью томографии квантовых процессов в кодовом пространстве. Точность логических элементов X составляет 97,2(2)%. На рис. 2(а) действительно находим для каждого случая соответствующий паттерн синдрома, который идентифицирует местонахождение однокубитной ошибки. Предположим, что математическое ожидание i -го стабилизатора равно p_i , вероятность того, что измерение синдрома сработает, равна $i(p_i + 1)/2$, что в эксперименте в среднем равно 0,413. Также применяем ошибки двойного кубита к T и находим ту же корреляцию

синдрома, которая всегда может обнаружить наличие ошибок. Реализуем и проверяем три такие трансверсальные логические операции: начиная с магического состояния $|T\rangle$, демонстрируем операции с одним логическим кубитом X , Y и Z и изображаем повернутые состояния внутри кодовое пространство. Чтобы охарактеризовать эти логические операции, выполнили томографию квантовых процессов в кодовом пространстве, что отражает то, насколько хорошо логические операции манипулируют логическими состояниями. Определили точность логических операций X , Y и Z как 97,2(2)%, 97,8(2)% и 97,3(2)% соответственно.

Наконец, после кодирования входного состояния с одним кубитом в логическое состояние, применяем схему декодирования, чтобы отобразить его обратно во входное состояние. При входных состояниях 0, 1 определяем точность состояния после декодирования как 87,4(5)%, 91,6(4)%, 76,7(6)% и 77,1(6)% соответственно. Относительно более низкая точность для состояний $+$ и $+i$ также вызвана коротким временем расфазировки.

Заключение

Важной вехой на пути к отказоустойчивым квантовым вычислениям является создание логических кубитов с исправлением ошибок, которые действительно выигрывают от исправления ошибок, превосходя простые физические кубиты. Есть три шага для достижения этой цели: (1) реализация закодированных логических кубитов в коде, способном обнаруживать и исправлять ошибки, (2) реализация операций над закодированными кубитами и циклами исправления ошибок и (3) добавление большего количества вспомогательных кубитов и повышение точности работы для достижения отказоустойчивости. Наш эксперимент завершает шаг (1) реализацией основных компонентов полнофункционального пятикубитного кода исправления ошибок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *N. C. Jones, J. D. Whitfield, P. L. McMahon, M.-H. Yung, R. V. Meter, A. Aspuru-Guzik, and Y. Yamamoto*, Faster quantum chemistry simulation on fault-tolerant quantum computers, *New Journal of Physics* 14, 115023 (2012);
2. *P. W. Shor*, Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer, *SIAM J. Comput.* 26, 1484.1509 (1997);
3. *A. W. Harrow, A. Hassidim, and S. Lloyd*, Quantum algorithm for linear systems of equations, *Phys. Rev. Lett.* 103, 150502 (2009);

4. *P. W. Shor*, Scheme for reducing decoherence in quantum computer memory, *Phys. Rev. A* 52, R2493 (1995);
5. *D. Gottesman*, Stabilizer codes and quantum error correction (California Institute of Technology, 1997);
6. *Bernstein E., Vazirani U.* Quantum complexity theory. In *Proceedings of the 25th ACM Symposium on the Theory of Computing*, pages 11 – 20, 1993;
7. *Кайе Ф.* Введение в квантовые вычисления [Текст] / Ф. Кайе, Р. Лафлам. – Москва; Ижевск: ПХД, 2009. – 360 с.;
8. *Guzik V.* Architecture and Software Implementation of a Quantum Computer Model / V. Guzik, S. Gushanskiy, M. Polenov, V. Potapov // 5th Computer Science On-line Conference 2016 (CSOS), Czech Republic, 2016. – P. 59 – 68;
9. *Guzik V., Gushanskiy S., Polenov M., Potapov V.* Development of Methodology for Entangled Quantum Calculations Modeling in the Area of Quantum Algorithms // 6th Computer Science On-line Conference 2017 (CSOS), Czech Republic, 2017. – P. 106 – 115;
10. *Бронштейн И. Н.* Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – Москва: Изд-во “Физматлит”, 1986. – 544 с.

Гушанский Сергей Михайлович – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 8(8634)371656; кафедра вычислительной техники; к.т.н., доцент.

Потапов Виктор Сергеевич – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», e-mail: vpotapov@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 8(8634)371656; кафедра вычислительной техники; ассистент.

Gushanskiy Sergey Mikhailovich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

Potapov Viktor Sergeevich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; e-mail: vpotapov@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; assistant.

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ

В статье рассмотрена актуальная тема оценки эффективности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (далее – НИОКР) на основе применения автоматизированной системы управления проектами НИОКР. Предложен двухуровневый алгоритм комплексного метода оценки эффективности НИОКР при взаимодействии экспертного анализа и контроллинга на научно-производственном предприятии. Алгоритм позволяет улучшить установленные показатели, тем самым снизить затраты и сократить время на всех стадиях жизненного цикла проекта НИОКР на научно-производственном предприятии.

Научно-исследовательские работы, опытно-конструкторские работы, эффективность НИОКР, двухуровневый алгоритм, контроллинг.

Gurkina Alina Anatolevna

ALGORITHM FOR EVALUATING R&D EFFECTIVENESS

The article considers the relevance of the topic of research and development work (further - R&D) in the world also the application of an automated R&D project management system. A two-level algorithm for a complex method for evaluating the effectiveness of scientific research and development in the interaction of expert analysis and controlling at a research and production enterprise is proposed. The algorithm allows improving the determined indicators, thereby reducing costs and time at all stages of the life cycle of a research and development project at a research and production enterprise.

Research and development, R&D efficiency, two-level algorithm, controlling.

Введение

Двухуровневый алгоритм оценки эффективности НИОКР реализует системный подход, который позволяет оценить эффективность различных аспектов проекта НИОКР на стратегическом и оперативном уровнях.

На первом – стратегическом уровне, алгоритм оценивает качество выполненной работы. Он основан на критериях, которые используются для оценки эффективности процесса разработки, таких как соответствие

проекта НИОКР заданным требованиям, использование современных методов и технологий, а также соответствие бюджету и оценки рисков НИОКР;

На втором – оперативном уровне, алгоритм оценивает результаты проекта НИОКР, анализирует и выявляет причины отклонений фактических показателей и рисков НИОКР от плановых. Он основан на критериях, которые используются для оценки эффективности проекта НИОКР как бизнес модели, сроках выполнения проекта НИОКР. Далее разрабатываются корректирующие мероприятия и проводится оценка эффективности проекта НИОКР. Если проект не эффективен, то анализируются причины отказа, в противном случае, происходит завершение процесса.

Реализация двухуровневого алгоритма оценки эффективности НИОКР может быть выполнена в несколько этапов:

1. Определение критериев и индикаторов качества, которые будут использоваться для оценки процесса разработки и результатов проекта НИОКР.
2. Определение весовых коэффициентов для каждого критерия и индикатора качества.
3. Разработка программного обеспечения для проведения оценки НИОКР на основе данного алгоритма.
4. Обучение пользователей работе с программным обеспечением и оценки эффективности НИОКР.
5. Применение алгоритма для оценки конкретных проектов НИОКР и анализ результатов.
6. Постоянная проверка и анализ работы алгоритма для оптимизации процесса оценки эффективности НИОКР.

Разработанный алгоритм может значительно улучшить процесс оценки и помочь определить наиболее эффективные пути развития проекта НИОКР.

Основная часть

Согласно Постановлению Правительства РФ от 29 ноября 2017 г. N 1161 «Об утверждении типового положения о комиссии по оценке результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения, и типовой методики оценки результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения» автоматизация и управление проектами НИОКР в условиях

современных государственных механизмов развития промышленного потенциала страны является крайне [2] важной в наше время.

Особенностью современных организаций и научно-производственных предприятий заключается в том, что они обладают рядом преимуществ: наличие высокотехнологичных производственных процессов, наличие опытных научно-технических кадров, непрерывное инновационное развитие, наличие строгой системы контроля качества, вложение значительных инвестиций в научно-исследовательскую деятельность. Вышеперечисленные особенности подчеркивают необходимость постоянного развития, поиска новых решений, инвестирования в НИОКР и подготовки квалифицированного персонала.

Как показывает практика, ресурсы организации всегда ограничены, и проекты НИОКР конкурируют между собой за оборудование, научные кадры, материалы и, пожалуй, самый дефицитный ресурс – эффективное управление.

В рамках анализа и оценки НИОКР предложен двухуровневый алгоритм на научно-производственном предприятии. Выделяется два контура: стратегический и оперативный.

Наличие четко сформулированных компетенций между контролингом НИОКР и экспертной группой способствует оценке эффективности НИОКР, позволяя идентифицировать прямые и обратные связи между блоками предложенного алгоритма (рис. 1).

Чтобы обеспечить надежность данного алгоритма, необходимо обосновывать всю исходную информацию, подкрепляя методом экспертных оценок высококвалифицированных специалистов в количестве от 3 до 10 человек. Точность измерения в группе экспертов зависит от их количества.

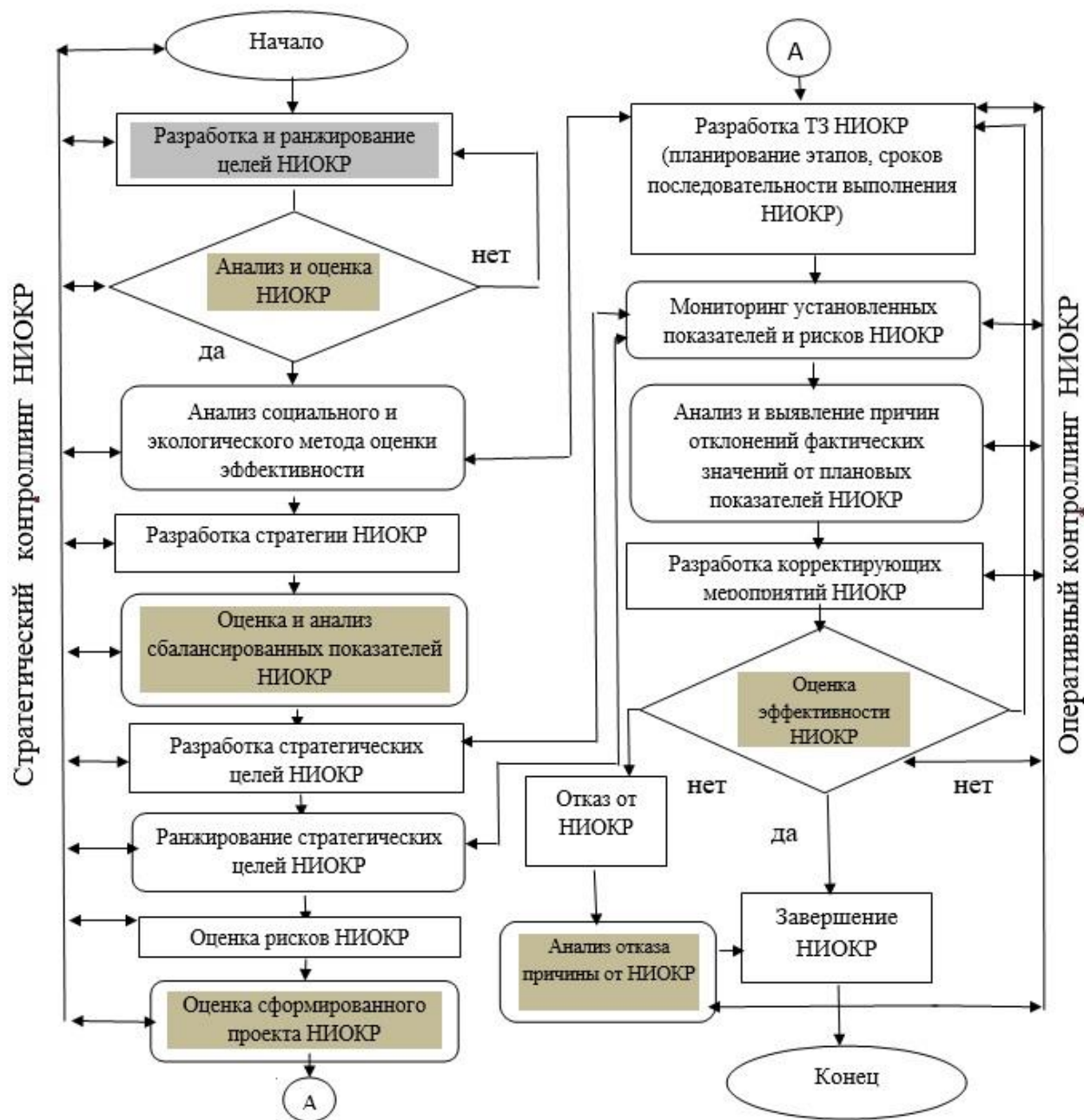


Рис. 1. Блок- схема двухуровневого алгоритма НИОКР на научно-производственном предприятии (- работа экспертов по проектам НИОКР, - служба контроллинга на предприятии, - совместная работа служб контроллинга и экспертной группы)

Первое, что делает экспертная группа - принимает задание и получает доступ на проведение экспертизы НИОКР по заданной теме. Далее, изучив материалы, эксперты производят интуитивно-логический анализ проблемы с последующей количественной оценкой суждений и обработкой

результатов, заполняя специальную экспертную анкету. Такие ситуации часто возникают в разработках современных проблем промышленной отрасли и, главное при прогнозировании и долгосрочном планировании.

Завершающим шагом является подготовка обобщенного заключения. Таким образом, собранные мнения специалистов-экспертов, интерпретируются, математически анализируются и становятся базой для объективного (научного) принятия решений в области конкретного НИОКР. По результатам оформляется экспертное заключение в виде документа, в котором фиксируется ход исследования и его итоги [4].

Выводы

Предложенный алгоритм позволяет оценить эффективность различных аспектов проектов НИОКР на двух уровнях. За счет взаимодействия двухуровневой системы (стратегического и оперативного контура) обеспечивается улучшение процесса оценки и определения наиболее эффективных путей развития проекта НИОКР.

Таким образом, предложенный двухуровневый алгоритм направлен на улучшение установленных показателей, тем самым он позволяет повысить уровень управления НИОКР на научно-производственном предприятии всего жизненного цикла проекта НИОКР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гришина Т.Г.* Вероятностное обоснование и принятие решений при управлении автоматизированным производством // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2012. - №1. - С.48-52.
2. *Гуркина А.А., Капитанов А.В.* Комплексный метод оценки эффективности НИОКР // XXIV Туполевские чтения (Школа молодых ученых) Международная молодежная научная конференция. Казань. – 2019. Том 6. С. 223-225.
3. *Гуркина А.А., Капитанов А.В.* Автоматизация и управление проектами НИОКР // «Наука сегодня: вызовы и перспективы» Материалы международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 36-38.
4. *Гуркина А.А., Капитанов А.В., Карлова Т.В.* Возможные методы оценки эффективности НИОКР // Качество. Инновации. Образование. – 2019. №3 – С. 75-80.
5. *Гуркина А.А., Капитанов А.В., Карлова Т.В.* Выявление механизмов, влияющих на эффективность НИОКР // Качество. Инновации. Образование. – 2018. №7(158). – С. 152-157.

6. *Кутин А.А.* Повышение качества продукции на основе создания интегрированных информационных систем управления и организации производства // Вестник машиностроения. - 2002. - №1. - С.55-60.
7. *Схиртладзе А.Г., Воронов В.Н., Борискин В.П.* Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник / - Ст. Оскол: ТНТ, 2013. - 600 с.
8. *Волкова Г.Д., Феофанов А.Н.* Автоматизация конструктивного и технологического проектирования. Учебное пособие для студентов вузов. - М.ИЦ ГОУ МГТУ «СТАНКИН», 2006. - 84 с.
9. *Феофанов, А.Н., Хвастунов Р.М., Негримовская Н.П.* Способы отбора специалистов в состав экспертных групп // М.: Технология машиностроения. – 2008. - №10. – С.58-67
10. *Далекин П.И., Глебова О.В.* Оценка эффективности и результативности корпораций, предприятий и организаций в научной сфере // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – №3 (22). – Часть 3. С.19–20.

Гуркина Алина Анатольевна, аспирант ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Россия, город Москва, Вадковский переулок, д.1, 127055, телефон: +7 (499) 973-21-45, email: alina.gurkina@yandex.ru.

Gurkina Alina Anatolevna, graduent student of MSUT «STANKIN», 127055, Russia, Moscow, Vadkovsky Lane, 1, phone: +7 (499) 973-21-45, email: alina.gurkina@yandex.ru.

УДК 519.688

Хлуденев Александр Владимирович

ИНТЕГРАЦИЯ СРЕДСТВ СИНТЕЗА ДОПУСКОВ С ИНСТРУМЕНТАМИ EDA

В работе рассматривается интеграция программных средств синтеза допусков дискретных пассивных элементов с инструментами автоматизированного проектирования электронных устройств (англ. electronic design automation (EDA)). Рассматривается метод синтеза допусков, использующий результаты анализа чувствительности. Предложены решения по реализации метода в среде табличного процессора Excel и обмена данными между электронной таблицей и базами данных схемы в EDA.

Дискретный пассивный элемент, допуск, выход годных изделий, запас работоспособности, анализ чувствительности, инструмент измерения, статистический метод, электронная таблица, буфер обмена.

Alexander Vladimirovich Khludenev

INTEGRATION OF THE TOLERANCE SYNTHESIS TOOLS WITH EDA TOOLS

The paper considers the integration of software tools for the tolerance synthesis of discrete passive elements with electronic design automation (EDA) tools. A tolerance synthesis method using the results of sensitivity analysis is considered. Solutions are proposed for implementing the method in the Excel spreadsheet environment and for data exchange between a spreadsheet and schematic databases in EDA.

Discrete passive element, tolerance, production yield, operability margin, sensitivity analysis, measurement instrument, statistical method, spreadsheet, clipboard.

Введение

Характеристики аналоговых устройств, построенных на интегральных схемах от операционных усилителей до аналоговых интерфейсов (англ. analog front end (AFE)), зависят от параметров внешних пассивных элементов. Производственные допуски элементов определяют допускаемые отклонения фактических значений параметров от номинальных значений. Следствием необоснованного применения прецизионных элементов является завышенная стоимость комплектующих. Завышение допусков компонентов приводит к снижению выхода годных изделий при массовом производстве. Тематике допускового проектирования в области электроники уделяется большое внимание в научно-технической литературе [1 – 6]. Несмотря на это, возможности современных EDA ограничены решением задач допускового анализа. Существует проблема интеграции сторонних программных инструментов для расчета допусков с системами EDA [7]. В работе [8] обоснован выбор методов определения допусков, использующих значения чувствительности выходных параметров к вариациям параметров элементов. Предложена инженерная методика допускового проектирования активных RC-фильтров, на основе инструментов системы OrCAD PSpice Designer v.17.2 [9].

Основная часть

Технические требования формулируются в виде ограничений на допустимые значения выходных параметров $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ объекта проектирования и формируют область работоспособности. Фактические значения параметров элементов $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ распределяются случайным образом около их номинальных значений $X_0 = \{x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0m}\}$ в пределах абсолютных производственных допусков $\Delta x_{max\ i}$:

$$x_{0i} - \Delta x_{max\ i} \leq x_i \leq x_{0i} + \Delta x_{max\ i}. \quad (1)$$

Система неравенств вида (1) для всех элементов X определяет допусковую область. При синтезе допусков определяют значения относительных допусков $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, где $t_i = (\Delta x_{max\ i} / x_{0i}) \cdot 100\%$, при которых допусковая область находится в пределах области работоспособности, отображенной в пространство параметров X . Частичный выход допусковой области за границы области работоспособности приводит к снижению выхода годных изделий при серийном производстве. Чтобы снизить стоимость элементов, следует стремиться находить максимально возможные значения относительных допусков при заданном выходе годных изделий. Задача синтеза допусков имеет решение, если при ее постановке сформирован запас работоспособности:

$$a = |y(X_0) - y_{don}|, \quad (2)$$

где y_{don} - предельное допустимое значение выходного параметра y . Для этого номинальные значения параметров X_0 не должны располагаться на границах области работоспособности.

При выборе методов синтеза допусков необходимо учитывать возможности используемых инструментов EDA. Инструмент Sensitivities программы PSpice Advanced Analysis позволяет пользователям рассчитывать полуотносительные чувствительности выходных параметров, определяемых посредством инструментов измерения [9].

Если при изготовлении дискретных элементов не используется подгонка параметров и сортировка по значениям допусков, распределение вероятностей для отклонений $\delta x_i = (x_i - x_{0i}) / x_{0i} \cdot 100\%$ можно аппроксимировать нормальным законом с нулевым средним и дисперсией $\sigma_{\delta x_i}^2 = t_i^2 / 9$. Если при изготовлении прецизионных элементов производится сортировка по значениям допусков, то распределение вероятностей δx_i можно аппроксимировать равномерным законом с дисперсией $\sigma_{\delta x_i}^2 = t_i^2 / 3$ [10]. Для этих и других случаев можно установить соотношение:

$$\sigma_{\delta x_i} = l_i \cdot t_i, \quad (3)$$

задавая соответствующие значения l_i .

Если количество дискретных элементов m велико, а значения отклонений δx_i статистически независимы, то распределение вероятностей $\Delta y = y(X) - y(X_0)$ можно аппроксимировать нормальным законом с нулевым средним и дисперсией [10]:

$$\sigma_{\Delta y}^2 = \sum_{i=1}^m (S_{x_i}^y(X_0))^2 \cdot \sigma_{\delta x_i}^2. \quad (4)$$

Исходя из планируемого выхода продукции Φ^* и свойств распределения Δy , можно выбрать необходимое соотношение:

$$\sigma_{\Delta y} = a / z^*. \quad (5)$$

Предполагая равенство слагаемых в правой части уравнения баланса (4) и учитывая соотношения (3) и (5), в результате:

$$t_i = a / (z^* \cdot \sqrt{m} \cdot l_i \cdot |S_{x_i}^y(X_0)|). \quad (6)$$

В инженерной практике часто целесообразно для некоторых элементов допуски назначать, а для остальных элементов определять. Обозначим m_A количество элементов с назначенными допусками t_{Ai} и m_U количество элементов с определяемыми допусками t_{Ui} . На основе (4):

$$\sigma_{\Delta y}^2 = \sum_{i=1}^{m_U} (S_{x_{Ui}}^y(X_0))^2 \cdot \sigma_{\delta x_{Ui}}^2 + \sum_{j=1}^{m_A} (S_{x_{Aj}}^y(X_0))^2 \cdot \sigma_{\delta x_{Aj}}^2, \quad (7)$$

где $S_{x_{Aj}}^y(X_0)$ и $S_{x_{Ui}}^y(X_0)$ - чувствительности к вариациям параметров элементов x_{Aj} и x_{Ui} с назначенными и определяемыми допусками соответственно. Назначая допуски t_{Ai} , можно найти допуски для остальных элементов:

$$t_{Ui} \approx \sqrt{(a/z^*)^2 - \sum_{j=1}^{m_A} (S_{x_{Aj}}^y(X_0))^2 \cdot (l_{Aj} \cdot t_{Aj})^2} / (\sqrt{m_U} \cdot l_{Ui} \cdot |S_{x_{Ui}}^y(X_0)|). \quad (8)$$

Если получено отрицательное значение в числителе под корнем, задача не имеет решения для заданных значений t_{Ai} . Полученные значения допусков необходимо округлить до стандартных значений.

Рассмотренный метод можно реализовать в среде табличного процессора Excel. Excel предоставляет удобные средства для выполнения однотипных вычислений по формулам (6) и (8) для элементов схемы. Для интеграции средства расчета допусков на основе Excel с инструментами EDA достаточно обеспечить передачу данных между ними без интерактивных действий пользователя с использованием клавиатуры. Такой обмен можно реализовать путем передачи данных через файлы или буфер обмена. При использовании буфера обмена требуется обеспечить:

- импорт в электронную таблицу Excel позиционных обозначений элементов из базы данных инструмента Sensitivity программы PSpice Advanced Analysis для идентификации элементов пользователем;
- импорт в электронную таблицу Excel значений чувствительностей из базы данных инструмента Sensitivity программы PSpice Advanced Analysis;
- экспорт в базу данных элементов схемы редактора Capture найденных значений допусков.

Если при формировании электронной таблицы, отводить для одного элемента полную строку, то все перечисленные источники и приемники данных будут иметь однотипную организацию. При согласованном распределении элементов по строкам каждая операция импорта - экспорта будет сводиться к однократному копированию и вставке данных соответствующего столбца.

Основную сложность для реализации импорта чувствительностей представляет возможное присутствие в данных масштабирующих суффиксов ($m - 10^{-3}$, $\mu - 10^{-6}$, $n - 10^{-9}$ и т.д.). Поэтому содержимое ячейки Excel с принятым значением чувствительности обрабатывается как строка символов:

- правый символ строки проверяется на совпадение с масштабирующими суффиксами, используя вложенную функцию "ЕСЛИ";
- остальные символы преобразуются в число функцией "ЗНАЧЕН";
- полученное значение умножается на масштабирующий коэффициент.

Операция округления найденных значений допусков до стандартных значений реализована, используя вложенную функцию "ЕСЛИ".

Проверка предложенных решений выполнена на примере активного RC фильтра 6-го порядка на трех звеньях с многопетлевой обратной связью. При требовании к неравномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в полосе пропускания - не более 1.8 дБ, аппроксимация по Чебышеву была выполнена с неравномерностью 1 дБ. Двухсторонний запас работоспособности составил ± 0.4 дБ. Емкости конденсаторов заданы из ряда E24, сопротивления резисторов рассчитаны. Для всех конденсаторов заданы допуски 1 %. Рассчитанные по (8) допуски для резисторов составили от 0.1 до 1 %. Стандартные значения сопротивления резисторов заданы из рядов E48 - E192. По результатам анализа, выполненного методом Монте-Карло (200 испытаний), значения неравномерности АЧХ распределены на интервале от 1.15 до 1.85 дБ. Выход годных изделий составил 99 %.

Выводы

Рассмотрен аналитический метод синтеза допусков, использующий результаты анализа чувствительности выходного параметра устройства к вариациям параметров пассивных элементов. Предложена модификация метода, позволяющая назначать для определенной группы элементов предпочтительные значения допусков.

Рассмотрены решения по реализации метода синтеза допусков на основе табличного процессора Excel с использованием инструментов расширенного анализа PSpice. Предложены решения по интеграции средств синтеза допусков с инструментами EDA путем импорта позиционных обозначений элементов, значений чувствительностей и экспорта полученных значений допусков через буфер обмена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гехер К.* Теория чувствительности и допусков электронных цепей: Пер. с англ. – М.: Сов. радио, 1973. – 200 с.
2. *Geher K.* Design of electronic circuits for optimal production yield // Period. Polytech. Elec. Eng, 1984. – Vol. 28, No. 1. – P. 67–82.
3. *Spence R., Soin R.S.* Tolerance design of electronic circuits, 3rd ed. – New York: Addison-Wesley, 1988. – 215 p.
4. *Foo S.W., Lin Y.* Hybrid method of tolerance design // 6th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS '99). – IEEE, 1999. – P. 557–560. – DOI:10.1109/ICECS.1999.812346.
5. *Styblinski M. A.* Statistical Design Optimization // Computer aided design and design automation / *Wai Kai Chen*, Ed., Boca Raton: CRC Press, 2009. – P. 5-1–5-34.
6. *Pehl M., Graeb H.* Tolerance design of analog circuits using a branch-and-bound based approach // Journal of Circuits, Systems and Computers, 2013. – Vol. 21. – No. 8. – P. 1240022-1–1240022-17. – DOI:10.1142/S0218126612400221.
7. *Shilo G., Furmanova N., Kulyaba-Kharitonova T.* Software for Tolerance Design of Electronic Devices // International Conference Advanced Computer Information Technologies (ACIT 2018), 2018. – P. 14–17.
8. *Khludenev A.* Tolerance Design of Active RC Filters // 2021 International Seminar on Electron Devices Design and Production (SED 2021). – IEEE, 2021. – 9444367. – DOI:10.1109/SED51197.2021.9444367.
9. *Fitzpatrick D.* Analog Design and Simulation using OrCAD Capture and PSpice, 2nd ed. – Newnes, 2018. – 438 p.

10. Влах И., Сингхал К. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1988. – 560 с.

Хлуденев Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной электроники и информационно-измерительной техники Оренбургского государственного университета, Россия, город Оренбург, проспект Победы 13, 460018, телефон: +7 (3532) 37-28-74, email: avhludenev@yandex.ru.

Khludenev Alexander Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, Industrial Electronics and Information Measuring Engineering Department, Orenburg State University, 460018, Russia, Orenburg, 13 Victory Avenue, phone: +7 (3532) 37-28-74, email: avhludenev@yandex.ru.

УДК 621.391

Дмитриев Александр Георгиевич

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ АГРЕГИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Рассматривается применение методов агрегирования объектов (диагонализации матрицы связи) при организации учебного процесса в вузе. Обучающиеся рассматриваются как некоторые объекты, между которыми существует взаимодействие, характеризующееся величиной «связи» или степенью «близости» между этими объектами. В результате исходное множество объектов задаётся квадратной матрицей, называемой матрицей связи, каждый элемент которой является величиной «связи» между соответствующими объектами. Требуется по заданной матрице связи найти разбиение множества объектов на непересекающиеся подмножества (агрегаты) таким образом, чтобы величины связи между объектами, попавшими в один агрегат, были большие, а между объектами, попавшими в разные агрегаты, – маленькие. Для этой цели вводится в рассмотрение критерий, характеризующий степень «близости» объектов в агрегатах. Искомое разбиение исходного множества объектов на агрегаты находится из условия максимума введённого критерия.

Структурные методы, диагонализация матрицы связи.

ADAPTIVE ALGORITHM FOR COMPRESSION OF NOISY IMAGES

The application of object aggregation methods (diagonalization of the communication matrix) in the organization of the educational process at the university is considered. Students are considered as some objects between which there is an interaction characterized by the magnitude of the "connection" or the degree of "proximity" between these objects. As a result, the initial set of objects is given by a square matrix called the connection matrix, each element of which is the magnitude of the "connection" between the corresponding objects. It is required to find the partition of a set of objects into disjoint subsets (aggregates) according to a given connection matrix in such a way that the values of the connection between objects that fall into one aggregate are large, and between objects that fall into different aggregates are small. For this purpose, a criterion is introduced that characterizes the degree of "proximity" of objects in aggregates. The desired partition of the initial set of objects into aggregates is found from the maximum condition of the introduced criterion.

Image compression, cosine transformation, approximation.

Введение

При планировании учебного процесса часто возникает необходимость в объединении обучающихся в различные группы. Так, например, в военном вузе учебная группа подразделяется на отделения. Такое разбиение учебной группы на отделения проводится, как правило, без привлечения каких-либо формальных методов анализа данных о обучаемых. В данной работе для решения этой задачи рассматривается применение методов агрегирования объектов, нашедших применение при решении большого числа очень разных практических задач [1-3].

Основная часть

Задача ставится следующим образом. Пусть для анализа предъявлено некоторое множество объектов $X = \{x_i\} \ i = 1, \dots, N$. Для каждой пары объектов x_i и x_j задано число $\alpha_{i,j} \geq 0$, характеризующее величину «связи» или степень «близости» между этими объектами. Таким образом, исходное множество объектов характеризуется матрицей $A = \{\alpha_{i,j}\} \ i = 1, \dots, N, \ j = 1, \dots, N$, называемой матрицей связи. Требуется найти разбиение множества объектов X на непересекающиеся

подмножества (агрегаты) $G = G_1, \dots, G_L$, чтобы величины связи между объектами, попавшими в один агрегат, были большие, а между объектами, попавшими в разные агрегаты, – маленькие.

Критерий степени близости объектов на заданном разбиении G выберем в виде

$$J = \sum_{k=1}^L \frac{m_k}{N} \left[\frac{1}{m_k(m_k-1)} \sum_{i,j \in G_k, i \neq j} \alpha_{i,j} \right] = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^L \frac{1}{m_k-1} \sum_{i,j \in G_k, i \neq j} \alpha_{i,j}, \quad (1)$$

где m_k – число объектов в k -ом агрегате.

Требуется найти такое разбиение множества объектов X на агрегаты G_1, \dots, G_L , чтобы критерий (1) принимал максимальное значение.

Для нахождения искомого разбиения предлагается следующая процедура.

П1. $k = 1$.

П2. Последовательно просматриваются объекты из агрегата G_k и осуществляется попытка переноса объекта из агрегата G_k , в котором он сейчас находится, во все остальные агрегаты.

П3. На каждом шаге такого переноса рассчитывается новое значение критерия (1) J^* и сравнивается со значением этого критерия до переноса J .

П4. Если значение критерия возросло, т.е. $J^* > J$, то рассматриваемый объект остаётся в том агрегате, куда он был перенесён.

П5. Если же после попыток переноса рассматриваемого объекта из агрегата G_k во все другие агрегаты значение критерия (1) ни разу не возросло, то этот объект остаётся в текущем агрегате G_k , выбирается следующий объект из этого агрегата.

П6. Если после попыток переноса всех объектов из агрегата G_k во все другие агрегаты значение критерия (1) ни разу не возросло, то проверяется $k = L$. Если $k < L$, то $k = k + 1$, выполняется переход к П2.

П7. Если $k = L$ и просмотр всех объектов из всех агрегатов не привёл к изменению ни одного агрегата, то работа процедуры завершается. В противном случае выполняется переход к П1.

Очевидно, описанная выше процедура сходится за конечное число шагов к локальному максимуму критерия (1).

Апробация алгоритма проводилась на основе данных учебной группы, состоящей из 26 курсантов (объектов). В результате независимого опроса каждого курсанта была составлена матрица связи, показанная на рис. 1.

Каждый курсант оценивал силу «связи» с другими курсантами учебной группы по десяти бальной системе.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	0	6	10	10	4	4	4	3	1	3	2	1	1	1	4	2	2	6	6	6	3	10	8	5	3	1
2	3	0	10	10	3	2	9	10	1	10	6	2	2	2	10	5	5	8	4	8	3	10	10	3	9	1
3	5	5	0	9	5	5	5	8	5	5	5	5	6	5	6	7	5	7	5	6	5	7	10	5	5	5
4	2	3	10	0	2	2	8	10	2	3	5	4	4	5	5	5	5	10	5	8	5	10	10	8	5	2
5	3	5	9	9	0	3	5	10	0	5	5	3	0	2	5	3	0	9	5	10	5	10	10	3	3	0
6	4	10	10	10	6	0	4	10	1	4	6	4	4	6	10	7	6	10	4	10	6	10	10	7	4	6
7	8	10	10	10	5	1	0	10	1	1	5	1	1	5	10	8	2	8	10	8	3	10	10	9	6	1
8	4	1	8	8	1	1	7	0	1	1	5	1	1	1	6	1	1	7	2	7	1	10	10	3	3	1
9	7	4	8	9	3	3	7	8	0	2	6	3	2	1	7	1	5	10	7	9	2	10	9	6	3	5
10	1	3	9	9	1	1	1	6	1	0	1	1	1	1	1	1	1	7	1	1	1	6	10	7	4	1
11	6	3	10	10	5	2	4	10	1	3	0	1	1	3	9	4	5	9	2	8	1	10	10	7	6	3
12	2	6	9	9	7	2	2	7	3	5	5	0	6	6	6	10	3	7	2	7	2	7	8	6	6	6
13	7	4	9	9	5	5	5	7	3	3	4	4	0	5	7	8	5	7	6	7	3	7	9	7	5	3
14	1	2	8	8	2	1	4	8	1	4	1	1	5	0	5	5	1	6	3	6	1	9	8	3	6	1
15	4	5	8	10	5	2	5	10	0	3	5	0	2	5	0	2	0	6	4	8	0	7	10	4	5	0
16	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	3	0	7	
17	4	7	10	10	5	6	2	10	1	7	3	1	1	1	7	2	0	8	4	9	1	10	10	6	4	3
18	4	8	10	10	7	6	5	5	3	8	9	7	3	7	8	3	6	0	3	8	8	10	10	6	10	7
19	5	5	9	9	4	5	7	7	3	4	5	2	4	5	7	3	3	5	0	5	5	9	9	6	6	4
20	5	8	10	10	5	4	4	10	1	2	5	5	2	2	7	4	3	9	2	0	2	10	10	3	3	2
21	6	7	10	10	10	9	9	9	4	5	5	5	4	5	10	4	4	10	7	10	0	10	7	6	8	5
22	4	1	8	8	1	1	7	10	1	1	5	1	1	1	6	1	1	7	2	7	1	0	10	3	3	1
23	4	4	9	10	3	4	2	10	1	8	5	5	3	6	7	9	5	9	1	7	7	10	0	10	9	9
24	5	7	10	10	4	3	1	3	1	6	3	3	6	7	7	5	4	10	4	4	3	10	10	0	7	6
25	3	10	10	10	3	1	7	10	1	10	7	4	3	10	10	6	2	9	1	10	1	10	10	3	0	3
26	1	3	7	8	1	1	1	7	1	7	1	1	2	1	1	7	1	8	1	1	1	5	9	1	4	0

Рис. 1.

Рассмотренный алгоритм предполагает задание некоторого начального разбиения на агрегаты (отделения). В качестве начального разбиения учебной группы на отделения использовалось существующее разделение учебной группы на три отделения. В первый агрегат входили курсанты с номерами 1,4,5,7,10,15,16,19,20,26 (10 курсантов); во второй – 2,8,9,11-13,17,18 (8 курсантов); в третий – 3,6,14,21-25 (8 курсантов). Значение критерия (1) для начального разбиения составило 5,049. В результате работы алгоритма в первый агрегат вошли курсанты 1,3,7,9,13,16,19,21,26 (9 курсантов); во второй – 2,5,6,8,11,12,15,17,18,20 (10 курсантов); в третий – 4,10,14,22,23,24,25 (7 курсантов). Значение критерия (1) составило 5,707.

Выводы

Результаты работы алгоритма при решении задачи разделение курсантов учебной группы на отделения показывают, что применение оптимизации привело к изменениям в составе отделений, при этом суммарная «сила связи» курсантов (значение критерия (1)) существенно возросла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Браверман Э.М., Мучник И.Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. — М.: Наука, 1983. — 464 с.
2. Браверман, Э.М. Диагонализация матрицы связи и выявление скрытых факторов. //Сборник трудов Института проблем управления. Вып. 1. Проблемы расширения возможностей автоматов. — М., ИПУ АН СССР, 1971. С.42-79.
3. Дмитриев А.Г. Применение методов агрегирования объектов при организации учебного процесса / А.Г. Дмитриев, А.Д. Жуков // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Основные направления развития радиоэлектроники и образовательного процесса в рамках подготовки специалистов радиотехнических систем специального назначения», часть 2. — Череповец: ВУРЭ, 2022.— С. 182-184.

Дмитриев Александр Георгиевич, кандидат технических наук, доцент Военного университета радиоэлектроники, 162622, Россия, город Череповец, Советский проспект 126, телефон: +7 (921) 250-55-72, email: dag334a@fxmail.ru

Dmitriev Alexander Georgievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate Professor of the Military University of Radio Electronics, 162622, Russia, Череповец, Sovetsky Prospekt 126, phone: +7 (921) 250-55-72, email: dag334a@fxmail.ru

УДК 621.396

Егорчев Антон Александрович, Чикрин Дмитрий Евгеньевич,
Фахрутдинов Адель Фердинандович

АЛГОРИТМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ МЕЛКОЙ МОТОРИКИ ПО ДАННЫМ ДАТЧИКОВ СМАРТФОНА СИСТЕМЫ БИОМЕДИЦИНСКОГО МОНИТОРИНГА

Одной из задач цифровизации является обеспечение возможности предварительной самодиагностики пациентов. Целью работы является разработка алгоритма детектирования дефектов мелкой моторики для использования на смартфоне в системе биомедицинского мониторинга. Алгоритм основан на анализе углов отклонений, получаемых от акселерометра смартфона, которые измеряются при выполнении пациентом поставленного задания. Результаты испытаний показали работоспособность алгоритма, при этом уровень ошибок первого рода составляет 0,05 и уровень ошибок второго рода 0,09.

Неинвазивный мониторинг, биомедицинский мониторинг, мелкая моторика, дефект мелкой моторики, смартфонная диагностика, обработка показаний акселерометра, неврологические расстройства.

Egorchev Anton Alexandrovich, Chickrin Dmitry Evgenevich,
Fahrutdinov Adel Ferdinandovich

ALGORITHM FOR DETECTING FINE MOTOR DEFECTS BY DATA FROM SMARTPHONE SENSORS OF THE BIOMEDICAL MONITORING SYSTEM

One of the tasks of digitalization is the possibility of preliminary self-diagnosis of patients. The aim of the work is to develop an algorithm for detecting defects in fine motor skills for use on a smartphone in a biomedical monitoring system. The algorithm is based on the analysis of the deviation angles obtained from the smartphone accelerometer, which are measured when the patient completes the assigned task. The test results showed the efficiency of the algorithm, while the level of alpha error is 0.05 and the level of beta error is 0.09.

Non-invasive monitoring, biomedical monitoring, fine motor skills, fine motor defect, smartphone diagnostics, processing of accelerometer readings, neurological disorders.

Введение

Мелкая моторика - совокупность скоординированных действий человека, направленных на выполнение точных мелких движений кистями и пальцами рук и ног. Нарушения мелкой моторики можно разделить на 3 типа:

- нарушения подачи сигнала на выполнение действия;
- нарушения передачи сигнала;
- нарушения в приеме и выполнении сигнала.

Своевременное обнаружение симптомов позволяет вовремя оказать помощь человеку.

Материалы и методы

В качестве датчика используется акселерометр смартфона. Акселерометры в смартфонах работают с частотой дискретизации порядка 100 Гц. Согласно документации от Google [1] на выбор предлагаются следующие опции:

- SENSOR_DELAY_NORMAL – считывание показателей сенсорики с задержкой 200000 мкс.

- SENSOR_DELAY_UI – считывание показателей сенсорики с задержкой 60000 мкс (16,6 Гц).
- SENSOR_DELAY_GAME – считывание показателей сенсорики с задержкой 20000 мкс (50 Гц).
- SENSOR_DELAY_FASTEST – считывание показателей сенсорики с минимально возможной задержкой.

Верхняя частота получения данных от датчика ничем не ограничивается и зависит от датчика, в случае использования SENSOR_DELAY_FASTEST, необходимо выполнение процедуры передискретизации сигнала. Эта проблема решается путем применения, например, сглаживающего фильтра Чебышева, АЧХ которого представлена в формуле (1):

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 T_n^2\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)}}, \quad (1)$$

где ω – частота сигнала, ω_c – частота среза фильтра, ε – показатель пульсаций, $T_n(x)$ – многочлен Чебышева n-го порядка.

С учетом вышеописанного, принято решение выполнять чтение данных с частотой 50 Гц, используя опцию SENSOR_DELAY_GAME.

Решение основано на анализе данных акселерометра смартфона его схема представлена на рис. 1.

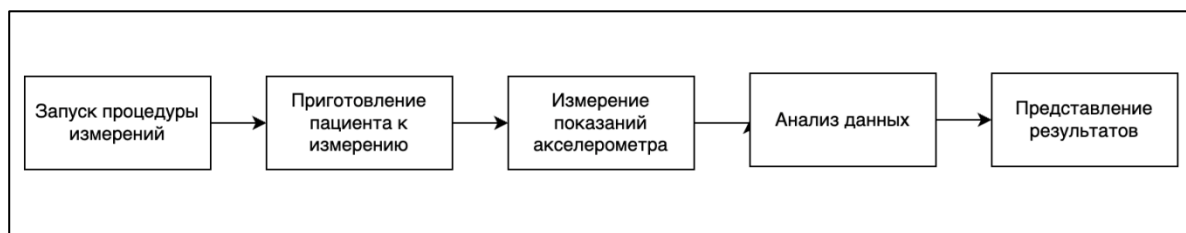


Рис. 1. Схема системы определения наличия дефектов мелкой моторики

Состав системы:

- блок запуска процедуры измерений;
- блок приготовления пациента к измерению;
- блока измерения показаний акселерометра;
- блока анализа данных и блока представления результатов.

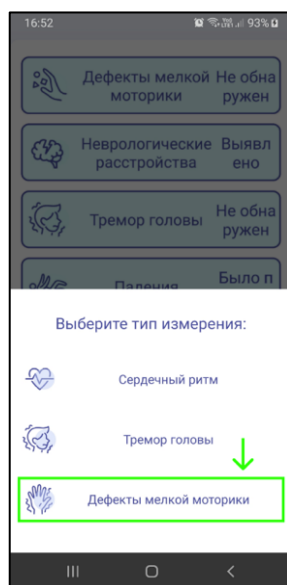


Рис. 2. Кнопка запуска процедуры измерений

Для проверки состояния пациента он должен выполнить следующее задание:

- пациент должен вытянуть руку со смартфоном вперед на уровне плеч, при этом находиться в положении стоя или сидя;
- пациент должен расположить смартфон перпендикулярно полу лицом к себе, данное положение является исходным для проведения измерений;
- пациент должен принять исходное положение в течение 3 секунд;
- в течение 10 секунд пациент должен не изменять свое положение.

Структурная схема алгоритма представлена на рис. 3.

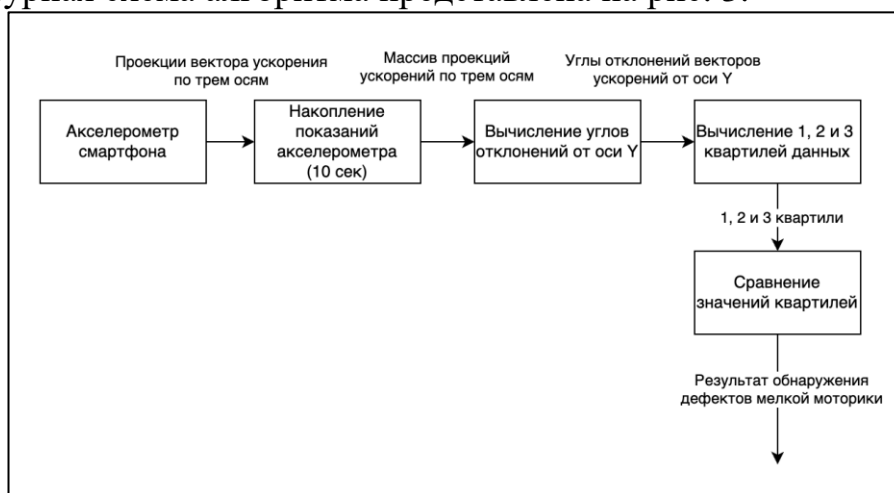


Рис. 3. Структурная схема алгоритма определения наличия дефектов мелкой моторики

Алгоритм определения наличия дефектов мелкой моторики работает следующим образом:

1) данные акселерометра смартфона содержат значения проекций ускорений по осям X, Y и Z, подаются на вход алгоритма с частотой 50 Гц;

2) выполняется корректировка значений проекций ускорений по оси Y: значения равные 0 заменяются на значения, близкие к нулю (0,000001), во избежания деления на нуль в формуле (2) и в формуле (3);

3) выполняется расчет отклонений вектора ускорения от оси Y акселерометра для всех показаний по формуле (2):

$$\alpha Y = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}}{a_{y^*}} \right), \quad (2)$$

где a_x - проекция ускорения на ось X акселерометра, a_z - проекция ускорения на ось Z акселерометра, a_{y^*} - скорректированное значение проекции ускорения на ось Y;

4) если значение проекции ускорения на ось X больше или равна 0, то расчет угла выполняется по формуле (3):

$$\alpha Y = -\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}}{a_{y^*}} \right) \quad (3)$$

выбор оси Y обусловлен расположением датчиков акселерометра на смартфонах с ОС Android, который изображен на рис. 4;

5) для полученных значений вычисляются 1, 2 и 3 основные квартили [2]. Для этого данные упорядочиваются в порядке возрастания;

6) для полученных квартилей выполняется проверка отклонений от пороговых значений.

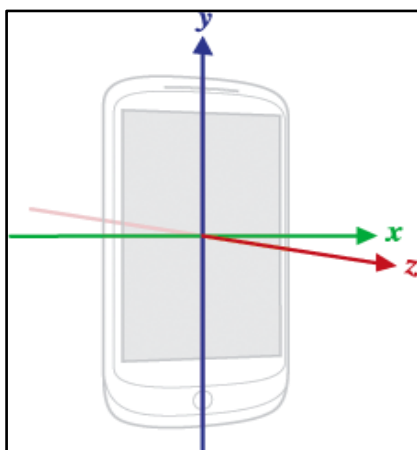


Рис. 4. Ориентация осей акселерометра смартфонов с ОС Android [1]

Если модуль разницы между значением первого основного квартиля и второго основного квартиля больше 20 или модуль разницы между

значением четвертого квартиля и второго квартиля больше 20, то фиксируются дефекты мелкой моторики. В противном случае дефекты не обнаружены. Пороговое значение определено эмпирическим путем.

Испытания

В испытании принимали участие 20 человек. Для его проведения использовалась клиент-серверная система. Каждый испытуемый проводил не менее 10 испытаний для проверки наличия тремора головы. Результаты испытания представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний по метрике – ошибки 1 и 2 рода

Показатель	α (ошибки 1 рода)	β (ошибки 2 рода)
Не обнаружен	0.05	0.09
Обнаружен	0.09	0.05

Выводы

Разработан алгоритм определения наличия дефектов мелкой моторики кисти. Испытания показали работоспособность алгоритма, при этом ошибки 1 рода на уровне 0,05 и ошибки 2 рода на уровне 0,09 при обнаружении дефектов мелкой моторики. На основе полученного решения можно рассмотреть более сложные упражнения, направленные на проверку других аспектов мелкой моторики человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sensors Overview. — Текст : электронный // Developer Android : [сайт]. — URL: https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview (дата обращения: 08.04.2023)
2. Сальникова К.В. Анализ массива данных с помощью инструмента визуализации «ящик с усами» // Universum: экономика и юриспруденция. 2021. №6 (81). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiza-massiva-dannyh-s-pomoschyu-instrumenta-vizualizatsii-yaschik-s-usami> (дата обращения: 10.10.2022).

Егорчев Антон Александрович, кандидат технических наук, заместитель директора по общим вопросам Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, Россия,

город Казань, улица Кремлевская 35, 420008, телефон: +7 (843) 233-76-09, email: eanton090@gmail.com

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, доктор технических наук, директор Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, Россия, город Казань, улица Кремлевская 35, 420008, телефон: +7 (843) 233-70-37, email: dmitry.kfu@ya.ru

Фахрутдинов Адель Фердинандович, ведущий инженер-программист сектора высокоуровневой разработки Научно-исследовательского центра «Центр превосходства Специальная робототехника и искусственный интеллект» Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, Россия, город Казань, улица Бутлерова 4, 420012, телефон: +7 (987) 293-41-53, email: timvaz@yandex.ru

Кокунин Петр Анатольевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории медицинского интернета вещей Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, Россия, город Казань, улица Бутлерова 4, 420012, телефон: +7 (917) 873-22-17, email: pkokunin@mail.ru

Egorchev Anton Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Deputy Director for General Affairs of the Institute of Computer Mathematics and Information Technologies Kazan (Volga Region) Federal University, 420008, Russia, Kazan, 35 Kremlevskaya Street, phone: +7 (843) 233-76-09, email: eanton090@gmail.com

Chickrin Dmitry Evgenevich, Doctor of Technical Sciences, director of the Institute of Computer Mathematics and Information Technologies Kazan (Volga Region) Federal University, 420008, Russia, Kazan, 35 Kremlevskaya Street, phone: +7 (843) 233-70-37, email: dmitry.kfu@ya.ru

Fahrutdinov Adel Ferdinandovich, Leading engineer-programmer of the high-level development sector of the Research Center "Center of Excellence Special Robotics and Artificial Intelligence" of the Institute of Computer Mathematics and Information Technologies Kazan (Volga Region) Federal University, 420012, Russia, Kazan, 4 Butlerova Street, phone: +7 (987) 293-41-53, email: timvaz@yandex.ru

Kokunin Petr Anatolevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Leading Researcher at the Laboratory of the Medical Internet of Things of the Institute of Computer Mathematics and Information Technologies Kazan (Volga Region) Federal University,

420012, Russia, Kazan, 4 Butlerova Street, phone: +7 (917) 873-22-17, email: pkokunin@mail.ru.

УДК 621.396

Федосов Валентин Петрович,
Аль-Мусави Висам Мохаммедтаки М. Джавади

**АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА В
СИСТЕМАХ SISO И MIMO ДЛЯ КАНАЛА 3D-WIMAX В
УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ В РАЙОНЕ С ПЛОТНОЙ ЗАСТРОЙКОЙ**

В беспроводной связи для повышения скорости передачи данных и пропускной способности можно использовать множественную передачу и прием для формирования (MIMO) множественных входных и множественных выходных каналов. В этой статье анализ адаптивного алгоритма и моделирование для передачи данных на основе систем SISO и MIMO беспроводного канала 3D WiMAX, где в результате сравнения с этими методами, полученными путем повышения SNR, было обеспечено, чтобы BER был прямо пропорционален SNR. В результате моделирования был сделан вывод, что для одной и той же системы вероятность ошибки чувствительна к изменению вида модуляции, иными словами, BER изменяется в соответствии с изменением формы порядка модуляции. Также можно сделать вывод, что системы SISO и MIMO чувствительны к многолучевому распространению сигнала для одного и того же типа модуляции, а вероятность ошибки возрастает при увеличении количества передатчиков и приемников.

Адаптивный алгоритм, 3D канал, MIMO- OFDM, многолучевое распространение.

Fedosov Valentin Petrovich, Almusawi Wisam Mohammedtaqi M. Jawad
**ANALYSIS AND COMPARISON OF THE ADAPTIVE ALGORITHM IN
SISO AND MIMO SYSTEMS FOR THE 3D-WIMAX CHANNEL IN THE
CONDITIONS OF OPERATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES
IN A DENSELY BUILT-UP AREA**

In wireless communication, to improve the data rate and capacity, multiple transmission and reception can be used to form (MIMO) multiple input multiple output channels. In this article, adaptive algorithm analysis and simulation for the transmission of data based on 3D WiMAX wireless channel SISO and MIMO systems, where the result

of comparison with these techniques obtained by rising SNR was ensured that the BER was directly proportional to SNR. As a result of the simulation, it was concluded that for the same system, the probability of error is sensitive to the change of the modulation type, in other words, the BER changes according to the change of the modulation order form. It can also be concluded that the SISO and MIMO systems are sensitive to multipath signal propagation for the same type of modulation, and the probability of error increases by increasing the number of transmitters and receivers.

Adaptive algorithm, 3D channel, MIMO- OFDM, multipath.

Введение

С появлением множества веб-устройств потребность в большей пропускной способности и меньшей мощности передачи значительно возросла. Системы с несколькими антеннами, такие как система с несколькими входами и несколькими выходами (MIMO), идеально подходят для увеличения пропускной способности и экономии энергии по сравнению с системами с одной антенной. Системы MIMO могут превзойти системы с одним входом и одним выходом (SISO) за счет использования методов пространственного разнесения и мультиплексирования [1]. При низком SNR пространственное разнесение MIMO приводит к более низкому BER, чем в системе SISO. С другой стороны, при более высоком SNR можно использовать пространственное мультиплексирование для увеличения пропускной способности. Таким образом, ожидается, что система MIMO будет иметь более низкие требования к мощности передачи при тех же требованиях к пропускной способности и более высокую пропускную способность при тех же ограничениях по мощности передачи [2].

Требования к пропускной способности канала, которые зависят от (техника модуляции мощности и эффективности использования спектра, меньшие помехи, высокоэффективные антенны, уменьшенный эффект многолучевого распространения, доплеровский сдвиг, меньшее время задержки и т. д.), растут день ото дня в технологиях беспроводной связи [3]. . Необходима архитектура системы приемопередатчика, где в этой статье исследовано сравнение различных типов систем (SISO и MIMO). Канальная система 3D WiMAX, используемая методами MIMO, обеспечивает высокую пропускную способность и скорость передачи данных по сравнению с системой, использующей метод SISO, за счет использования большого количества антенн и многолучевых путей, так что если замирание происходит на одном из этих путей, не повлияет на другие пути [4, 5], антенны системы MIMO не

требуют большей мощности и ширины полосы спектра для передачи, чтобы улучшить пропускную способность канала [6]. WiMAX более устойчив к мобильным каналам с быстрым доплеровским замиранием благодаря своей усовершенствованной схеме предсказания канала на основе 2D-пилота во временной и частотной области [7].

Чтобы точно оценить производительность методов MIMO в WiMAX, реализована трехмерная модель канала, которая точно представляет угол возвышения лучей. Реализованная модель канала 3D WiMAX была протестирована и обеспечивает хорошее соответствие статистике трассировки лучей [8, 9]. Концепция 2D-распространения не работает в некоторых средах, поэтому важно распределение угла места. В таких ситуациях оценка пропускной способности канала и производительности на уровне системы может привести к неточным результатам. При моделировании канала связи используются оцененные трехмерные диаграммы направленности для антенн базовой станции (БС) и абонентского оборудования (ОП) макросоты [8].

Основная часть

Беспроводное коммуникационное соединение между передатчиком (Tx) и приемником (Rx) известно как линия прямой видимости (LOS), если между ячейками сети может быть образована прямая линия без каких-либо препятствий. Условие соединения, т. е. является ли соединение LOS или не-LOS, определяет несколько важных параметров в моделях канала, включая потери на пути (PL), угловое распределение и т. д. [10]. Для точной оценки производительности систем MIMO в WiMAX выполняется адаптивный алгоритм 3D-модели канала, учитывающий углы места лучей. Для расширения программной реализации существующих моделей каналов 3D WiMAX используется статистика высот. Каналы связи создаются с использованием общей конструкции канала 3GPP/WiMAX между точками доступа (AP) и UE [11, 12].

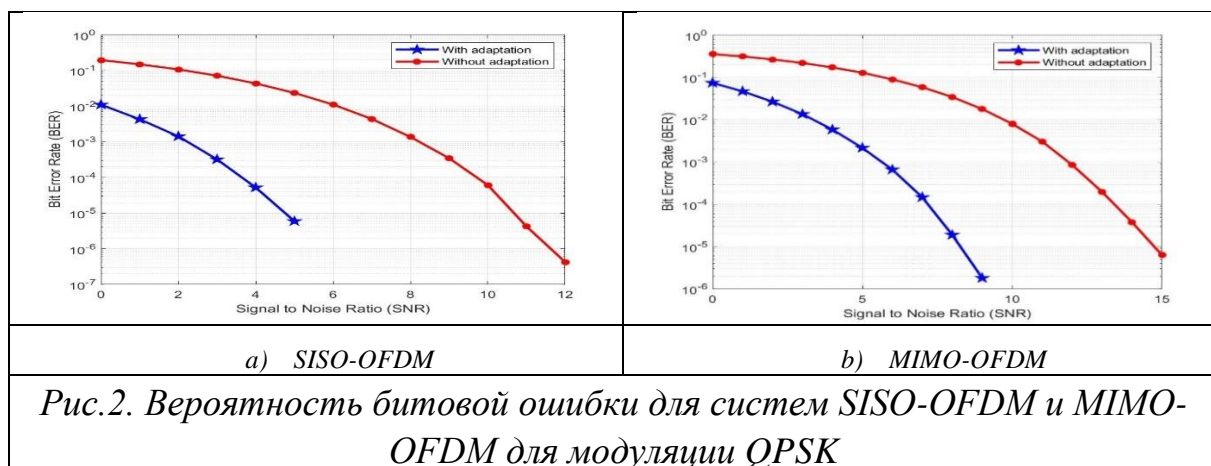
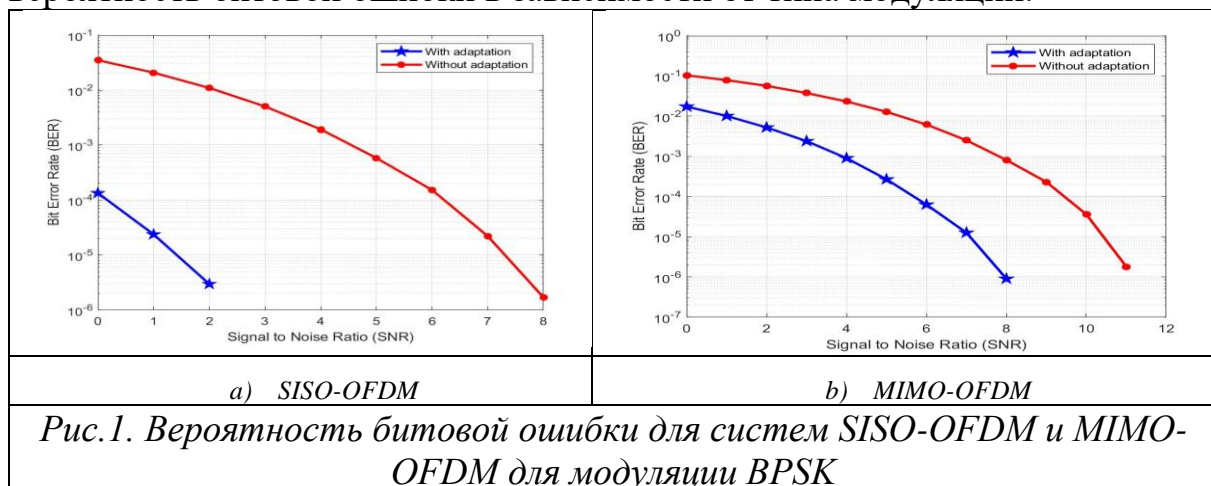
Для каждой конкретной городской базы данных реализация трехмерного моделирования канала изучает распространение как по азимуту, так и по углу места на основе двухточечных прогнозов от каждой точки доступа к каждому местоположению UE, что происходит при более надежной оценке пропускной способности канала, пространственной корреляции и производительность системного уровня [8, 9].

Single Input Single Output (SISO) — это классический встроенный приемник и передатчик, который использует одну передающую и одну приемную антенну. Среда, в которой передаются сигналы, может иметь несколько

отражений. Такая ситуация, когда сигнал подходит к приемной антенне по разным путям, называется многолучевым распространением [13]. В результате сигнал в среде беспроводной связи можно считать суммой принятых копий сигналов, поступающих по различным путям, каждая составляющая сигнала имеет свою амплитуду и задержку. Следуя центральной предельной теореме, полученный сигнал можно описать как случайный гауссовский [14].

Технология MIMO представляет собой передачу информации через параллельные пространственные потоки. Эти параллельные потоки излучаются отдельными антеннами, разнесенными на большое расстояние [15]. Сигнал принимается рядом приемных антенн, количество которых в общем случае может отличаться от количества передающих антенн [16].

Построим зависимость вероятности BER от SNR для различных типов модуляции для систем SISO-OFDM и MIMO-OFDM. На приведенных ниже рисунках наглядно показано, как увеличение скорости передачи влияет на вероятность битовой ошибки в зависимости от типа модуляции.



Из приведенных выше рис. 1 и 2 видно, что BER в переданном сообщении для SISO-OFDM меньше, чем BER в переданном сообщении для MIMO-OFDM для той же модуляции. Можно сделать вывод о положительном влиянии на помехоустойчивость обработки сигнала на приемном устройстве за счет увеличения количества передатчиков и приемников в условиях многолучевого распространения сигнала. Кроме того, на приведенных выше рисунках показано, что BER изменяется в методах MIMO и SISO при изменении порядка модуляции.

Выводы

В этой статье были описаны адаптивный алгоритм анализа и моделирования для передачи данных на основе систем SISO и MIMO беспроводного канала 3D WiMAX, где результат сравнения с этими методами, полученный путем повышения SNR, подтвердил, что BER напрямую связан с SNR. Из-за одновременной передачи нескольких символов данных с использованием нескольких антенн система MIMO обеспечивает более высокую скорость передачи данных, поэтому система усиления MIMO примерно в три раза превышает скорость передачи данных и пропускную способность системы SISO для того же метода модуляции.

В результате моделирования был сделан вывод, что вероятность ошибки чувствительна к изменению вида модуляции для одной и той же системы, т. е. изменение BER связано с изменением порядка формы модуляции. Также можно сделать вывод, что системы SISO и MIMO чувствительны к многолучевой передаче сигнала с одинаковым типом модуляции, а вероятность ошибки увеличивается с увеличением количества передатчиков и приемников.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-29-01389 от 21 декабря 2021 г. в Южном федеральном университете.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *J. E. Kleider, C. Steenhoek, D. Morris, H.-Q. Lai, B. Zannetti, T. Chin, et al., Achieving MIMO performance with single-antenna radios, in 2010-MILCOM 2010 MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, 2010, pp. 814-819.*
2. *S. Chaudhari, J. Hu, B. Daneshrad, J. Chen, Performance Comparison Between MIMO and SISO based on Indoor Field Measurements, arXiv preprint arXiv:1408.6587, 2014.*
3. *V. Garg, Wireless communications & networking: Elsevier, 2010.*

4. *K. Sengar, N. Rani, A. Singhal, D. Sharma, S. Verma, T. Singh*, Study and capacity evaluation of SISO, MISO and MIMO RF wireless communication systems, arXiv preprint arXiv:1403.7774, 2014.
5. *N. C. Giri, S. M. Ali, R. Das*, BER Analysis and Performance of MIMO-OFDM System using BPSK Modulation Scheme for Next Generation Communication Systems, International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, vol. 3, pp. 1622-1629, 2014.
6. *M. A. Alrubei, I. A. Alshimaysawe, A. N. Hassan, A. H. Khwayyir*, Capacity analysis & performance comparison of SISO, SIMO, MISO & MIMO systems, in Journal of Physics: Conference Series, 2020, p. 012077.
7. *Fedosov V., Lomakina A., Legin A., Voronin V.* Modeling of systems wireless data transmission based on antenna arrays in underwater acoustic channels, in Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications 2016, 2016, p. 98720G.
8. *J. Thota, R. Almesaeed, A. Doufexi, S. Armour, A. R. Nix*, Infrastructure to Vehicle Throughput Performance in LTE-A Using 2D and 3D 3GPP/ITU Channel Models, in 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2015, pp. 1-5.
9. *R. Almesaeed, A. S. Ameen, A. Doufexi, N. Dahnoun, A. R. Nix*, A comparison study of 2D and 3D ITU channel model, in 2013 IFIP Wireless Days (WD), 2013, pp. 1-7.
10. *Y.-H. Nam, Y. Li, J. C. Zhang*, 3D channel models for elevation beamforming and FD-MIMO in LTE-A and 5G, in 2014 48th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 2014, pp. 805-809.
11. *M. Series*, "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced," Report ITU, vol. 638, pp. 1-72, 2009
12. *A. A. M. Isa, M. Othman, M. Johal, M. Isa, M. Zin, N. Haron, et al.*, Enhanced location estimation with a single base station in WiMAX network, in 2014 5th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), 2014, pp. 1-6.
13. *Федосов В.П., Джамил Д.С., Кучерявенко С.В.* Передача данных в канале 3D WIMAX на основе SISO-OFDM и MIMO-OFDM. – Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2020. № 6 (216). С. 6-18. DOI: 10.18522/2311-3103-2020-6-6-18
14. *Федосов В.П., Ломакина А.В.* Алгоритмы обработки пространственно-временных сигналов: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. – 73 с.

15. *S. Moghe, R. Upadhyay*, Comparison of SISO and MIMO techniques in 802.11 n wireless local area network, in 2009 International Conference on Emerging Trends in Electronic and Photonic Devices & Systems, 2009, pp. 245-246.
16. *Fedosov V.P., Jameel J.S., Kucheryavenko S.V.* Analysis of an Adaptive Algorithm for Processing Space-Time Signals for Image Transmission Based on 3D Wireless Channel Model. – Conference Proceedings. 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves, RSEMW 2021. 2021. P. 443-446. DOI: 10.1109/RSEMW52378.2021.9494083.

Федосов Валентин Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский, 44, 347928, телефон: +7 (863) 437-16-32, email: vpfedosov@sfedu.ru.

Аль-Мусави Висам Мохаммедтаки М. Джавади, аспирант кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский, 44, 347928, телефон: +7 (961) 302-86-09, email: wesamalmussawi@gmail.com.

Fedosov Valentin Petrovich, Doctor of Technical Sciences (Ph.D), professor, The Department of Fundamentals of Radio Engineering (FRE), Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, 44 Nekrasovsky lane, Taganrog 347928, Russia, phone+7 (863) 437-16-32, email: vpfedosov@sfedu.ru.

Almusawi Wisam Mohammedtaqi M. Jawad, postgraduate student The Department of Fundamentals of Radio Engineering (FRE), Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, 44 Nekrasovsky lane, Taganrog 347928, Russia, phone: +7 (961) 302-86-09 email: wesamalmussawi@gmail.com.

УДК 004.42+004.3

УДК 57.08+615.47+615.8

Проскуряков Александр Викторович

**ПРОЦЕСС ВЕРИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ФРАГМЕНТОВ
МЕДИЦИНСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
ПОДСИСТЕМОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КАК
КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

В данной статье рассматриваются технологии реализации автоматизации процесса верификации состояния фрагментов медицинских биологических объектов подсистемой поддержки принятия решений медицинской информационной системы как киберфизической системы для автоматизации диагностики заболеваний. Описана реализация процесса автоматизации верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям подсистемой поддержки принятия решения для диагностики заболеваний. В статье акцент сделан на анализ рентгенографических изображений, принятие решений на основании анализа этих изображений, постановка диагноза на основании принятых решений. Показаны примеры прикладной, практической реализации программного и информационного обеспечения процесса автоматизации верификации медицинских объектов в виде экранных форм для работы с фрагментами исследуемого объекта и результатами анализа рентгенографических изображений. Всё это позволяет повысить оперативность, точность верификации состояния медицинских биологических объектов, достоверность процесса диагностики заболеваний. Показана научная новизна, результаты апробации материала, представленного в статье на международных, всероссийских конференциях, научных журналах.

Автоматизация, биологический, верификация, безэталонный метод верификации, диагностика, информация, киберфизическая, медицинский, метод, метод эталонный, подсистема, программно - аппаратный модуль, процесс, система, статистика, рентгенография, решение, томография, энтропия, эталон.

Proskuryakov Alexander Viktorovich

THE PROCESS OF VERIFYING THE STATE OF FRAGMENTS OF MEDICAL BIOLOGICAL OBJECTS BY THE DECISION SUPPORT SUBSYSTEM OF THE MEDICAL INFORMATION SYSTEM AS A CYBER-PHYSICAL SYSTEM FOR AUTOMATING THE DIAGNOSIS OF DISEASES

This article discusses technologies for implementing automation of the process of verifying the state of fragments of medical biological objects by the decision support subsystem of the medical information system as a cyberphysical system for automating the diagnosis of diseases. The implementation of the process of automating the verification of the state of fragments of biological objects using computed tomographic images by the decision support subsystem for the diagnosis of diseases is described. The article focuses on the analysis of X-ray images, decision-making based on the analysis of these images, diagnosis based on the decisions made. Examples of applied, practical implementation of software and information support for the process of automation of verification of medical facilities in the form of screen forms for working with fragments of the object under study and the results of the analysis of radiographic images are shown. All this makes it possible to increase the efficiency, accuracy of verification of the state of medical biological objects, the reliability of the disease diagnosis process. The scientific novelty, the results of the approbation of the material presented in the article at international, All-Russian conferences, scientific journals are shown.

Automation, biological, verification, non-etalon verification method, diagnostics, information, cyberphysical, medical, method, reference method, subsystem, hardware and software module, process, system, statistics, radiography, solution, tomography, entropy, standard.

Введение

В данной статье рассматриваются технологии реализации автоматизации процесса **верификации состояния фрагментов медицинских биологических объектов подсистемой поддержки принятия решений медицинской информационной системы как киберфизической системы для автоматизации диагностики заболеваний**. Следует отметить, что современный этап развития медицины характеризуется развитием и внедрением новых методов, способов диагностики, позволяющих повысить своевременность, точность и достоверность диагностических мероприятий в различных областях и направлениях медицины. Фактически в медицине всё большее

значение получают методы, способы, средства ранней диагностики заболеваний, что позволяет выявить заболевание на ранних стадиях и тем самым предотвратить или приступить к её лечению на ранних этапах развития. Развитие информационных технологий и современных средств телекоммуникаций, появление в клиниках большого количества медицинских приборов, отдельных компьютеров привели к новому витку автоматизации процессов обработки информации, а также к значительному росту числа медицинских информационных систем лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ), клиник[1].

Таким образом в современных условиях развития акцент делается на диагностические направления медицины, методы и способы ранней диагностики, а также медицинские автоматизированные диагностические информационные системы.

Решению задач повышения эффективности диагностики заболеваний путём своевременного выявления различных заболеваний и проведения **дифференциальной диагностики** мешают следующие проблемы, такие как: сокращение финансирования, в результате огромное количество медучреждений в средних, малых городах и сельской местности могут остаться неохваченными передовыми технологиями в области диагностики и лечения заболеваний, превышение импорта по отношению к экспорту медицинского оборудования и медицинских изделий, то есть большая импортозависимость в данной области.

Выходом в создавшейся ситуации является, разработка средств и методов автоматизации процесса диагностики и лечения на базе передовых технологий с повсеместным внедрением медицинских информационных систем (МИС), медицинских автоматизированных информационных систем (МАИС), медицинских автоматизированных диагностических информационных систем (МАДИС) на базе комплекса технических средств (КТС) вычислительной техники (ВТ), комплекса программных средств (КПС) системных и инструментальных, сетевых технологий и вычислительных сетей, новых информационных технологий в целом, при реализации модели развития отечественного производства технологического оборудования и медицинских изделий с учётом поддержки государства, позволяющих своевременно, оперативно осуществлять диагностику, лечение, сопровождение пациентов в клиниках и стационарах.

Постановка задачи. Данная работа ориентирована на рассмотрении процесса верификации медицинских биологических объектов и их

фрагментов по рентгенографическим и компьютерно-томографическим снимкам подсистемой поддержки принятия решений медицинской информационной системы, как киберфизической системы для автоматизации диагностики заболеваний.

В настоящее время одним из актуальных направлений развития компьютерных технологий в различных отраслях промышленности, в том числе и медицине, становится обработка цифровых изображений, которая предполагает:

- 1) улучшение качества изображения;
- 2) восстановление поврежденных изображений;
- 3) распознавание отдельных элементов изображения.

Использование методов интерактивной обработки цифровых изображений дает возможность получения новой диагностической информации, создания систематизированных электронных архивов рентгенодиагностической информации. Распознавание патологических процессов является одной из наиболее важных задач автоматизированной обработки и анализа медицинских изображений [2].

При рассмотрении процесса верификации медицинских биологических объектов и их фрагментов подсистемой поддержки принятия решений для диагностики заболеваний и представления его, как автоматизированного технологического процесса, можно выделить следующие этапы:

- 1) обработка рентгенографических изображений;
- 2) анализ рентгенографических изображений;
- 3) принятие решений на основании анализа этих изображений;
- 4) постановка диагноза на основании принятых решений.

Анализ рентгенографических изображений, принятие решений на основании анализа этих изображений, постановка диагноза на основании принятых решений подсистемой принятия решений МИС должны осуществляться путём разработки и применения алгоритмов автоматизации процесса диагностики, реализуемых разработанным программным и информационным обеспечением для обслуживания подсистемы принятия решений [4,5,6].

Дадим определение киберфизической системы.

Определение 1. Киберфизическая система (от англ. *cyber-physical system*) — информационно-технологическая концепция, подразумевающая интеграцию вычислительных ресурсов в физические сущности любого вида, включая биологические и рукотворные объекты.

В киберфизических системах вычислительная компонента распределена по всей физической системе, которая является её носителем, и синергетически увязана с её составляющими элементами

То есть киберфизическая система (КФС) – это система, основанная на интеграции вычислений с физическими процессами. Встраиваемые компьютеры совместно с сетями осуществляют мониторинг и контроль за физическими процессами, обычно путем передачи данных через узлы системы, где физические процессы влияют на вычисления и наоборот.

Синтезируемая МИС как киберфизическая система, обеспечивающая получение, хранение, обработку, выдачу диагностической информации должна:

- 1) включать в свой состав автоматизированные рабочие места (АРМ) врачей клиницистов;
- 2) строиться по принципу интеграции отдельных подсистем в единую целую систему;
- 3) каждая подсистема удовлетворять модульному принципу построения, развития и подключения – интеграции в систему на уровне комплекса технических средств (КТС);
- 4) удовлетворять модульному принципу построения на уровне комплекса программных средств (КПС);
- 5) поддерживать управление и работу сервисных служб системы;
- 6) в качестве инфраструктуры построения данной системы использовать сети, вычислительные сети Intranet / Internet, позволяющие осуществлять оперативный обмен информацией между основными компонентами системы, независимо от местоположения пациента и диагностической аппаратуры;
- 7) формировать и выдавать оперативные и достоверные результаты диагностики.

В качестве объектов исследования в процессе верификации могут выступать: объект наблюдения (ОН), объект контроля (ОК) и объект управления (ОУ). В нашем случае при решении задачи постановки диагноза в процессе верификации в качестве объектов исследования более подходящими могут выступать ОК.

Определим объекты процесса верификации медицинских биологических объектов и их фрагментов, как технологического процесса подсистемой поддержки принятия решений МИС, при диагностике заболеваний. При конкретизации в роли ОК, в качестве базового медицинского

биологического объекта выступает пациент, а в качестве фрагментов медицинского биологического объекта выступают отдельные органы и области в организме пациента, подлежащие обследованию при диагностике заболеваний.

Важной задачей при анализе рентгенографических изображений медицинских биологических объектов и их фрагментов является решение задачи улучшения качества изображения.

С целью улучшения качества рентгеновских снимков и повышения их информативности был разработан алгоритм и реализовано программное обеспечение подсистемы программного обеспечения для их коррекции и анализа, включающая следующие функциональные возможности:

- 1) поворот, отражение и инвертирование изображения;
- 2) применение алгоритмов шумоподавления;
- 3) коррекция общей интенсивности изображения;
- 4) анализ областей методами математической статистики.

Примеры реализации автоматизации процесса верификации медицинских биологических объектов и их фрагментов медицинской информационной системой как киберфизической системой

В данной статье в качестве объектов исследования в процессе верификации, представляющего собой автоматизированный процесс верификации фрагментов медицинских биологических объектов выступают лобные и гайморовы пазухи, состояние которых является фактором для выявления ряда ЛОР болезней при рассмотрении диагностики этого вида заболеваний. В рассматриваемом процессе диагностики лобных пазух, границы которых выделены красной пунктирной линией и гайморовых пазух, выделенные на снимке жёлтой пунктирной линией, информативными областями, которые подлежат исследованию, являются непосредственно пазухи, а также глазницы. на рисунке 1[6,7,8].

Пример экранной формы для работы с фрагментами исследуемого объекта посредством анализа информативных областей на рентгеновском снимке представлены на рис. 1.

В процессе функционирования подсистемы поддержки принятия решений МИС могут использоваться различные математические модели следующих методов (способов) верификации, используемых для диагностики:

- 1) метод сравнения с эталоном, основанный на математической статистике при автоматической диагностике рентгенографического изображения

изображения, выбранного фрагмента снимка, на котором имеет место постоянное значение интенсивности яркости;

2) метод, основанный на вычислении расстояния между изображениями эталона и исследуемой области;

3) метод, основанный на вычислении оценки информативности эталона и исследуемой области;

4) безэталонный метод обработки изображений исследуемых областей на рентгенографическом снимке;

5) информационно –энтропийный метод диагностики.

При использовании метода сравнения с эталоном, основанном на математической статистике при автоматической диагностике рентгенографического изображения изображения необходимо выделять эталонную и исследуемую области на снимке.

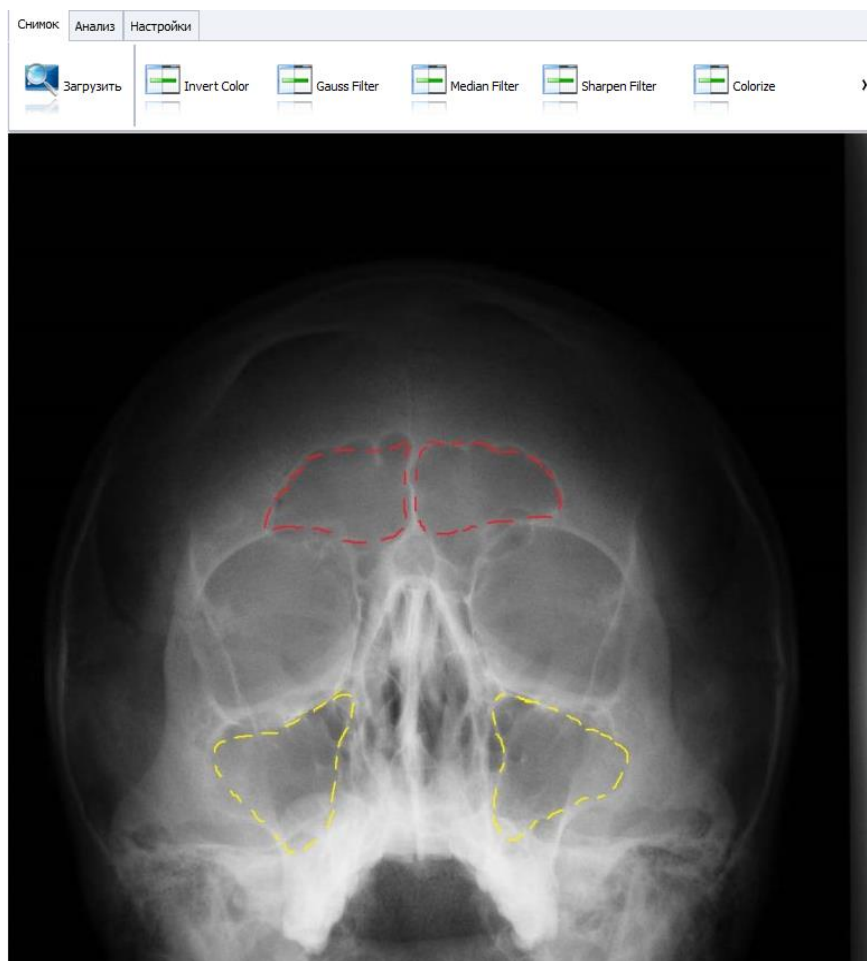




Рис. 1. Информативные области исходного изображения в процессе прохождения инструментального исследования для верификации фрагментов исследуемых объектов


Программная и информационная реализации автоматизации процесса верификации медицинских биологических объектов и их фрагментов. Режим работы «Редактор снимков»

После выбора нового, либо открытия ранее сохраненного в базе данных снимка, возможно его редактирование. Интерфейс экранной формы окна режима редактирования показан на рисунке 2.

Для начала требуется задать правильное положение снимка в редакторе с помощью кнопок:

- 1)  - поворот по часовой стрелке;
- 2)  - отобразить слева на право.

Последовательность действий при использовании редактора снимков заключается в следующем.


- 1) необходимо выделить новую область для анализа;
- 2) чтобы выделить новую область необходимо в сегменте «Область» выбрать её название и задать используемый для отображения контуров и графиков цвет кнопкой .

- 3) затем выделить контуром желаемую часть на снимке с помощью левой клавиши мыши;

- 4) после завершения выделения объекта на снимке автоматически отображается информация о его характеристиках:



- 4.1 «Математическое ожидание»;
- 4.2 «Дисперсия»;
- 4.3 «Среднеквадратическое отклонение»;
- 4.4 «Коэффициент вариации»;
- 4.5 «Неоднородность».

- 5) затем так же на графике строится гистограмма с соответствующим цветом выделенной области.

Результаты анализа и обработки должны быть сохранены в базе данных. Для сохранения результата необходимо воспользоваться кнопкой , либо повторите выделение при неудачном выборе области.

В списке областей отображаются названия сохраненных результатов выделенных в процессе исследования объектов, где отмеченные галочкой объекты отображаются на графике.

Список можно редактировать:

- 1) меняя цвет либо название сохраненной области кнопкой .
- 2) а так же удалять ненужные результаты кнопкой .

Режим работы «Анализ результатов»

Если дважды нажать левой клавишей мыши на график гистограмм, то запустится окно анализа выделенных областей. Окно анализа выделенных областей для анализа объектов отмеченных галочками в списке показано на рис. 3. В нем можно провести визуальное и числовое сравнение характеристик выделенных областей, выбрав в сегментах «Объект» и «Эталон» названия анализируемых выборок, после чего их характеристики будут отображены на графиках и вписаны в соответствующие поля.

Для подробного анализа одной из выделенных областей, требуется отметить её в списке и после отображения области, нажать на неё дважды левой кнопкой мыши. В результате будет отображено дополнительное окно анализа одной из выделенных областей.

Научная новизна. Результаты. Научная новизна заключается в анализе диагностических процедур с применением технологий реализации автоматизации процесса верификации состояния фрагментов медицинских биологических объектов подсистемой поддержки принятия решений.

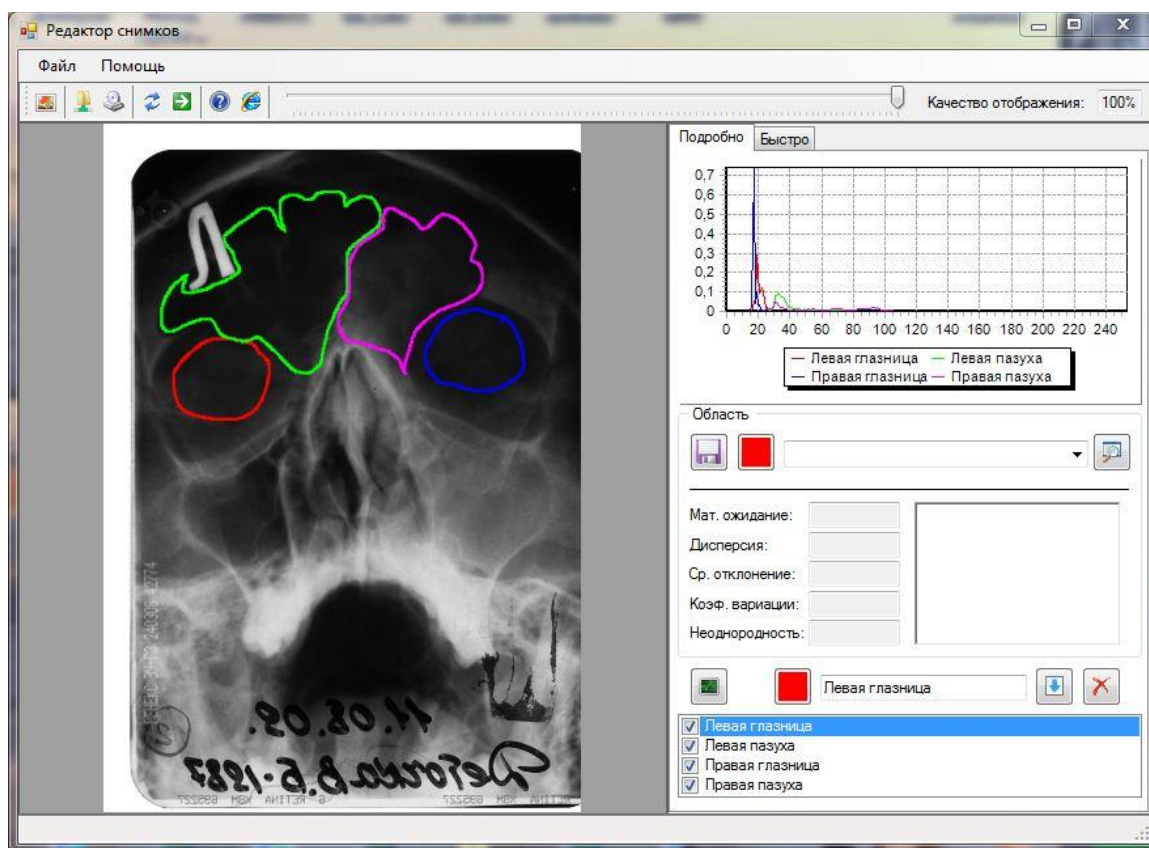


Рис. 2. Экранная форма режима работы «Редактор снимков»

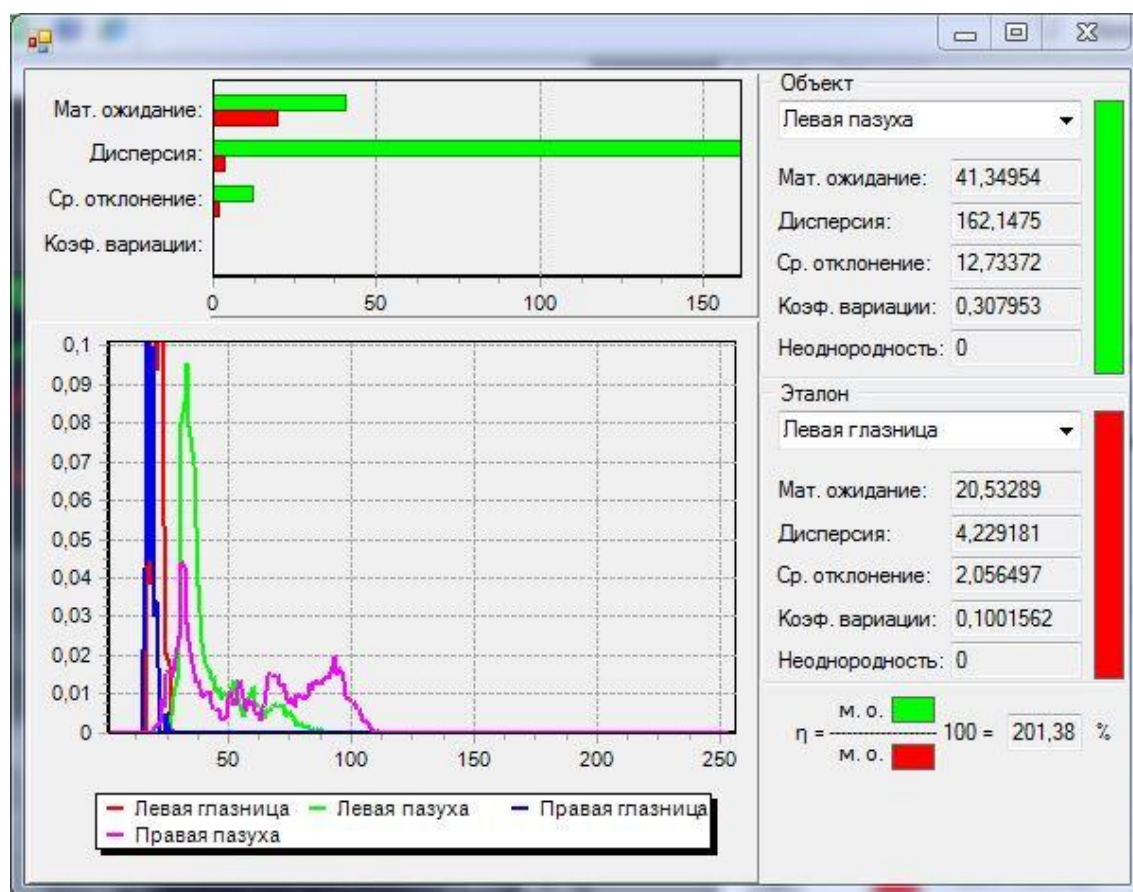


Рис.3. Экранная форма режима работы «Анализ выделенных областей»

Выделение эталонного и исследуемого фрагмента объекта медицинской информационной системы, как киберфизической системы для автоматизации диагностики заболеваний, заключающимися в синтезе алгоритмов реализуемых программным и информационным обеспечением медицинской информационной системы при реализации, применении методов верификации состояния фрагментов медицинских биологических объектов по рентгенографическим и компьютерно-томографическим изображениям для диагностики заболеваний и использовании для этого статистических параметров (математическое ожидание, дисперсия, гистограмма, коэффициент вариации, коэффициент корреляции) для количественной оценки состояний лобной или верхнечелюстной пазухи и их идентификации в соответствии с классом патологий при диагностике пациента в автоматическом режиме по рентгенографическим (томографическим) изображениям.

Это позволило получить следующие результаты:

- 1) разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм обработки рентгенографических изображений с использованием эталонного,

безэталонного и безэталонного – информационно-энтропийного способов метода диагностики инвариантного к видам заболеваний (параназальных пазух при ЛОР – заболеваниях, бронхо-лёгочных заболеваниях);

2) это позволило повысить качество обработки рентгенографических снимков и как следствие точность диагностики заболеваний[6,7,8];

3) разработанное программное обеспечение позволило повысить степень автоматизации процесса обработки рентгенографических снимков с элементами автоматической обработки, что позволяет формализовать процедуру постановки диагноза[9,10,11,12];

4) разработано информационное обеспечение - структура базы данных в виде набора связанных таблиц для хранения базовой информации о пациентах и процессе диагностики и лечения[9,10,11];

5) информационное обеспечение реализовано с возможностью инвариантности хранимой информации и моделей методов (способов) диагностики с целью возможности адаптации для различных лечебных учреждений;

6) результаты исследований, представленные в данной работе прошли апробацию на десяти международных и семнадцати Всероссийских научно-технических конференциях, опубликованы в научно-технических журналах, входящих в перечень ВАК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куракова Н.А. Информатизации здравоохранения как инструмент создания «Саморегулируемой системы организации медицинской помощи». Журнал «Врач и информационные технологии» №2, 2009. –24-27 с.
2. Гостюшкин В.В. Модели и методы обработки медицинских изображений. / В.В. Гостюшкин, Н.Э. Косых, С.З. Савин – Хабаровск: Вычислительный центр ДВО РАН, 2010. – 20 с.
3. Тарасов Н.В., Проскуряков А.В. Реализация алгоритма информационно-энтропийного анализа медицинских рентгенографических и томографических снимков. Ростов-на-Дону, Издательство Южного Федерального Университета: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности» (ФПАКТИБ'2018) 2018, С.461-465.
4. Проскуряков А.В., Самойленко А.П. АРМ поддержки принятия решений при диагностике ЛОР-заболеваний медицинской интегрированной автоматизированной информационной диагностической системы. – Сборник

- трудов XI Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2014) 2014, С. 68-72.
5. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Подсистема математического и программного обеспечения поддержки принятия решений на базе способов диагностики заболеваний по рентгеновским снимкам «Медицинской автоматизированной диагностической информационной системы» Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». 2015. № 1 С.34-43 ISSN 1561-1531.
 6. *Проскуряков А.В.* Реализация способов диагностики заболеваний в медицинской автоматизированной информационной системе поддержки принятия решений. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2016) 2016, С.303-307.
 7. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Методология верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2018) 2018, С.209-212.
 8. *Проскуряков А.В.* Верификация состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям. Ростов, Таганрог: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко «КомТех-2019», С.169-175.
 9. *Проскуряков А.В.* Медицинская автоматизированная информационная система поддержки принятия решения для диагностики заболеваний с использованием верификации состояния фрагментов медико-биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям // Информатизация и связь. -2020 г., N3, с.55-60.
 10. *Проскуряков А.В.* Автоматизация процесса верификации состояния фрагментов медицинских биологических объектов подсистемой поддержки принятия решений для диагностики заболеваний // «Информатизация и связь». 2021. № 8 С.85-90 doi 10.34219/2078-8320-2020-11-3-55-60 ISSN 2078-8320.
 11. *Проскуряков А.В.* Синтез программного и информационного обеспечения реализации методов верификации состояния медицинских биологических объектов для медицинской автоматизированной информационной системы // «Известия ЮФУ». 2022. № 2 С.199-212 doi 10.18522/2911-3103-2022-2-199-212 ISSN 1999-9429.

12. *Проскуряков А.В., Скляр С.А., Скляр А.А.* Программный модуль графических компонентов "AlternativeTypesLibrary" для ускоренной разработки программных средств медицинских автоматизированных диагностических информационных систем. – Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015614617. Зарегистрировано 22 апреля 2015 г.

Проскуряков Александр Викторович, старший преподаватель кафедры Математического обеспечения и применения ЭВМ, Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Энгельса, 1 347900, телефон: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfedu.ru.

Proskuryakov Alexander V., senior lecturer, Department of Mathematical support and computer application, southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels street, 1 347900, phone: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfedu.ru.

УДК 004.42+004.3

УДК 57.08+615.47+615.8

Проскуряков Александр Викторович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ

В данной статье рассматриваются процесс и технологии проектирования и реализации пользовательского интерфейса человеко-машинного взаимодействия пользователей с автоматизированной информационной системой. Описана реализация процесса анализа и синтеза пользовательского интерфейса пользователей с автоматизированной информационной системой медицинского назначения, которая представляет собой систему «человек-машина» с реализацией человеко-машинного взаимодействия. В статье акцент сделан на разработанный пользовательский интерфейс взаимодействия пользователей с автоматизированной информационной системой, который позволил повысить степень автоматизации процесса обработки рентгенографических снимков с элементами автоматической обработки, что позволяет формализовать процедуру постановки диагноза. Показаны примеры прикладной, практической реализации пользовательского интерфейса в виде экранных форм для работы с системой. Всё это позволяет повысить оперативность, актуальность, своевременность

обмена данными между пользователями и системой, точность верификации состояния медицинских биологических объектов, достоверность процесса диагностики заболеваний. Показана научная новизна, результаты апробации материала, представленного в статье на международных, всероссийских конференциях, научных журналах.

Автоматизированная, анализ, верификация, взаимодействие, диагностика, информация, медицинская, подсистема, процесс, синтез, система, рентгенография, решение, человек-машина.

Proskuryakov Alexander Viktorovich

DESIGNING A USER INTERFACE FOR ORGANIZING HUMAN-MACHINE INTERACTION WITH AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM

This article discusses the process and technologies of designing and implementing the user interface of human-machine interaction of users with an automated information system. The implementation of the process of analyzing and synthesizing the user interface of users with an automated medical information system, which is a "man-machine" system with the implementation of human-machine interaction, is described. The article focuses on the developed user interface for user interaction with an automated information system, which allowed to increase the degree of automation of the processing of X-ray images with elements of automatic processing, which allows to formalize the procedure of diagnosis. Examples of applied, practical implementation of the user interface in the form of screen forms for working with the system are shown. All this makes it possible to increase the efficiency, relevance, timeliness of data exchange between users and the system, the accuracy of verification of the state of medical biological objects, the reliability of the disease diagnosis process. The scientific novelty, the results of the approbation of the material presented in the article at international, All-Russian conferences, scientific journals are shown.

Automated, analysis, verification, interaction, diagnostics, information, medical, subsystem, process, synthesis, system, radiography, solution, man-machine.

Введение

В данной статье рассматриваются процесс и технологии проектирования и реализации пользовательского интерфейса человеко-машинного

взаимодействия пользователей с автоматизированной информационной системой.

Начиная со второй половины 20 века всё более широкое распространение в процессах обработки информации стали приобретать процедуры автоматизированной обработки данных, что было обусловлено быстрым эволюционным развитием средств вычислительной техники и программных средств. В настоящее время практически во всех областях человеческой деятельности промышленности, науке, образовании, экономике широко применяются автоматизированные системы обработки данных, реализующие достаточно эффективные и надёжные процедуры обработки информации и данных, построенные на базе комплекса технических и программных средств. Не являются исключением в плане расширения применения средств автоматизации и автоматизированной обработки информации и такие научные и прикладные направления как медицина и медицинская техника, применяемые в клиниках[1,2,3].

Постановка задачи. Данная работа ориентирована на анализ и синтез пользовательского интерфейса пользователей с автоматизированной информационной системой медицинского назначения, которая представляет собой систему «человек-машина» с реализацией человеко-машинного взаимодействия[4,5].

Дадим определение системе «человек-машина».

Определение 1. Система «человек-машина» (man machine system) - это система, в которой человек-оператор или группа операторов взаимодействуют с техническим устройством в процессе производства:

- 1). материальных ценностей;
- 2). в процессе управления;
- 3.) в процессе управления и обработки информации.

Рассмотрим компоненты системы «человек-машина».

1. Человек
2. Машина - совокупность КТС, которая обеспечивает:
 - а) процесс получения;
 - б) преобразования;
 - в) передач;
 - г) использование некоторых ресурсов.

3. Рабочая среда – это совокупность различных факторов, которые воздействуют на человека-оператора и машину в процессе его деятельности.

В процессе проектирования пользовательского интерфейса в данной работе предлагается использование:

- 1) набора принципов проектирования, лежащих в основе построения разрабатываемого пользовательского интерфейса;
- 2) набора требований, которым должен в итоге удовлетворять проектируемый пользовательский интерфейс.

Принципы проектирования пользовательского интерфейса

Набор принципов проектирования, лежащих в основе построения разрабатываемого пользовательского интерфейса включает:

- 1) структурный принцип;
- 2) принцип простоты;
- 3) принцип видимости;
- 4) принцип обратной связи;
- 5) принцип толерантности;
- 6) принцип повторного использования.

Выполним краткий анализ, предлагаемых принципов.

Структурный принцип

1. Организация пользовательского интерфейса должна быть целесообразной, осмысленной и удобной.

2. Она должна базироваться на четких, целостных моделях, очевидных и распознаваемых пользователями, при этом родственные понятия должны быть связаны, а независимые – разделены.

3. Непохожие элементы должны дифференцироваться, а похожие – выглядеть похоже.

4. Структурный принцип связан с общей архитектурой интерфейса и напрямую отражает представление о пользовательском интерфейсе, как о диалоге между разработчиками и пользователями.

5. Организация хороших интерфейсов продумывается очень тщательно, таким образом, чтобы отражать структуру решаемых системой задач и способ мышления пользователей относительно этих задач.

6. Подобное должно быть подобно. Похожая информация должна быть организована с помощью похожих решений, а объекты, обладающие похожим поведением, должны иметь общее представление.

Результат. Очень часто, особенно при использовании современных визуальных сред разработки, расположение визуальных компонентов внутри форм или диалогов и их распределение между ними оказывается почти случайным и отражает в лучшем случае последовательность, в которой

программистами затрагивались те или иные вопросы. По идее, свойства и функции, которые чаще всего используются совместно или рассматриваются пользователями как связанные друг с другом, должны располагаться вместе или, по крайней мере, должны быть четко и ясно взаимосвязаны. Что же до тех элементов, которые в контексте задачи или в сознании пользователя никак не связаны между собой, то они должны быть разнесены в интерфейсе.

Принцип простоты

1. Необходимо максимально упрощать управление наиболее распространенными операциями, при этом общение с пользователем должно вестись на понятном для него языке.

2. Должны предоставляться ссылки, логичным образом указывающие на более сложные процедуры.

3. Процесс проектирования интерфейса – это всегда борьба за компромисс.

4. Упрощение чего-то одного неизбежно приводит к усложнению чего-то другого.

5. При уменьшении количества меню, увеличится число пунктов в каждом из них.

6. Если уменьшать все диалоговые окна, включив в них как можно меньше элементов, любое взаимодействие пользователя с системой обернется для него необходимостью обращаться к большому количеству таких окошек.

7. Следование принципу простоты требует от разработчика знания того, какие задачи выполняются пользователем наиболее часто и какие из них, с точки зрения пользователя, проще. Именно такие задачи следует упрощать, чтобы пользователь мог быстро их решить.

Принцип видимости

1. Все функции и данные, необходимые для выполнения данной задачи, должны быть видны, чтобы пользователь не отвлекался на дополнительную и избыточную информацию.

2. Принцип видимости связан с проектированием таких пользовательских интерфейсов, в которых видны все элементы, нужные для выполнения данной задачи.

3. Целью является переход от философии WYSIWYG (What You See Is What You Get – что видишь на экране, то и получишь в результате) к философии WYSIWYN (What You See Is What You Need – на экране видишь то,

что тебе нужно). Интерфейсы WYSIWYN оставляют видимыми те, и только те элементы, которые действительно нужны пользователю для выполнения операции.

Результат. С одной стороны, в задачи проектирования входит создание такого интерфейса, на котором были бы явно видны все нужные и важные функции. С другой стороны, хороший интерфейс не должен заваливать пользователя слишком большим количеством возможных вариантов или смущать его избыточной информацией. WYSIWYN-интерфейсы лучше уже тем, что они принимают во внимание ограниченность объема «оперативной памяти» человека и способность узнавать вещи быстрее, чем вспоминать. Нагрузка на долговременную память уменьшается за счет того, что пользователь постоянно видит все необходимые опции и варианты. На кратковременную память нагрузка снижается за счет того, что пользователю не приходится запоминать и затем воспроизводить информацию, содержащуюся в какой-то другой части интерфейса.

Принцип обратной связи

1. Сообщайте пользователям о действиях системы, ее реакциях, изменениях состояния или ситуации, об ошибках и исключениях, которые важны для них.

2. Сообщения должны быть четкими, краткими, однозначными и написанными на языке, понятном пользователю.

3. Хорошие пользовательские интерфейсы находятся в диалоге с пользователями, сообщая им о том, что происходит в системе.

4. Принцип обратной связи должен указывать разработчикам некоторые правила этого диалога.

5. Автоматизированные системы информируют пользователя о множестве вещей, они должны позволять ему узнавать о том, как воспринимаются вводимые им данные, когда меняется внутреннее состояние системы, и это может оказать какое-либо влияние на работу пользователя, его следует уведомлять об этом, особенно если меняется интерпретация системой его действий.

6. Пользователь должен знать о действиях, которые запрещены или игнорируются. принцип обратной связи не может служить оправданием созданию бесконечных окошек сообщений.

7. Информирование пользователя – не должно являться самоцелью, а представляет способ организации диалога в компактной и естественной форме.

Результат. Пользователям также требуются сообщения об ошибках и исключительных ситуациях. Грамотно составленные сообщения об ошибках – это еще один пример хорошей организации общения с пользователем. Рекомендации здесь можно дать такие: краткость; язык, понятный пользователю; простота понимания.

Прежде всего информативным должен быть заголовок сообщения. Он должен в сжатой форме описывать проблему, а уже само сообщение должно раскрывать подробности и предлагать способы решения или последовательность корректирующих действий.

Принцип толерантности

1.Интерфейс должен быть гибким и толерантным.
2.Ущерб, наносимый ошибками пользователи, необходимо снижать за счет возможности отмены и повтора действий и за счет предотвращения появлений этих ошибок путем анализа различных форматов ввода и разумной интерпретации любых разумных действий.

3.Интерфейс можно делать более или менее толерантным в зависимости от того, какие данные проверяются и когда, проверка всех полей разом по окончании ввода данных – практика распространенная и иногда оправданная.

4.При этом толерантности системе добавит автоматическая подсветка поля с неправильными данными, установка на него курсора, плюс короткое, информативное сообщение в строке состояния.

В целом проверка неиспользуемых полей или полей, которые никак не обрабатываются системой и представляют интерес только для пользователей (в том виде, в каком они были введены), ведет к снижению толерантности ПО. Например, проверка того, что в поле примечаний присутствуют только буквенно-цифровые символы, избыточна. Кроме того, если пользователь вдруг захочет выделить что-нибудь в этом поле спецсимволом или с помощью псевдографики, у него возникнут проблемы.

Принцип повторного использования

1.Необходимо многократно использовать внутренние и внешние компоненты и принципы поведения системы, поддерживая устойчивость осмысленно, а не просто за счет избыточности. Это способствует уменьшению объема информации, которую пользователям приходится запоминать и о которой приходится думать каждый раз заново.

2.Необходимо применять повторное использование внешних и внутренних компонентов и решений, распространяющихся на всю систему,

разработчик может создать не только более целостный интерфейс, но и более дешевый продукт.

3. Требуется избегать стремления к одной лишь устойчивости повышает стоимость разработки, да и в ряде случаев оказывается сизифовым трудом.

Результат. Стандартные программные платформы порой навязывают разработчика плохо продуманные и неудачно спроектированные решения. Самые обычные диалоговые окна, скажем, могут обеспечивать целостность и при этом быть весьма низкосортными, выбор стандартных горячих клавиш оказывается случайным и никак не соответствующим принципу устойчивости.

Примеры синтеза пользовательского интерфейса пользователей с автоматизированной информационной системой

В данной статье в процессе проектирования пользовательского интерфейса автоматизированной информационной системы определим номенклатуру пользователей и их ролевое участие в процессе работы по верификации фрагментов медицинских биологических объектов, в качестве которых выступают лобные и гайморовы пазухи, а их состояние является фактором для выявления ряда ЛОР болезней при рассмотрении диагностики этого вида заболеваний. [4,5,6,7,8].

Пример диаграммы прецедентов показан на рис. 1.

Программная и информационная реализации примеров экранных форм пользовательского интерфейса автоматизированной информационной системы

Пример главного принципа – структурного показан на рис. 2.

Страница просмотра деталей записи о лучевой нагрузке представлена в виде экранной формы на рис. 2.

Пример реализации принципа простоты при синтезе экранной формы пользовательского интерфейса показан на рис. 3.

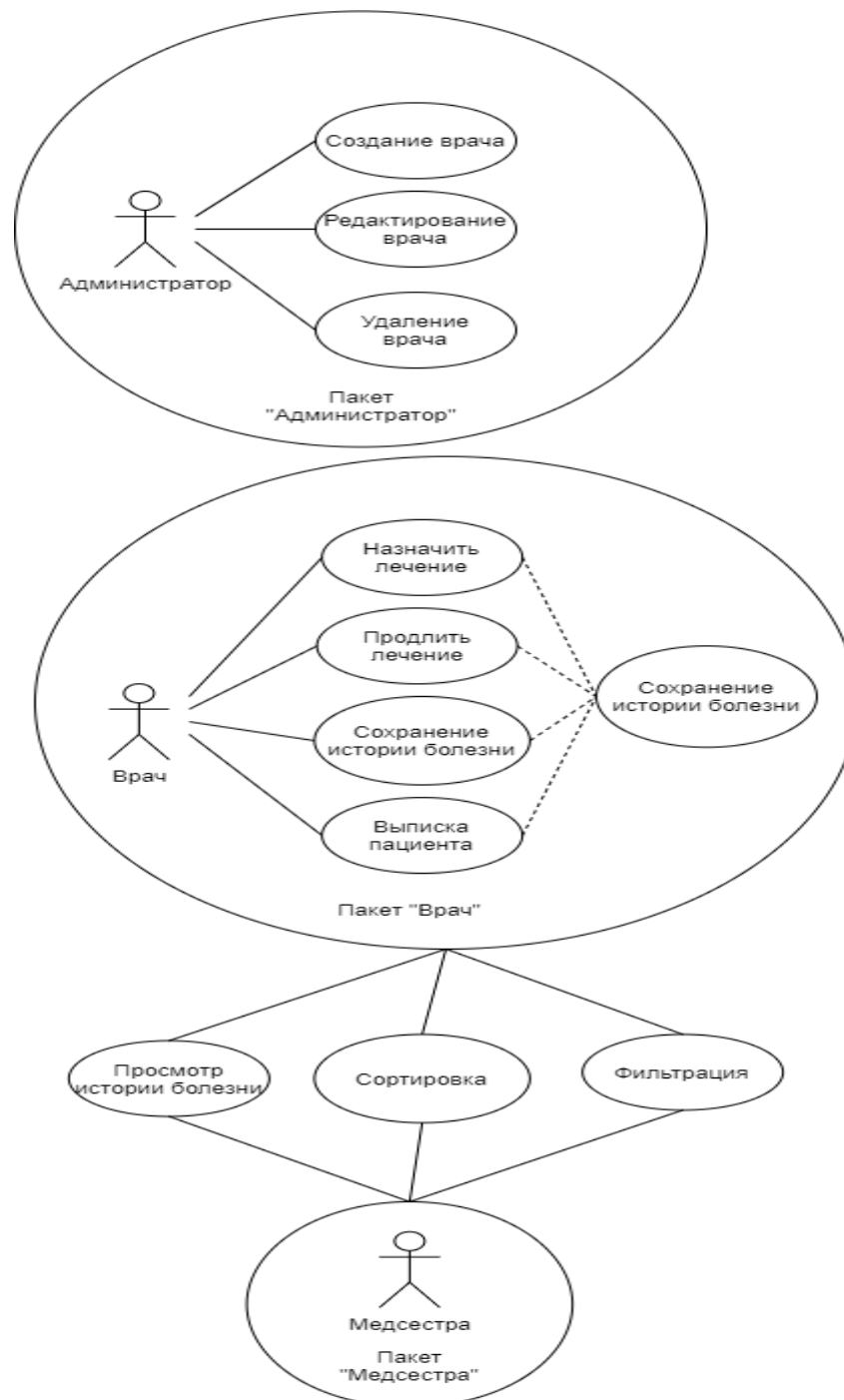


Рис. 1. Диаграмма прецедентов ролевого участия пользователей

Здоровствуйте, a.ivanov | Выйти

Запись о лучевой нагрузке

Название	рентген лобных и параназальных пазух
Причина	подозрение на гайморит
Описание	рентген лобных и параназальных пазух
Нагрузка	1 зиверт
Результат	
Архивировано	нет

[Редактировать](#)
[Добавить запись о снимке](#)
[Лист лучевой нагрузки](#)
[Мед карта](#)

Записи о снимках

Записи о снимках отсутствуют.

Рис. 2. Экранная форма просмотра деталей записи о лучевой нагрузке

Здоровствуйте, a.ivanov | Выйти

Создание снимка

Название

[Назад](#)
[Далее](#)

Рис. 3. Экранная форма создания записи о снимке

Запись о лучевой нагрузке может содержать несколько рентгеновских снимков. При нажатии на кнопку “Добавить запись о снимке” на странице просмотра деталей записи о лучевой нагрузке пользователь переходит на страницу просмотра листа лучевой нагрузки. Данная страница представлена на рис. 3.

Пример реализации принципа толерантности при синтезе экранной формы пользовательского интерфейса показан на рис. 4.

При нажатии на элемент меню “Создать пользователя” выводится страница выбора роли для нового пользователя, представленная на рис. 4.

Пример реализации принципа повторного использования при синтезе экранной формы пользовательского интерфейса показан на рис. 5. Имеются две страницы, которые используются повторно для разных действий с добавлением реквизитов.

Рис. 4. Экранная форма создания записи о пользователе

Рис. 5. Экранная форма поиска в базе данных пациентов

Пример реализации принципа видимости при синтезе экранной формы пользовательского интерфейса показан на рис. 6. Дополнительный функционал для незарегистрированных пользователей отсутствует, в то время как для администратора он доступен. Таким образом, я убираю не нужный функционал, и пользователь видит только то, что ему необходимо.

Рис. 6. Экранная форма редактирования данных пациентов

Научная новизна. Результаты. Научная новизна заключается в рассмотрении процесса и технологии проектирования и реализации пользовательского интерфейса человеко-машинного взаимодействия пользователей с автоматизированной информационной системой, анализ и синтез пользовательского интерфейса пользователей с автоматизированной информационной системой медицинского назначения, которая представляет собой систему «человек-машина», с реализацией человеко-машинного взаимодействия для обслуживания диагностических процедур с применением технологий реализации автоматизации процесса верификации состояния фрагментов медицинских биологических объектов подсистемой поддержки принятия решений данной автоматизированной информационной системой медицинского назначения, на основе базовых принципов проектирования и требований, которым должен удовлетворять пользовательский интерфейс.

Это позволило получить следующие результаты:

1) разработан пользовательский интерфейс для реализации человеко-машинного взаимодействия пользователей с автоматизированной информационной системой, синтезирован набор экранных форм пользовательского интерфейса пользователей с автоматизированной информационной системой медицинского назначения;

2) позволило повысить качество и удобство взаимодействия пользователей с программным и информационным обеспечением автоматизированной информационной системы в процессе обработки рентгенографических снимков и как следствие точность диагностики заболеваний[6,7,8];

3) разработанный пользовательский интерфейс взаимодействия пользователей с автоматизированной информационной системой позволил повысить степень автоматизации процесса обработки рентгенографических снимков с элементами автоматической обработки, что позволяет формализовать процедуру постановки диагноза[9,10,11];

4) позволило повысить оперативность актуальность, своевременность обмена данными между пользователями и системой посредством информационного обеспечения - структура базы данных в виде набора связанных таблиц для хранения базовой информации о пациентах и процессе диагностики и лечении[9,10,11];

5) достигнут уровень качества синтезированного пользовательского интерфейса, который удовлетворяет требованиям: естественности (интуитивность), непротиворечивости, избыточности, гибкости, адаптивности.

6) результаты исследований, представленные в данной работе прошли апробацию на десяти международных и семнадцати Всероссийских научно технических конференциях, опубликованы в научно-технических журналах, входящих в перечень ВАК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* АРМ поддержки принятия решений при диагностике ЛОР- заболеваний медицинской интегрированной автоматизированной информационной диагностической системы. – Сборник трудов XI Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2014) 2014, С. 68-72.
2. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Подсистема математического и программного обеспечения поддержки принятия решений на базе способов диагностики заболеваний по рентгеновским снимкам «Медицинской автоматизированной диагностической информационной системы» Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». 2015. № 1 С.34-43 ISSN 1561-1531.
3. *Проскуряков А.В., Смеречинский Д.В.* Информационное обеспечение интегрированной автоматизированной системы обработки данных результатов обследования в медицинском учреждении " Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». 2015. № 2 С.30-39 ISSN 1561-1531
4. *Проскуряков А.В.* Реализация способов диагностики заболеваний в медицинской автоматизированной информационной системе поддержки принятия решений. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XII Международной

- научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2016) 2016, С.303-307.
5. *Проскуряков А.В, Самойленко А.П.* Методология верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2018) 2018, С.209-212.
 6. *Проскуряков А.В.* Верификация состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям. Ростов, Таганрог: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко «КомТех-2019», С.169-175.
 7. *Проскуряков А.В.* Синтез информационной системы верификации фрагментов медицинских биологических объектов для диагностики заболеваний на базе методов системно-концептуального подхода Сборник трудов XVII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Информационные технологии, системный анализ и управление» (ИТСАиУ - 2019)(04-07 декабря 2019 г.) /Южный федеральный университет–Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2019.–С.176-179 ISBN: 978-5-9275-3408-1 (Т. 1) ISBN 978-5-9275-3407-4.
 8. *Проскуряков А.В.* Медицинская автоматизированная информационная система поддержки принятия решения для диагностики заболеваний с использованием верификации состояния фрагментов медико-биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям // Информатизация и связь. -2020 г., N3, с.55-60.
 9. *Проскуряков А.В.* Автоматизация процесса верификации состояния фрагментов медицинских биологических объектов подсистемой поддержки принятия решений для диагностики заболеваний // «Информатизация и связь». 2021. № 8 С.85-90 doi 10.34219/2078-8320-2020-11-3-55-60 ISSN 2078-8320.
 10. *Проскуряков А.В.* Синтез программного и информационного обеспечения реализации методов верификации состояния медицинских биологических объектов для медицинской автоматизированной информационной системы //«Известия ЮФУ». 2022. № 2 С.199-212 doi 10.18522/2911-3103-2022-2-199-212 ISSN 1999-9429.
 11. *Проскуряков А.В., Скляр С.А., Скляр А.А.* Программный модуль графических компонентов "AlternativeTypesLibrary" для ускоренной разработки

программных средств медицинских автоматизированных диагностических информационных систем. – Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015614617. Зарегистрировано 22апреля 2015 г.

Проскуряков Александр Викторович, старший преподаватель кафедры Математического обеспечения и применения ЭВМ, Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Энгельса, 1 347900, телефон: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfedu.ru.

Proskuryakov Alexander V., senior lecturer, Department of Mathematical support and computer application, southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels street, 1 347900, phone: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfedu.ru.

УДК 616-71; 519.688

Шарипов Марсель Ривкатович, Фахрутдинов Адель Фердинандович,
Кокунин Петр Анатольевич

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ ОТ СЕНСОРОВ СМАРТФОНА

Неинвазивный мониторинг является перспективной направлением в медицине для определения биометрических показателей. Целью исследования является обзор современных неинвазивных методов определения таких биометрических показателей, как частота сердечных сокращений. Показаны проблемы имеющихся решений, связанные с расчетными формулами, а также связанные с проведением испытаний.

Частота сердечных сокращений (ЧСС), биомониторинг, смартфон, неинвазивный мониторинг.

Sharipov Marsel Rivkatovich, Fahrutdinov Adel Ferdinandovich,
Kokunin Petr Anatolevich

METHODS FOR OBTAINING INFORMATION FOR BIOMEDICAL MONITORING OF HEART RATE USING BUILT-IN SMARTPHONE SENSORS

Non-invasive monitoring is a promising direction in medicine for determining biometric indicators. The purpose of the study is to review modern non-invasive methods

for determining such biometric indicators as heart rate. The problems of existing solutions related to calculation formulas, as well as those related to testing are shown.

Heart rate, biomonitring, smartphone, non-invasive monitoring.

Введение

Мониторинг биомаркеров, включая ЧСС, делится на два типа: специальные аппаратные решения и решения на основе смартфонов. Част анализ ЧСС основан на фотоплетизмограмме [1, 2, 3, 4], получаемой фотодиодом и инфракрасным излучателем. ЧСС вычисляется по количеству пиков за промежуток времени, формируемых за счет пульсаций в капиллярах при прохождении через них света.

В неинвазивном мониторинге существует ряд существенных проблем [5]:

- 1) проблема движения человека - на показатели измерения некоторых биомаркеров существенно влияет изменения положения тела человека;
- 2) проблема датчиков – эта проблема связана с размерами датчиков;
- 3) проблема батареи – так как устройства должны быть компактными, то возникает требование к использованию компактных гибких батарей, сегодня на рынке не представлены.

Методы расчета частоты сердечных сокращений

ЧСС является одним из важных показателей здоровья человека, который выявляет брадикардию и тахикардию.

В работе [1] Туви Орбач и Костас Мариас предложили метод детектирования ЧСС при помощи мобильного телефона. Их решение использует камеру и вспышку телефона для получения фотоплетизмограммы, которая позволяет измерять показатель яркости каждого кадра изображения для определения ЧСС.

Путем подсчета локальных экстремумов на графике зависимости средней яркости изображения от времени вычисляется пульс по следующей формуле:

$$HR = \frac{60*n}{t} \quad (1)$$

где n – количество локальных экстремумов, соответствующих притоку крови к капиллярам пальца, t – размер временного окна в секундах.

При хорошем освещении средняя ошибка составила 4,13%, а максимальная ошибка 8,11%. При плохом освещении средняя ошибка составила 4,67%, а максимальная 10,13%. Авторы заложили концепт недорогого

решения для простейшего медицинского обследования, которое большинство людей могут провести самостоятельно.

В работе [7] для измерения ЧСС использовался компактный датчик. Решение состоит из инфракрасного (ИК) излучателя, фотодиода, усилителя, фильтра, одновибратора и микроконтроллера.

Принцип работы: ИК источник излучает сигнал, проходящий через палец пациента, который фиксируется фотодиодом. Микроконтроллер выполняет подсчет ЧСС и выдает результат на LCD дисплей.

В работе [3] используется метод, похожий на [1], но имеющий отличия. Для анализа автор использует квадрант кадра изображения, аргументируя это тем, что там находятся самые значимые флуктуации яркости.

Автор разработал алгоритм калибровки, для улучшения результатов, с целью минимизации размера временного окна. Алгоритм калибровки рассчитывает калибровочный коэффициент по следующей формуле:

$$Ex = t - N * pk2pk \quad (2)$$

где t – размер временного окна в секундах, N – число пиков, $pk2pk$ – время между двумя соседними пиками.

Далее, проводится подстройка:

1. Если значение калибровочного коэффициента больше или равен $pk2pk$, значение N корректируется по формуле:

$$N = N + 1. \quad (3)$$

2. Если значение калибровочного коэффициента больше или равен $pk2pk / 2$, значение N корректируется по формуле:

$$N = N - (pk2pk - Ex) * \frac{60}{t}. \quad (4)$$

Далее, ЧСС вычисляется по формуле (1). Эксперименты по определению точности разработанного алгоритма показали, среднюю ошибку в 2%, при временном окне 15 секунд.

Как и в работах [1] и [3], в работе [4] предлагается измерять ЧСС при помощи камеры и вспышки смартфона. Испытуемого инструктировали дышать с контролируемой частотой дыхания 6, 10, 12 вдохов в минуту, что соответствует 0,16; 0,1 и 0,2 Гц. Задавая ритм дыхания, испытуемому указывали делать вдох и выдох в соответствующее время для поддержания нужной частоты. Кроме того, у того же испытуемого были записаны три набора неконтролируемых данных: дыхание в обычном темпе, при упражнениях, выполняемых сидя и стоя. Видео записывалось с частотой 29,97 кадров в секунду при разрешении 1280 x 720. После того как видеозаписи были сделаны, для анализа данных использовалась среда Matlab. Инструмент

VideoReading, предлагаемый в Matlab, был использован для извлечения кадров из перекодированного видео. Затем из каждого кадра были извлечены компоненты RGB. Однако для данного исследования использовались только значения зеленого цвета для расчета среднего значения уровня светового потока, поглощенного тканями пальца в каждом кадре. Таким образом, получен сигнал фотоплетизмографии (PPG), который используется для определения ЧСС. Средние значения интенсивности зеленого цвета в сигнале PPG формировали пики, которые соответствовали сердечному пульсу. Для поиска всех кардиологических пиков в сигнале использовался алгоритм обнаружения пиков. Как только пик был найден, вычислялась разница во времени между последовательными пиками. Эта разница во времени известна как вариабельность сердечного ритма (BCR). По значениям BCR оценивалась ЧСС по формуле:

$$\text{ЧСС} = \frac{60}{\text{BCR}}. \quad (5)$$

Собранные данные с мобильного телефона и биопояса были синхронизированы и пересчитаны для обеспечения одинаковой частоты дискретизации. Оценка ЧСС с помощью камеры мобильного телефона была сопоставлена с измерениями биопояса, и была выявлена высокая корреляция. Сигналы с биопояса появлялись с опережением, авторы объясняют это тем, что он пояс расположен ближе к сердцу, чем палец на камере мобильного телефона.

Для количественной оценки точности частоты сердечных сокращений, полученных с помощью камеры мобильного телефона (с автономной обработкой на Matlab) в реальном времени, были оценены абсолютная средняя ошибка (АСР), стандартное отклонение ошибки (СОО), среднеквадратичная ошибка (СКО) и коэффициенты корреляции. Три набора контролируемых и неконтролируемых данных были записаны с помощью камеры мобильного телефона и коммерческого датчика (BioHarness). Контролируемые данные записывались на трех различных частотах 0,1; 0,2 и 0,16 Гц.

Как и в работе [1], в [8] используется камера и вспышка смартфона и вычисляют ЧСС по формуле (1). Результаты измерения ЧСС авторы не предоставили.

В работе [9] авторы используют также метод получения ЧСС из сигнала фотоплетизмографии используя камеру и вспышку смартфона, но каких-либо формул вычисления не приводят.

В качестве критерия авторы использовали среднее значение ЧСС в минуту, полученное с помощью кардиографа BioZ с использованием

скользящего среднего за 4 такта. Значения ЧСС, записанные с мобильного телефона и пульсоксиметра Nonin, усреднялись и сравнивались с ЭКГ в соответствующие периоды времени. Были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона (r) и стандартные ошибки оценки (SEE). Поскольку ожидается, что устройства будут иметь высокую корреляцию при измерении одного и того же сигнала, согласованность показаний трех устройств оценивалась для каждого вида деятельности с помощью графиков Бланда-Альтмана для повторных измерений с 95% границами согласия. Значение ЧСС при чтении вслух и в процессе игры в видеоигру увеличивалось по сравнению с условиями покоя, когда пациент сидел, что ожидаемо. Показатели ЧСС, полученные с помощью мобильного телефона, имели высокую корреляцию с показателями ЭКГ BioZ ($r \geq .99$), а SEE, рассчитанные между ЭКГ смартфоном и BioZ, составляли ≤ 1 уд/мин во всех видах активности. Также наблюдалась высокая корреляция между смартфоном и Nonin 9560BT для всех условий ($r_s \geq .99$, $SEE \leq 2,09$ уд/мин). Авторы отмечают, что высокая корреляция при измерении различными устройствами не обязательно означает адекватное согласие, поскольку данные с двух устройств измерения ЧСС могут совпадать в любой линейной плоскости и приводить к высоким коэффициентам корреляции.

В работе [10] алгоритм работы датчика измерения ЧСС настроен на выполнение 5 измерений в минуты. В качестве сравнения авторы использовали другой прибор - оксиметр Mindray.

Таблица 1

Сравнительная таблица решений по измерению частоты сердечных сокращений

Решение	Вид решения	Точность
[1]	ПО для мобильного устройства	Ошибка: 4.13%
[6]	Компактное аппаратное решение	Представлено не было
[3]	ПО для мобильного устройства	Ошибка: 2%
[4]	ПО для мобильного устройства	Ошибка от 5.35 до 8.71 уд./мин.
[7]	ПО для мобильного устройства	Представлено не было

[9]	ПО для мобильного устройства	Ошибка не более 2.09 уд./мин.
[10]	Аппаратное решение	Ошибка: 3.1%

Обсуждение и открытые проблемы

Сегодня превалируют решения по вычислению ЧСС на базе смартфонов. Однако, с глобальной точки зрения, основная проблема заключается в отсутствии единой системы по измерению указанных показателей ввиду того, что в основном решения сочетают в себе определения 1-2 биометрических показателей.

Самым распространенным решением является использование фотоплетизмографии для определения основных показателей биометрии. Стоит отметить, что испытания показанных решений были проведены недостаточно обширно. Не достаточно данных по испытаниям на пациентах детского-подросткового возраста (до 16 лет) и пожилых людей (от 60 лет). Расчет самих показателей часто связан с использованием эмпирически полученных констант, что снижает точность измерений. Для реализации решений на смартфонах, требуется разработка процедуры калибровки, под каждого пользователя и под каждое устройство. Алгоритмы машинного обучения показали хорошую точность определения значения показателей, однако такие алгоритмы требуют больших мощностей при реализации на конечном компактном устройстве.

Выводы

Рассмотренные исследования по неинвазивному мониторингу основных биомаркеров показали потенциальную применимость смартфонов для их определения. Существуют проблемы при использовании различных моделей смартфонов, так как параметры сенсоров могут отличаться, что приводит к необходимости калибровки, также в рассмотренных решениях мало затронуты испытания на людях, находящихся в группе риска. К тому же отсутствуют комплексные компактные аппаратные решения по неинвазивному повседневному мониторингу биомаркеров. Данные проблемы потенциально решаемы и требуют дополнительных исследований и разработок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Pelegris P., Banitsas K., Orbach T., Marias K.* A novel method to detect Heart Beat Rate using a mobile phone // 2010 Annual International Conference of the

- IEEE Engineering in Medicine and Biology. - Буэнос-Айрес: IEEE, 2010. - С. 5488-5491.
2. Low-cost portable heart rate monitoring based on photoplethysmography and decision tree // AIP Publishing URL: <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4958522> (дата обращения: 10.11.2021).
 3. Measuring Vital Signs Using Smart Phones // Digital Library URL: https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc33139/m2/1/high_res_d/thesis.pdf (дата обращения: 10.11.2021).
 4. Extracting heart rate and respiration rate using a cell phone camera // Dreuarchive URL: <https://www.dreuarchive.cra.org/2013/Jimenez/documents/EXTRACTING%20HEART%20RATE%20AND%20RESPIRATION%20RATE%20USING%20A%20CELL%20PHONE%20CAMERA.pdf> (дата обращения: 10.11.2021).
 5. Xu C., Yang Y., Gao W. Skin-Interfaced Sensors in Digital Medicine: from Materials to Applications // Matter. - 2020. - №2. - С. 1414-1445.
 6. Pantelopoulos A., Bourbakis N. A Survey on Wearable Biosensor Systems for Health Monitoring // 30th Annual International IEEE EMBS Conference. - Columbia: IEEE, 2008. - С. 4887-4890.
 7. Mengelkoch L., Martin D., Lawlew J. A review of the principles of pulse oximetry and accuracy of pulse oximeter estimates during exercise // Physical Therapy. - 1994. - №74. - С. 40-49.
 8. Kanwa A., Sharma C., Deb S. Determination of SpO2 and Heart-rate using Smartphone Camera // Proceedings of the 2014 International Conference on Control, Instrumentation, Energy and Communication (CIEC). - 2014. - С. 40-49.
 9. Development and Validation of a Smartphone Heart Rate Acquisition Application for Health Promotion and Wellness Telehealth Applications // Semantics Scholar URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Development-and-Validation-of-a-Smartphone-Heart-Gregoski-Mueller/6e5c9b91e1bbab624a47238cf3c1475ae1c08014> (дата обращения: 06.11.2021).
 10. Wijaya N., Fauzi F., Helmy E., Nguyen P., Atmoko R. The Design of Heart Rate Detector and Body Temperature Measurement Device Using ATMega16 // Journal of Robotics and Control (JRC). - 2020. - №2. - С. 40-43.

Шарилов Марсель Ривкатович, старший лаборант лаборатории малой вычислительной техники, кафедры системного анализа и информационных технологий Института вычислительной математики и информационных технологий

Казанского (Приволжского) федерального университета, Россия, город Казань, улица Кремлевская 35, 420008, телефон: +7 (917) 932-44-78, email: marselsharipov@live.ru

Фахрутдинов Адель Фердинандович, ведущий инженер-программист сектора высокоуровневой разработки Научно-исследовательского центра «Центр превосходства Специальная робототехника и искусственный интеллект» Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, Россия, город Казань, улица Бутлерова 4, 420012, телефон: +7 (987) 293-41-53, email: timvaz@yandex.ru

Кокунин Петр Анатольевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории медицинского интернета вещей Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, Россия, город Казань, улица Бутлерова 4, 420012, телефон: +7 (917) 873-22-17, email: pkokunin@mail.ru.

Sharipov Marsel Rivkatovich, Senior Laboratory at the Laboratory of Small Computing Equipment, Department of System Analysis and Information Technologies, the Institute of Computer Mathematics and Information Technologies Kazan (Volga Region) Federal University, 420008, Russia, Kazan, 35 Kremlevskaya Street, phone: +7 (917) 932-44-78, email: marselsharipov@live.ru

Fahrutdinov Adel Ferdinandovich, Leading engineer-programmer of the high-level development sector of the Research Center "Center of Excellence Special Robotics and Artificial Intelligence" of the Institute of Computer Mathematics and Information Technologies Kazan (Volga Region) Federal University, 420012, Russia, Kazan, 4 Butlerova Street, phone: +7 (987) 293-41-53, email: timvaz@yandex.ru

Kokunin Petr Anatolevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Leading Researcher at the Laboratory of the Medical Internet of Things of the Institute of Computer Mathematics and Information Technologies Kazan (Volga Region) Federal University, 420012, Russia, Kazan, 4 Butlerova Street, phone: +7 (917) 873-22-17, email: pkokunin@mail.ru.

УДК 616-71; 519.688

Егорчев Антон Александрович, Сарамбаев Никита Андреевич

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ДЫХАНИЯ ПО ДАННЫМ С ВИБРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ СМАРТФОНА

В настоящей работе представлен метод определения частоты дыхания с использованием трехосевого акселерометра на мобильном устройстве. Метод позволяет пользователю измерять частоту дыхания человека только при условии того, что пользователь находится в сидячем положении и мобильное устройство, оснащенное необходимым датчиком, расположена в верхней и передней области бедра. Для определения частоты дыхания в данном методе используется полосовой фильтр Баттерворта, анализ независимых компонент (independent component analysis, ICA) и спектральный анализ. В работе приведен сравнительный анализ аналогичных методик. Предложенный в работе метод может быть реализован на смартфоне с трехосевыми акселерометрами.

Частота дыхания, мобильное приложение, трёхосевой акселерометр, полосовой фильтр Баттерворта, анализ независимых компонент (ICA), спектральный анализ.

Egorchev Anton Alexandrovich, Sarambayev Nikita Andreevich

THE PROBLEM SOLUTION OF DETERMINING THE SURFACE RESPIRING RATE BASED ON DATA FROM THE VIBROMETRIC SENSORS OF A SMARTPHONE

This paper presents a method for determining the respiratory rate using a three-axis accelerometer on a mobile device. The method allows the user to measure a person's respiratory rate only if the user is in a sitting position and a mobile device equipped with the necessary sensor is located in the upper and anterior region of the thigh. This method uses a Butterworth bandpass filter, independent component analysis (ICA) and spectral analysis to determine the respiratory rate. The paper presents a comparative analysis of similar methods. The quality of the considered calculation method, as well as its software implementation, determine the practical applicability on mobile devices with a three-axis accelerometer.

Respiratory rate, mobile application, three-axis accelerometer, Butterworth bandpass filter, independent component analysis (ICA), spectral analysis.

Введение

Измерение частоты дыхания широко используется в медицине для проверки нормального функционирования дыхательных и сердечных систем.

В медицинской практике для определения частоты дыхания могут быть использованы следующие инструменты: капнограф, дыхательный индуктивный плетизмограф, электроимпедансная томография и другие.

Акселерометр также может быть использован для определения частоты дыхания. В исследовании [1] оценивается частота дыхания поиском доминантной частоты в спектре сигнала одноосного акселерометра, закрепленного в верхней части живота для трех типов дыхания: медленного, нормального и быстрого. В [2] измерения проводились с трехосевым акселерометром, расположенным на ремне во время различных видах деятельности: сидение, ходьба, бег и сон. В исследовании [3] для расчета частоты дыхания используется сигнал, соответствующий косинусу угла поворота вектора ускорения трехосевого акселерометра. В [4] исследуемый использовался трехосевой акселерометр, расположенный на спине и трехосевой акселерометр, расположенный на груди во время бега испытуемого, для определения частоты дыхания были использованы методы оптимальных поворотов трехосевых акселерометров, адаптивные полосовые фильтры, основанные на доминантной частоте и алгоритмы определения пиков. В [5] были рассмотрены случаи расположения смартфона со встроенным трехосевым акселерометром в кармане брюк, в сумке, в руке; сигнал акселерометра был отфильтрован полосовым фильтром Баттерворта и затем очищен от шума с использованием анализа независимых компонент (ICA) из работы [6].

Основная часть

В работе рассмотрена видеоизмененная реализация алгоритма [5].

Предполагается, что мобильное устройство находится в верхне-передней области бедра (рис.1).

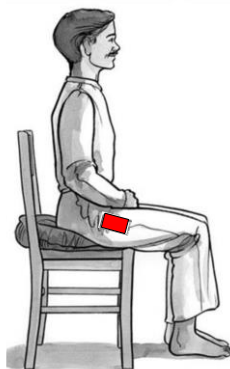


Рис. 1. Место расположения мобильного устройства

На вход алгоритма подается сигнал (x , y , z , t) длительностью 17 сек трехосевого акселерометра размером $4 \times n$ (n – длина сигнала). Для определения частоты дыхания производятся следующие шаги:

- 1) приведение сигнала к частоте дискретизации 100 Гц;
- 2) z-нормирование сигнала;
- 3) фильтрация сигнала полосовым фильтром Баттерворта с полосой пропускания [0.13, 0.66] Гц;
- 4) применение анализа независимых компонент (ICA) для получения 3-ех независимых сигналов;
- 5) получение трех доминантных частот в частотной области для трех сигналов;
- 6) вычисление медианы для трех доминантных частот.

Блок схема алгоритма представлена на рис. 2.

Алгоритм был реализован на языке python.

Используемые устройства:

- 1) клиентское: Xiaomi, характеристики: RAM 4 Гб; CPU: 2,3 ГГц; акселерометр и гироскоп;
- 2) серверное: GPU: NVIDIA Quadro RTX 6000; оперативная память: 64 Гб; процессор: Intel® Core™ i9-9920X; постоянная память: SSD Intel SSDPEKKW010T8(004C) 1Тб.

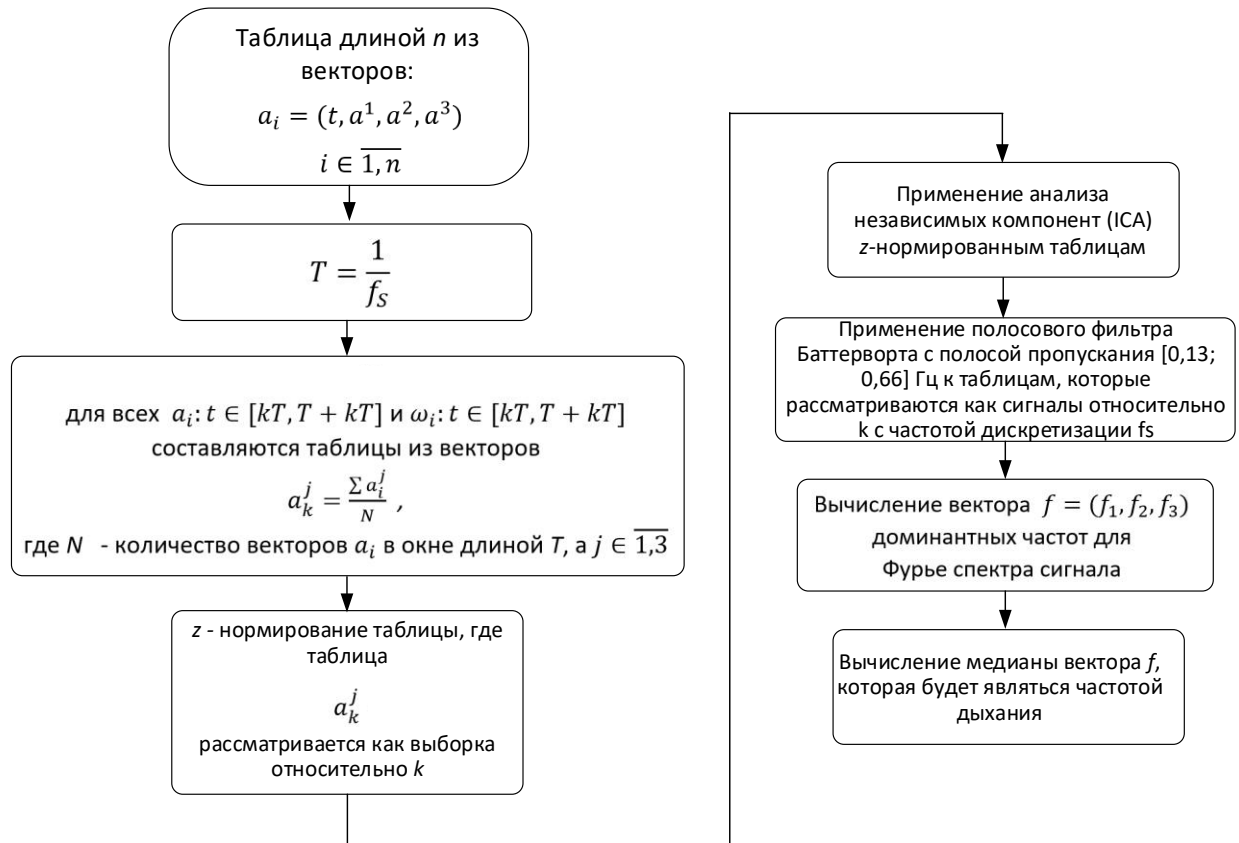


Рис. 2. Блок схема алгоритма

Эксперимент

У испытуемого, находящегося в сидячем положении, мобильное устройство с трехосевым акселерометром было размещено в верхней области бедра. В то же время для верификации алгоритма была измерена частота дыхания путем подсчета количества вдохов в минуту. Всего было проведено 100 таких опытов для диапазона дыхания [10, 20] вдохов/мин, и для диапазона дыхания [20, 30] вдохов/мин. Результаты эксперимента представлены в рис.3а, 3б.

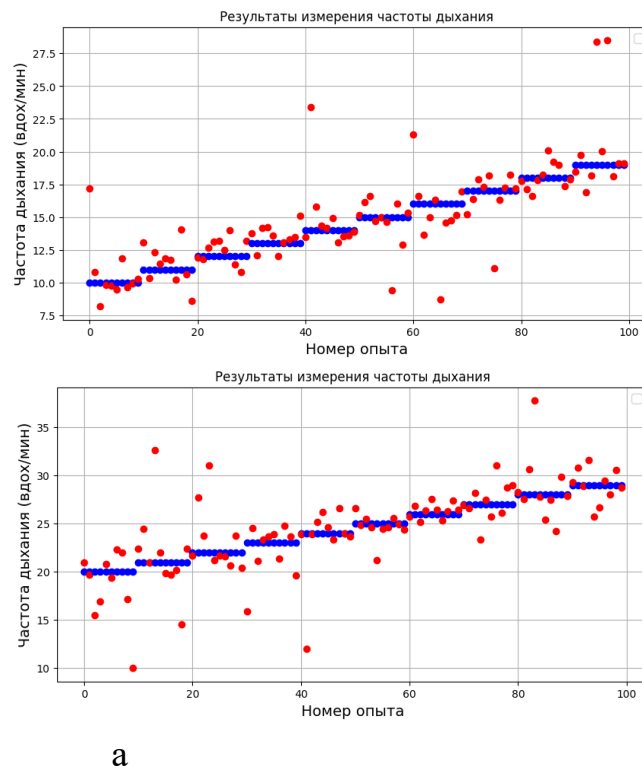


Рис. 3

а) результаты измерения частоты дыхания, а для диапазона [10, 20] вдохов/мин, б) для диапазона [20, 30] вдохов/мин, синим цветом – значения, измеренные вручную, красным цветом – значения измеренные, разработанным ПО

По результатам эксперимента был проведен анализ на выбросы графическим методом для определения выбросов и ошибки метода. Ошибка метода E_{method} была рассчитана по следующей формуле. N_{out} – число выбросов.

$$E_{method} = N_{out}/N, \quad (1)$$

где N – общее число испытаний, N_{out} – число выбросов.

Среднеквадратичная ошибка для диапазона [10, 20] составила 2,14. Среднеквадратичная ошибка для диапазона [20, 30] составила 3,46. Ошибка метода на отрезке [10, 20] составила 0,1. Ошибка метода на отрезке [20, 30] составила 0,09.

Выводы

Разработанный алгоритм и его программная реализация могут использоваться в приложениях мониторинга здоровья человека, разворачиваемых на смартфонах. Ошибки метода можно устранить на этапе статистических расчетов. В связи с этим рекомендуемое время эксперимента для

определения поверхностного дыхания должно составлять 1 мин. Точность алгоритма можно повысить путем подбора параметров метода ICA.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Mansour K. B., Guesneau M., Mansour K. B.* Monitoring of various breathing rate with an accelerometer //JETSAN 2021-Colloque en Télésanté et dispositifs biomédicaux-8ème édition. – 2021.
2. *Liu G. Z. et al.* Estimation of respiration rate from three-dimensional acceleration data based on body sensor network //Telemedicine and e-health. – 2011. – Т. 17. – №. 9. – С. 705-711.
3. *Bates A. et al.* Respiratory rate and flow waveform estimation from tri-axial accelerometer data //2010 International Conference on Body Sensor Networks. – IEEE, 2010. – С. 144-150.
4. *Vertens J. et al.* Measuring Respiration and Heart Rate using Two Acceleration Sensors on a Fully Embedded Platform //icSPORTS. – 2015. – С. 15-23.
5. *Hernandez J., McDuff D. J., Picard R. W.* Biophone: Physiology monitoring from peripheral smartphone motions //2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). – IEEE, 2015. – С. 7180-7183.
6. *Oja E., Yuan Z.* The FastICA algorithm revisited: Convergence analysis //IEEE transactions on Neural Networks. – 2006. – Т. 17. – №. 6. – С. 1370-1381.
7. *Selesnick I. W., Burrus C. S.* Generalized digital Butterworth filter design //IEEE Transactions on signal processing. – 1998. – Т. 46. – №. 6. – С. 1688-1694.
8. *Le Q. et al.* ICA with reconstruction cost for efficient overcomplete feature learning //Advances in neural information processing systems. – 2011. – Т. 24.

Егорчев Антон Александрович, кандидат технических наук, заместитель директора по общим вопросам Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, Россия, город Казань, улица Кремлевская 35, 420008, телефон: +7 (843) 233-76-09, email: eanton090@gmail.com.

Сарамбаев Никита Андреевич, инженер-программист сектора высокоуровневой разработки Научно-исследовательского центра «Центр превосходства Специальная робототехника и искусственный интеллект» Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, Россия, город Казань, улица Бутлерова 4, 420012, телефон: +79179029352, email: sarambaev@gmail.com

Egorchev Anton Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Deputy Director for General Affairs of the Institute of Computer Mathematics and Information Technologies Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, 35 Kremlevskaya Street, 420008, Russia, phone: +7 (843) 233-76-09, email: eanton090@gmail.com

Sarambaev Nikita Andreevich, Engineer-programmer of the high-level development Sector of the Research Center "Center of Excellence Special Robotics and Artificial Intelligence" of the Institute Computer Mathematics and Information Technologies Kazan (Volga Region) Federal University, 420012, Russia, Kazan, 4 Butlerova Street, phone: +79179029352, email: sarambaev@gmail.com

УДК 519.6

Буланов Сергей Георгиевич

КОМПЬЮТЕРНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Предложен подход к анализу устойчивости по Ляпунову систем обыкновенных дифференциальных уравнений. В основе лежат критерии устойчивости в виде необходимых и достаточных условий, полученные на основе векторно-матричных преобразований разностных схем численного интегрирования. Критерии представлены в мультипликативной, аддитивной, интегральной и логарифмической форме. Приводятся формальные ограничения, при которых получены критерии, условия для их применимости. Форма критериев допускает аналитическое применение для теоретических оценок устойчивости и практическое использование для компьютерного анализа устойчивости по ходу приближенного решения дифференциальной системы.

Устойчивость по Ляпунову, компьютерный анализ устойчивости, разностные решения дифференциальных уравнений.

Bulanov Sergei Georgievich

COMPUTER-ORIENTED STABILITY CRITERIA FOR SYSTEMS OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS

An approach to the analysis of Lyapunov stability of systems of ordinary differential equations is proposed. It is based on stability criteria in the form of necessary and

sufficient conditions obtained on the basis of vector-matrix transformations of numerical integration difference schemes. The criteria are presented in multiplicative, additive, integral and logarithmic form. Formal restrictions are given under which the criteria are obtained, conditions for their applicability. The form of the criteria allows analytical application for theoretical stability assessments and practical use for computer analysis of stability in the course of an approximate solution of a differential system.

Lyapunov stability, computer stability analysis, difference solutions of differential equations.

Введение

Анализ устойчивости по Ляпунову необходимо выполнять при движении нелинейных динамических систем при постоянно действующих возмущениях, в энергетике и самолетостроении [1-3]. Традиционно анализ выполняется на основе методов качественной теории устойчивости [4, 5]. В статье предлагается подход к анализу устойчивости по Ляпунову систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) на основе критериев, первоначально полученных на основе векторно-матричных преобразований разностных схем численного интегрирования. Критерии получены в форме необходимых и достаточных условий, конструкция критериев влечет возможность их программной реализации. На основе полученных критериев в мультипликативной форме строятся их разновидности в аддитивной, интегральной и логарифмической форме.

Основная часть

Рассматривается задача Коши для системы ОДУ

$$V' = U(t, V), \quad V_0 = V(t_0), \quad t \in [t_0, \infty). \quad (1)$$

Предполагается, что существует $\delta > 0$, такое что в области $R: \{t_0 \leq t < \infty; \forall \tilde{V}(t), V(t): \|\tilde{V}_0 - V_0\| \leq \delta\}$ выполнены все условия существования и единственности решения системы (1). Вектор-функция $U(t, V)$ определена, непрерывна в R и удовлетворяет условию Липшица: $\|U(t, \tilde{V}) - U(t, V)\| \leq L \|\tilde{V}(t) - V(t)\| \quad \forall \tilde{V}(t), V(t) \in R, L = \text{const}$. Требуется исследовать на устойчивость по Ляпунову решение системы (1).

Разность между точным значением возмущенного и невозмущенного решения системы (1) в форме метода Эйлера с остаточным членом на шаге имеет вид [6, 7]

$$\tilde{v}_{k(i+1)} - v_{k(i+1)} = \tilde{v}_{ki} - v_{ki} + h \frac{u_k(t_i, \tilde{V}_i) - u_k(t_i, V_i)}{\tilde{v}_{ki} - v_{ki}} (\tilde{v}_{ki} - v_{ki}) + w_{ki},$$

или

$$\tilde{v}_{k(i+1)} - v_{k(i+1)} = (1 + h D_i^{(k)}) (\tilde{v}_{ki} - v_{ki}) + w_{ki} \quad k \in \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $D_i^{(k)} = (u_k(t_i, \tilde{V}_i) - u_k(t_i, V_i)) / (\tilde{v}_{ki} - v_{ki})$, $t = t_{i+1}$, $h = (t_{i+1} - t_0)/(i+1)$, $i = 0, 1, \dots$

Рекуррентно преобразуя выражение (2), получим выражение для возмущения на текущем шаге через возмущение начальных данных:

$$\tilde{v}_{k(i+1)} - v_{k(i+1)} = \prod_{\ell=0}^i (1 + h D_{i-\ell}^{(k)}) (\tilde{v}_{k0} - v_{k0}) + R_i^{(k)} \quad k \in \overline{1, n},$$

$$R_i^{(k)} = \sum_{r=0}^{i-1} \prod_{\ell=0}^r (1 + h D_{i-\ell}^{(k)}) w_{k(i-r-1)} + w_{ki}, \quad \lim_{i \rightarrow \infty} R_i^{(k)} = 0 \quad [8].$$

Отсюда следует

$$\tilde{v}_k(t) - v_k(t) = \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (1 + h D_{i-\ell}^{(k)}) (\tilde{v}_k(t_0) - v_k(t_0)) \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}. \quad (3)$$

Выражение $\lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (1 + h D_{i-\ell}^{(k)})$ определяет поведение величины возмущения. Следовательно, критерии устойчивости и асимптотической устойчивости имеют вид:

$$\left| \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (1 + h D_{i-\ell}^{(k)}) \right| \leq c_1, \quad c_1 = \text{const}, \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}. \quad (4)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left| \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (1 + h D_{i-\ell}^{(k)}) \right| = 0 \quad \forall k \in \overline{1, n}. \quad (5)$$

Значение критериев (4), (5) заключается в возможности выполнять анализ устойчивости нелинейной системы ОДУ без представления решения в аналитической форме, непосредственно по значениям разностных приближений. Мультипликативная форма выражений под знаком предела позволяет выполнить программную реализацию критериев (4), (5). В случае анализа устойчивости систем линейных ОДУ с переменной матрицей коэффициентов не требуется вычисления разностных приближений решения. Достаточно на вход программы подать значения элементов матрицы из правой части системы в начальной точке и далее оценивать характер поведения нормы частичного матричного произведения [9, 10].

С целью получить критерии устойчивости системы (1) в аддитивной форме выполним следующее преобразование соотношения (3)

$$\tilde{v}_k(t) - v_k(t) = e^{\lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i \ln(1 + h D_{i-\ell}^{(k)})} (\tilde{v}_k(t_0) - v_k(t_0)) \quad \forall k \in \overline{1, n}.$$

Критерии устойчивости решения системы (1) в мультипликативном виде (4), (5) преобразуются в аддитивную форму:

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i h D_{i-\ell}^{(k)} \leq c_2, \quad c_2 = \text{const}, \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}.$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i h D_{i-\ell}^{(k)} = -\infty.$$

Выражение в левой части аддитивных критериев представляет собой предел интегральной суммы на $[t_0, t]$ элементами которой являются дискретные функции

$$D^{(k)}(t) = (u_k(t, \tilde{V}) - u_k(t, V)) / (\tilde{v}_k(t) - v_k(t)), \quad \forall k \in \overline{1, n}.$$

Следовательно, выражения аддитивных критериев включают определенные интегралы, и критерии можно сформулировать в интегральной форме [11]:

$$\int_{t_0}^t \frac{u_k(t, \tilde{V}) - u_k(t, V)}{\tilde{v}_k(t) - v_k(t)} dt \leq c_2, \quad c_2 = \text{const}, \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}. \quad (6)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_{t_0}^t \frac{u_k(t, \tilde{V}) - u_k(t, V)}{\tilde{v}_k(t) - v_k(t)} dt = -\infty \quad \forall k \in \overline{1, n}. \quad (7)$$

Числитель переменной дроби $D^{(k)}(t)$ является производной возмущения решения и делится на само возмущение, поэтому существует первообразная: $\int_{t_0}^t D^{(k)}(t) dt = \ln \left| \frac{\tilde{v}_k(t) - v_k(t)}{\tilde{v}_k(t_0) - v_k(t_0)} \right|$.

Соответственно критерии (6) (7) примут вид:

$$\ln \left| \frac{\tilde{v}_k(t) - v_k(t)}{\tilde{v}_k(t_0) - v_k(t_0)} \right| \leq c_2, \quad c_2 = \text{const}, \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}.$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \ln \left| \frac{\tilde{v}_k(t) - v_k(t)}{\tilde{v}_k(t_0) - v_k(t_0)} \right| = -\infty \quad \forall k \in \overline{1, n}.$$

Все представленные разновидности критериев устойчивости систем ОДУ допускают программную реализацию. По численному поведению выражения из левой части критериев делается вывод о характере устойчивости исследуемой системы. В частности при исследовании на основе критериев (4), (5) ограниченное изменение модуля выражения из левой части критериев соответствует устойчивости, стремление значения модуля к нулю свидетельствует об асимптотической устойчивости, неограниченный рост является признаком неустойчивости решения системы ОДУ.

Выводы

Представлен подход к анализу устойчивости по Ляпунову систем ОДУ. В основу подхода положена идея, заключающаяся в определении величины возмущения решения системы ОДУ на основе преобразования разностной схемы численного интегрирования. В результате рекуррентных преобразований устанавливается зависимость величины возмущения решения

нелинейной системы ОДУ от возмущения начальных данных и некоторого коэффициента пропорциональности, который определяет характер устойчивости исследуемой системы. На этой основе получены критерии устойчивости систем нелинейных ОДУ в мультипликативной, аддитивной, интегральной и логарифмической форме. Критерии представлены в виде необходимых и достаточных условий, допускают возможность программной реализации, что позволяет выполнять анализ устойчивости в режиме реального времени по ходу приближенного решения системы ОДУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельников Г.И., Мельников В.Г., Дударенко Н.А., Талапов В.В. Устойчивость движения нелинейных динамических систем при постоянно действующих возмущениях // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2019. – Т. 19., № 2. – С. 216-221.
2. Куликов Л.И. Синтез автоматического управления посадкой БЛА самолетного типа и анализ устойчивости желаемых режимов движения // Фундаментальная и прикладная математика. – 2018. – № 2. – С. 209-220.
3. Поляк Б.Т., Кузнецов О.Н., Чумаченко В.В. Исследование устойчивости энергосистемы с однополярным магнитным тормозом // Автоматика и телемеханика. – 2016. – № 9. – С. 58 - 69.
4. *Hafstein S.* A constructive converse Lyapunov theorem on asymptotic stability for nonlinear autonomous ordinary differential equations // *Dynamical Systems.* – 2005. – Vol. 20. – P. 281-299.
5. *Zhaolu T., Chuanqing G.* A numerical algorithm for Lyapunov equations // *J. Appl. Math. Comput.* – 2008. – Vol. 202, Issue 1. – P. 44-53.
6. Ромм Я.Е. Компьютерно-ориентированный анализ устойчивости на основе рекуррентных преобразований разностных решений обыкновенных дифференциальных уравнений // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – Т. 51, № 3. – С. 107-124.
7. Ромм Я.Е., Буланов С.Г. Численное моделирование устойчивости по Ляпунову // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 7. – С. 42-60.
8. Буланов С.Г. Анализ устойчивости систем линейных дифференциальных уравнений на основе преобразования разностных схем // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2019. – Т. 20, № 9. – С. 542-549.
9. *Bulanov S.G.* Differential systems stability analysis based on matrix multiplicative criteria // *Journal of Physics: Conf. Series.* – 2020. – P. 012103.

10. Bulanov S.G. Computer analysis of differential systems stability based on linearization and matrix multiplicative criteria // Journal of Physics: Conf. Series. – 2021. – P. 012101.
11. Буланов С.Г. Анализ устойчивости систем линейных дифференциальных уравнений на основе покомпонентного сопоставления знаков решения, первой и второй производной решения // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 9. – С. 11-16.

Буланов Сергей Георгиевич, кандидат технических наук, доцент, Ростовский государственный экономический университет, Россия, город Таганрог, улица Инициативная 48, 347924, телефон: 89094369543, email: bulanovtgp@mail.ru.

Bulanov Sergei Georgievich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Rostov State University of Economics, 347924, Russia, Taganrog, 48 Initiativnaya street, phone: 89094369543, email: bulanovtgp@mail.ru.

УДК 004.932

Козловский Александр Вячеславович

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ МЕТОДА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ

В работе рассматриваются специализированные алгоритмы метода обработки изображений для задач прикладной фотограмметрии. Целью проведения исследований в данном направлении является автоматизация процессов бесконтактных определений параметров объектов, что позволит тем самым уменьшить затраты ресурсов и повысить точность получаемой информации.

Фотограмметрия, метод обработки изображений, специализированные алгоритмы.

Kozlovskiy Alexander Vyacheslavovich

SPECIALIZED IMAGE PROCESSING ALGORITHMS FOR APPLIED PHOTOGRAMMETRY METHOD

The paper considers specialized algorithms of the image processing method for applied photogrammetry problems. The purpose of conducting research in this direction is to automate the processes of non-contact determination of object parameters, which

will thereby reduce resource costs and improve the accuracy of the information received.

Photogrammetry, image processing method, specialized algorithms.

Введение

Одной из важных задач фотограмметрии является автоматизация определения геометрических параметров объектов, позволяющая ускорить процессы информационного обмена, например, при реализации складских или торговых операций, при этом автоматизация определения геометрических параметров выполнялась путем развертывания сложных программно-аппаратных комплексов [1-8], эксплуатация которых требовала привлечения персонала соответствующей квалификации. В итоге выгоды от ускорения информационного обмена и снижения доли ошибок, вызванных человеческим фактором, нивелировались возросшей стоимостью выполнения бизнес-процессов. Благодаря развитию технологий компьютерного зрения, методов фотограмметрии, облачных технологий и мобильных вычислений появилась возможность снижения требований к комплексности программно-аппаратной части измерительных систем и персонала, эксплуатирующего эти системы. Данные подходы способствуют автоматизации процессов бесконтактных измерений и определения объектов, которые могут быть использованы также в архитектуре, медицине, строительстве, при организации безопасности и множестве других отраслей. Задачи по идентификации объектов позволяют производить их подсчет, определение качества товара и его учет. Определение не только количества объектов, но и их характеристик позволяет рассчитывать объем, массу и другие параметры, на основе которых становится возможным решение логистических задач за более краткие сроки с повышенной точностью данных. В результате аналитического обзора и исследования существующих готовых решений и способов, можно сделать вывод, что цифровые фотограмметрические системы обладают актуальностью и потенциалом в развитии и модернизации уже существующих систем. Развитие исследований в данном направлении поможет автоматизировать процессы бесконтактных измерений объектов, тем самым уменьшить затраты ресурсов и повысить точность получаемой информации.

Основная часть

Особенностью рассматриваемых специализированных алгоритмов (и являющихся неотъемлемой частью данного метода) является то, что они изначально базируются на разработанном автором методе обработки

изображений, позволяющим изначально получить изображение высокого разрешения [9, 10], используемое далее для задач прикладной фотограмметрии.

Специализированные алгоритмы метода обработки изображений для задач прикладной фотограмметрии можно классифицировать следующим образом:

- сегментация изображения, при которой происходит разбиение изображения на несколько фрагментов для их отдельного анализа;
- обнаружение объектов на изображении;
- распознавание объектов;
- обнаружение границ объектов;
- классификация объектов, т.е. группирование объектов/изображений по категориям.

Рассмотрим данный процесс поэтапно:

1) первый этап характеризуется получением изображения высокого разрешения;

2) бинаризация изображения;

3) выделение контуров объектов;

4) первичная фильтрация (по периметру, площади и т. п.) по отношению к выделенным контурам объектов;

5) эквализация контуров с целью инвариантности масштаба;

6) идентификация и классификация выявленных контуров. На данном этапе происходит выделение уникальных характеристик объектов. Такие характеристики позволяют выполнять сопоставление каждого объекта либо с самим собой, либо со схожим классом объектов. Выбор определенного метода обуславливается сложностью и спецификой задачи.

Алгоритм формирования фотограмметрической системы по первичным входным данным может быть представлен следующим образом (рис. 1).

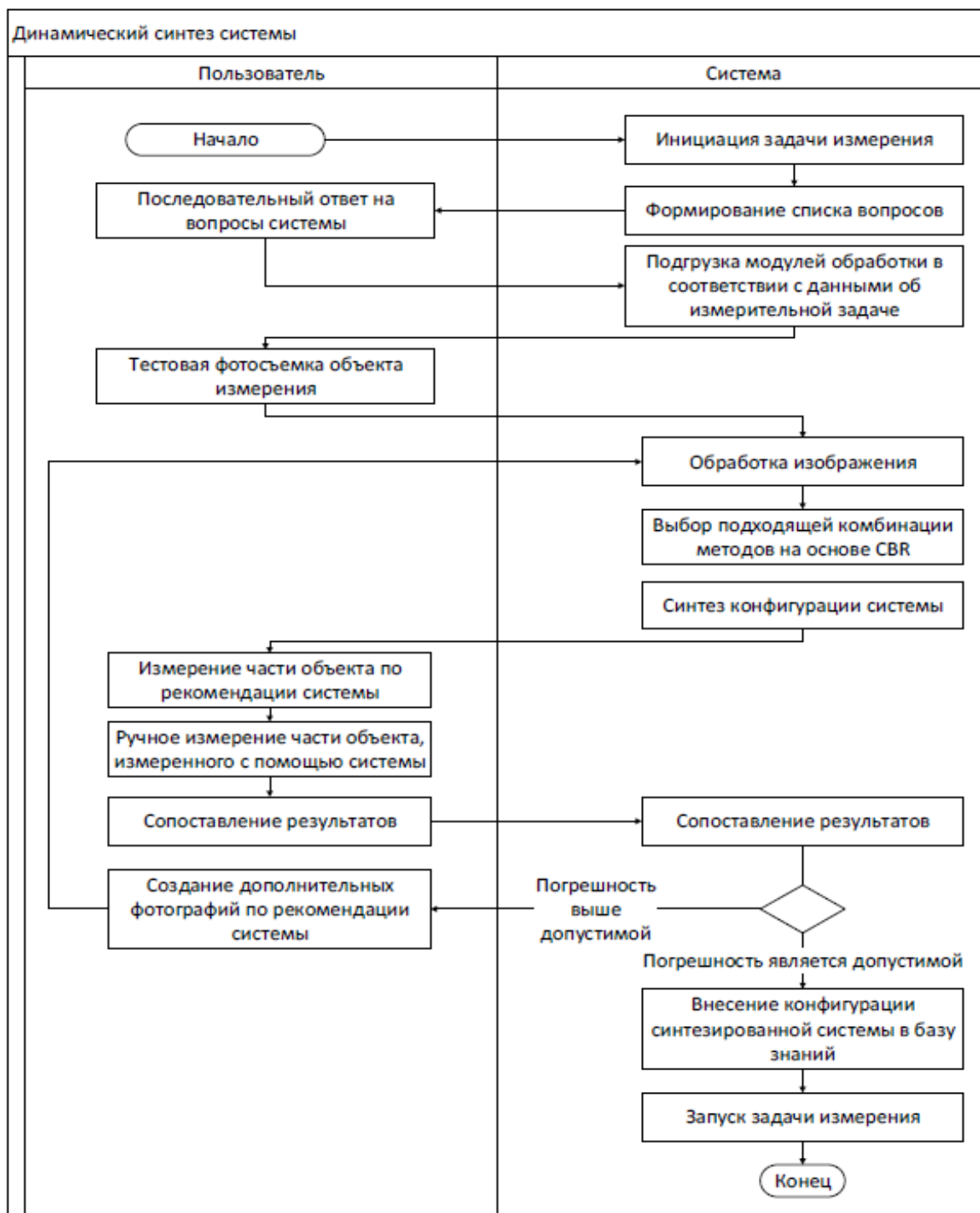


Рис. 1. Алгоритм формирования фотограмметрической системы по первичным входным данным

Отличием от существующих алгоритмов является то, что данный алгоритм базируется на том, что пользователь выступает лишь в обратной связи. Данная особенность дает возможность не соприкасаться с проблемой, которая заключается в квалификации персонала на объектах введения системы.

К преимуществам предложенного алгоритма относится момент, который заключается в том, что становится возможным пополнение базы знаний системы оптимальными комбинациями методов, которые определяются по достижению требуемого уровня погрешности, задаваемого в момент развертывания системы.

Выводы

Таким образом, рассмотренные специализированные алгоритмы метода обработки изображений для задач прикладной фотограмметрии, реализованные в соответствии с алгоритмом формирования фотограмметрической системы по первичным входным данным, позволяют адаптивно настроиться на широкий класс научных задач, связанных с обеспечением возможности выбора фотограмметрических методов и методов идентификации и обработки изображений, подходящих для решения конкретной измерительной задачи в конкретной ситуации прикладной фотограмметрии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *K. Ratna Babu And Dr.K.V.N.Sunitha*, “A New Approach To Enhance Images Of Mobile Phones With In-Built Digital Cameras Using Mean And Variance”, International Conference On Advances In Computer Engineering, 2013
2. *Ignatov, A., Kobyshev, N., Timofte, R., Vanhoey, K., & Van Gool, L.* (2018). WESPE: Weakly supervised photo enhancer for digital cameras. In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2018.00112>
3. *Masafumi Noda, Tomokazu Takahashi, Daisuke Deguchi, Ichiro Ide1, Hiroshi Murase, Yoshiko Kojima And Takashi Naito*; Road Image Update using InVehicle Camera Images And Aerial Image”, IEEE Intelligent Vehicles Symposium (Iv) Baden-Baden, Germany, June 5-9, 2011
4. *Mohamed Amine Bendoumi, Mingyi He, Shaohui Mei*, “Hyper Spectral Image Resolution Enhancement Using High-Resolution Multispectral ImageBased On Spectral Unmixing”, IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing 2011.
5. *Zhang C., Gao, J., Wang O., Georgel P., Yang R., Davis J., Pollefeys M.* (2014). Personal photograph enhancement using internet photo collections. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 20(2), 262–275.
6. *Самойлов А.Н.* Фотометрический метод формирования и обработки данных, торцов круглых лесоматериалов // Политематический сетевой

электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2007. № 26. С. 54-73.

7. *Samoylov A.* The method of constructing the structures of configurable automated system for measuring volume of roundwood// WIT Transactions on Information and Communication Technologies Сер. "Information and Communication Technology for Education" 2014. С. 277-284.
8. Eyal Carmia,T, Siuyan Liub, Noga Alona, Amos Fiata,T, Daniel Fiatc, "Resolution Enhancement In MRI", Magnetic Resonance Imaging, 2011, 133– 154
9. *Самойлов А.Н., Волошин А.В., Козловский А.В.* Алгоритмическое обеспечение системы интеллектуальной обработки цифровых изображений для задач прикладной фотограмметрии // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. - 2019. - №3(246). - С. 96-102.
10. *Самойлов А.Н., Сергеев Н.Е., Волошин А.В., Козловский А.В.* Метод фотограмметрического измерения геометрических параметров объектов, инвариантный к фоторегистрирующим устройствам // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. - 2021. - №4(291). - С. 58-69.

Козловский Александр Вячеславович, ассистент кафедры вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-56, email: kozlovskiy@sfedu.ru.

Kozlovskiy Alexander Vyacheslavovich, Assistant Professor of Department of Computer Engineering, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 1 Engels street, phone: +7 (8634) 37-16-56, email: kozlovskiy@sfedu.ru.

УДК 612.769

Муртазина Нэля Маратовна, Шпаковская Оксана Юрьевна,
Леонова Антонина Валерьевна

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГОТОВНОСТИ ВСАДНИКА И ЛОШАДИ К ИППОТЕРАПИИ

Доклад посвящен разработке устройства для исследования психофизиологического состояния всадника и оценки изменения положения тела всадника во время движения на лошади. Данное устройство позволит специалистам по иппотерапии оценивать индивидуальные особенности всадника и подобрать оптимальный уровень нагрузки в соответствии с психофизиологическим состоянием. С помощью аппаратно-программного комплекса тренер по иппотерапии сможет отслеживать сохранение правильного положения всадника на протяжении всего занятия, оценивать синхронность изменения кинетических параметров лошади и всадника во время движения. Аппаратно-программный комплекс позволит провести ряд исследований, направленных на оценку эффективности метода иппотерапии для людей с ограниченными возможностями здоровья и собрать научно-доказательную базу для подтверждения эффективности работы метода иппотерапии.

Murtazina Nel Maratovna, Shpakovskaya Oksana Yurievna,
Leonova Antonina Valerievna

DEVELOPMENT OF A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF RIDER AND HORSE READINESS FOR HIPPO THERAPY

The report is devoted to the development of a device for studying the psychophysiological state of a rider and assessing changes in the position of the rider's body while riding a horse. This device will allow hippotherapy specialists to evaluate the individual characteristics of the rider and choose the optimal level of load in accordance with the psychophysiological state. With the help of a hardware and software package, the hippotherapy trainer will be able to monitor the preservation of the correct position of the rider throughout the lesson, assess the synchronicity of changes in the kinetic parameters of the horse and rider during movement. . The hardware and software complex will allow conducting a number

of studies aimed at evaluating the effectiveness of the hippotherapy method for people with disabilities and collecting scientific evidence to confirm the effectiveness of the hippotherapy method.

Ежегодный рост численности детей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) формирует высокий социальный запрос на поиск методов реабилитации, дополняющих традиционное лечение. Одним из таких методов является иппотерапия. Иппотерапия – это нейрофизиологическое лечение с применением верховой езды. Иппотерапия становится неотъемлемой частью современных медицинских, психологических и педагогических технологий [1]. Метод иппотерапии создает уникальные условия для одновременного позитивного воздействия на физический статус и психоэмоциональную сферу пациента. Терапия с участием посредника – лошади приносит пользу пациентам с различными психиатрическими и психосоматическими расстройствами [2]. Однако, есть следующие проблемы, мешающие широкому применению иппотерапии в рамках комплексной реабилитации. Это отсутствие:

- объективной оценки процесса реабилитации с помощью иппотерапии и как следствие - недоверие к методу иппотерапии;
- нет возможности подбора индивидуальной нагрузки для всадника и объективной оценки функциональных возможностей и состояния лошади;
- тренировочный процесс и подбор лошади осуществляется без объективного способа учета состояния всадника и лошади;
- возникают риски травм и негативных состояний всадника.

Решением этого ряда проблем может стать разработка аппаратно-программного комплекса (АПК) для диагностики функционального состояния всадника и лошади и оценки паттернов движения всадника и лошади во время движения. Данный комплекс будет интересен и полезен конным и конно-спортивным клубам, реабилитационными центрами специалистам по иппотерапии и адаптивной верховой езде, тренерам по адаптивному конному спорту. На рис. 1 показан принцип работы АПК и пользовательский сценарий. С датчика 1 на микроконтроллер 4 поступают данные о функциональном состоянии и локомоциях всадника, с датчика 2 - данные о функциональном состоянии и локомоциях лошади, 3 - блок сбора статокINETических психофизиологических показателей, 4 – микроконтроллер, 5- смартфон тренера на который поступает вся полученная информация в процессе иппотерапии о лошади и всаднике.

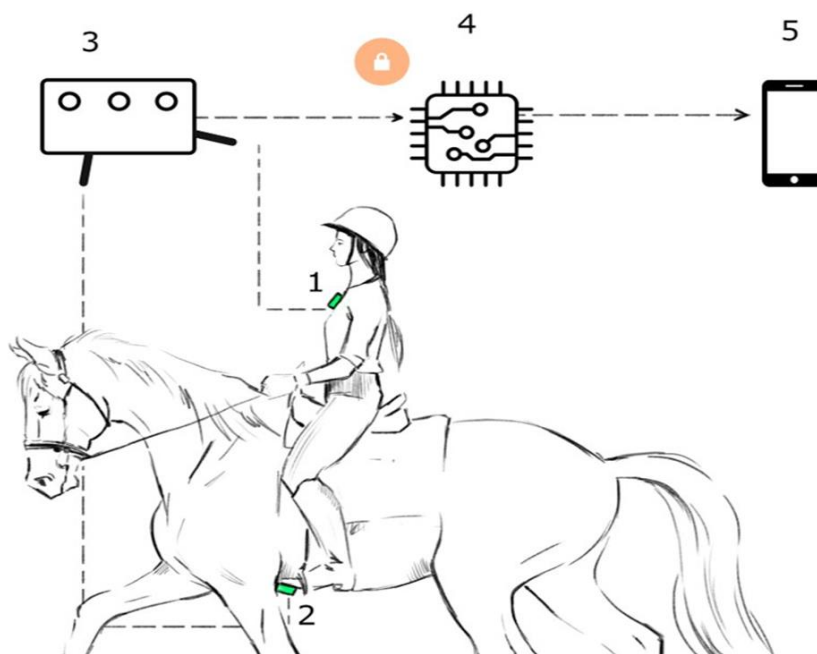


Рис. 1. Принцип работы АПК и пользовательский сценарий, где 1 - Датчик 1 (сбор данных о функциональном состоянии и локомоциях всадника), 2 - Датчик 2 (сбор данных о ФС и локомоциях лошади), 3 - Блок сбора статокинетических психофизиологических показателей, 4 – Микроконтроллер, 5- Смартфон тренера

Использование данного комплекса удобно и безопасно как для всадника, так и для лошади. Отсутствие контакта с кожными покровами упрощает процедуру сертификации прибора. Возможно применение в полевых условиях. Крепление на одежду позволит применять и для детей с девиантным поведением. Нами проведено проблемное интервью и опрос среди специалистов по иппотерапии. Большинство подтвердили необходимость в объективной комплексной оценки на протяжении всего занятия.

Исследование аналогов показало что существуют приборы и комплексы для оценки состояния человека, которые используются также для иппотерапии, однако все они не решают указанных выше проблем [3]. В то же время предлагаемый нами АПК обладает рядом дополнительных преимуществ по сравнению с указанными аналогами:

- Комплексность – прибор объединяет сразу несколько методик, необходимых для иппотерапии.
- Комфортный съем данных
- Возможность оценки необходимых параметров в движении, также за пределами манежа.

- Синхронизация и анализ данных о взаимном движении всадника и лошади
- Цена ниже, чем стоимость аналогов

В настоящее время, выбрали и применили методику для сбора статокинетических параметров, которую реализует АПК. Одним из показателей может стать оценка угловой скорости и углы отклонения всадника и лошади от исходного положения. Полученные данные помогут объективно оценивать результаты тренировки, ее эффективность. Для определения угла отклонения от определенной плоскости и расстояния смещения можно применить акселерометр и гироскоп. Исследована функция сбора и обработки статокинетических параметров, которая используется в составе АПК. Провели лабораторные испытания, которые показали, что необходимо провести дополнительную обработку сигнала и устранить помехи, подобрать методы обработки и провести ряд испытаний в лабораторных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Паначев В. Д.* Управляющее воздействие адаптивной физической культуры и спорта в социализации личности детей с ограниченными жизненными возможностями /В. Д. Паначев //Лечебная физическая культура. – 2004. – № 4. – С. 32 – 36.
2. *Шайдхакер М.* О лечении расстройств на почве страха с помощью психотерапевтической верховой езды /М. Шайдхакер, Д. Фридрих, В. Бендер // Адаптивная физическая культура. – 2003. – № 1. – С. 1819.
3. Материалы 8 Всероссийской научно-практической конференции: Методы реабилитации и реабилитации с помощью лошади в системе комплексной реабилитации // НФ ИАКС, Ростов-на-Дону, 2022

Леонова Антонина Валерьевна, к.т.н., доцент кафедры встраиваемых и радиоприемных систем Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, телефон +7(904)346-79-91, email: leonova@sfedu.ru.

Шпаковская Оксана Юрьевна, аспирант кафедры САУ, заведующая лабораторией кафедры встраиваемых и радиоприемных систем Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, телефон: +7 (961)2928515 , email: oshpakovskaya@sfedu.ru

Муртазина Нэля Маратовна, студентка группы РТбо 1-52 Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, телефон +7(950)253-22-18, email: nmurtazina@sfnedu.ru

Leonova Antonina Valeryevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Embedded and Radio Receiving Systems of the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, 1 Engels Street, Taganrog, Russia, phone +7(904)346-79-91, email: leonova@sfnedu.ru .

Shpakovskaya Oksana, PhD Student of the ACS Department, Head of the Laboratory of the Department of Embedded and Radio Receiving Systems of the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, 1 Engels Street, Taganrog, Russia, phone: +7 (961)2928515 , email: oshpakovskaya@sfnedu.ru

Murtazina Nel Maratovna, student of the RTbo group 1-52 of the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels Street 1, phone +7(950)253-22-18, email: nmurtazina@sfnedu.ru.

УДК 004.032.26

Калиберда Игорь Владимирович, Григориadis Георгис Михайлович

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Тепловизионные изображения имеют множество применений в различных областях, таких как медицина, военное дело, промышленность и экология. В данном докладе рассматривается применение нейросетевых технологий для анализа и распознавания образов на тепловизионных изображениях. С помощью разработанной программы, основанной на сверточной нейронной сети, обученной на наборе данных тепловизионных изображений, было продемонстрировано, как можно эффективно и точно анализировать и классифицировать тепловизионные изображения.

Нейросетевые технологии, сверточные нейронные сети, тепловизионные изображения, распознавание образов.

Kaliberda Igor Vladimirovich, Grigoriadis Georgis Mikhailovich

APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR ANALYSIS AND PATTERN RECOGNITION IN THERMAL IMAGES

Thermal imaging has many applications in various fields such as medicine, the military, industry, and the environment. This article discusses the use of neural network technologies for the analysis and recognition of patterns in thermal imaging images. Using the developed program based on a convolutional neural network trained on a set of thermal imaging data, it was demonstrated how thermal imaging images can be analyzed and classified efficiently and accurately.

Neural network technologies, convolutional neural networks, thermal imaging, pattern recognition.

Современное развитие технологий искусственного интеллекта и, в частности, нейросетевых технологий, открывает новые возможности для анализа и распознавания образов на изображениях разного спектра, включая тепловизионные. Это позволяет решать широкий круг задач, начиная от военных приложений и заканчивая медицинской диагностикой.

Тепловизионные изображения характеризуются тем, что они представляют информацию о температуре объектов на сцене. Эта информация может быть использована для множества задач, таких как обнаружение и идентификация объектов, мониторинг температуры и анализ тепловых характеристик сцены. Однако, из-за низкого разрешения и шума в данных, традиционные методы обработки изображений и распознавания образов могут быть неэффективными для анализа тепловизионных изображений. В связи с этим, нейросетевые технологии, способные обучаться и адаптироваться к шумам и изменениям в данных, представляются перспективными для решения задач анализа и распознавания образов на тепловизионных изображениях.

Тепловизионные системы позволяющие получать информацию об объектах, расположенных на значительном расстоянии, в условиях плохой видимости (туман, дым, темнота) и обнаруживать скрытые объекты, которые могут быть невидимы для глаза человека или камеры в видимом диапазоне.

Существуют разработки, которые применяют тепловизионные технологии. Одним из таких устройств является бесконтактная инфракрасная камера Hikvision DS-2TD2637B-10/P, предназначенная для определения температуры тела с функцией распознавания лиц [1]. Еще одним инструментом является тепловизор FLIR A500f/A700f, который используется для

мониторинга состояния внешних объектов и обнаружения возгораний [2]. Хотя оба устройства успешно справляются со своими задачами, их работа могла бы быть более эффективной при интеграции нейронных сетей.

В научной литературе существует ряд исследований, посвященных математическому моделированию процесса распознавания изображений [3–5]. Тем не менее, практическое применение этих теоретических разработок пока не было реализовано.

Существуют и другие технологии, занимающиеся распознаванием объектов на тепловизионных изображениях. Одним из таких примеров является автономный мобильный комплекс видео-тепловизионного наблюдения «Муром-П», разработанный компанией СтилСофт. Этот комплекс предназначен для круглосуточного дистанционного видеотепловизионного и радиолокационного наблюдения, контроля и охраны открытых участков местности, подступов, периметров и путей передвижения к объектам [10]. Муром-П специализируется на обнаружении двух типов объектов: «человек» и «автомобиль». Это, безусловно, важно, однако это также ограничивает способность комплекса обнаруживать другие объекты или животных, которые могут представлять угрозу. В целом, хотя и существуют уже готовые решения, такие как «Муром-П», применение СНС для анализа и распознавания образов на тепловизионных изображениях может предложить большие возможности для улучшения точности и гибкости систем распознавания образов.

Для решения распознавания образов предлагаемая математическая модель искусственных нейронных сетей (ИНС). Как известно ИНС состоят из нейронов, связанных друг с другом синаптическими связями. Веса этих связей изменяются в процессе обучения, что и позволяет сети адаптироваться к решению конкретной задачи [6].

Системы тепловизионного наблюдения выполняют задачу адаптации свойств объектов и процессов принятия решений. В начальной стадии вероятность распознавания изображения нарушителя очень низкая, но тепловизионные камеры способны отображать образы с определенной формой на экране монитора. Большое множество аномальных ситуаций (помимо постоянно меняющейся чувствительности и наличия преград или ограждений на охраняемом объекте) не способно быть упрощено до незначительного набора классифицируемых образов с простыми характеристиками неопределенности (масштаб, расположение, вращение). По этой причине не всегда возможно применение готовых методов теории распознавания образов в

разработке систем видеонаблюдения с использованием тепловизионных камер.

Для анализа и распознавания образов на тепловизионных изображениях наиболее подходящими являются сверточные нейронные сети (СНС). Эта сеть состоит из нескольких слоев. Каждый слой – это группа "искусственных нейронов" (программ, которые могут обрабатывать данные и извлекать из них информацию). Каждый слой принимает информацию от предыдущего слоя, обрабатывает ее и передает следующему слою [7].

С помощью СНС была разработана программа на языке Python. Для обучения нейросети была подготовлена обучающая выборка (рис. 1), состоящая из тепловизионных изображений и их разметки (меток классов объектов). В зависимости от задачи это могут быть изображения с тепловизионной сигнатурой человека (1500 шт.), животного (300 шт.), автомобиля (900 шт.). Важно учесть особенности тепловизионных изображений при подготовке данных, такие как разрешение, освещение и шум.



Рис. 1. Обучающая выборка, состоящая из изображений человека, автомобиля и собак

Обучение этой программы начинается с задания размера изображений, количества "проходов" обучения и количество изображений, обрабатываемых за один раз. После этого программа считывает изображения для обучения и проверки из указанных папок и преобразует их в поток данных определенного размера (рис. 2).

```

img_width, img_height = 150, 150
input_shape = (img_width, img_height, 3)
epochs = 50
batch_size = 16

datagen = ImageDataGenerator(rescale=1. / 255)

```

Рис. 2. Задание параметров обучения

В приведенном скриншоте: `epochs` – количество проходов по всему набору обучающих данных, `batch_size` – это количество обучающих образцов, обрабатываемых за одно обновление, `datagen` – этот генератор масштабирует цвета изображений, делая их значения от 0 до 1.

Затем создается модель нейронной сети, которая будет выявлять закономерности на изображениях при помощи слоев, применяющих различные преобразования. Первый слой принимает изображение и проводит первичный анализ, могут обнаруживаться простые особенности, такие как границы объектов или определенные цвета. Второй слой принимает эту информацию и обрабатывает ее дальше, выявляя более сложные особенности, такие как формы или текстуры. Третий слой продолжает этот процесс, выявляя более сложные особенности, которые могут быть использованы для классификации изображения [8]. После создания модели она настраивается для определения ошибок и коррекции в процессе обучения (рис. 3).

```

self.model = Sequential()
self.model.add(Conv2D(32, (3, 3), input_shape=input_shape, activation='relu'))
self.model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))
self.model.add(Conv2D(32, (3, 3), activation='relu'))
self.model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))
self.model.add(Conv2D(64, (3, 3), activation='relu'))
self.model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))
self.model.add(Flatten())
self.model.add(Dense(64, activation='relu'))
self.model.add(Dropout(0.5))
self.model.add(Dense(3, activation='softmax'))

self.model.compile(loss='categorical_crossentropy',
                    optimizer=Adam(),
                    metrics=['accuracy'])

history = self.model.fit(
    self.train_generator,
    steps_per_epoch=total_train // batch_size,
    epochs=epochs,
    validation_data=self.val_generator,
    validation_steps=total_val // batch_size
)

```

Рис. 3. Настройка и обучение сверточной нейронной сети

В последнем слое, выбирается изображение для анализа, после чего оно подготавливается и передается в модель, которая делает прогноз.

Результаты прогноза выводятся на экран в виде процентов для каждого класса, а также отображается проверяемое изображение (рис. 4).

```
Начало обучения, подождите...  
Катало обучения: C:/Users/grigo/OneDrive/Документы/My Games/data/data/обучение (1)  
Каталог проверки обучения: C:/Users/grigo/OneDrive/Документы/My Games/data/data/проверка обучения (2)  
Точность обучения: 91%  
Проверяемое изображение: C:/Users/grigo/OneDrive/Документы/My Games/data/data/проверка (3)/9.jpg  
Результат распознавания: машина: 0.00%, собака: 100.00%, человек: 0.00%
```

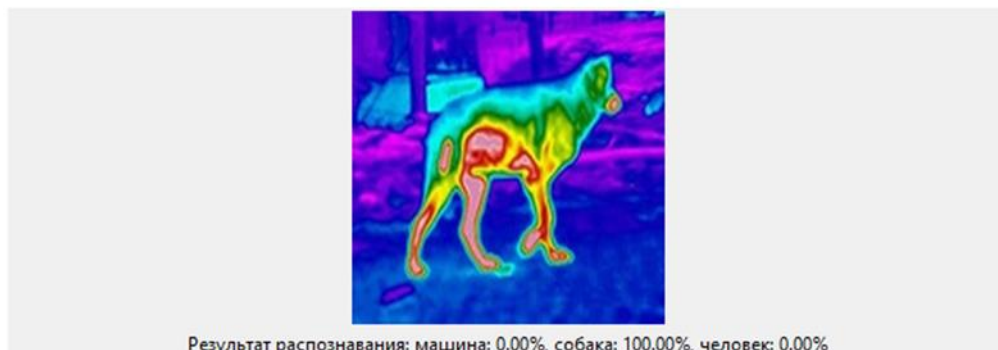


Рис. 4. Программная реализация распознавания тепловизионного образа с помощью СНС

В процессе предсказания загружается изображение и преобразуется в массив. Затем предсказание выполняется с помощью обученной модели. Результат представляется в виде вероятностей принадлежности к каждому из возможных классов.

При распознавании объекта на экране монитора, нейросеть проводит сравнение с базой данных, состоящей из определенного количества изображений. Во время работы, нейросеть способна обучаться и адаптироваться. Средняя точность распознавания объектов достигает 91%. Однако стоит отметить, что с увеличением разрешения изображения, время обучения нейросети возрастает пропорционально количеству пикселей [9].

Используя СНС, была успешно разработана программа, которая может анализировать и распознавать образы на тепловизионных изображениях. Это открывает новые возможности для применения нейросетевых технологий в области анализа тепловизионных изображений.

При этом важным направлением развития является применение компьютерного зрения в связке с нейронными сетями, что обещает значительное расширение возможностей в анализе тепловизионных изображений. Это совокупное применение подходов позволит выявлять и классифицировать не только простые формы, но и более сложные объекты и сцены. Этот подход

обещает значительно улучшить точность и эффективность систем обнаружения и идентификации на основе тепловизионных изображений.

Таким образом, применение сверточных нейронных сетей и компьютерного зрения на данный момент представляет собой наиболее перспективное направление для анализа и распознавания образов на тепловизионных изображениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распознавание тест-объектов на тепловизионных изображениях. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspoznavanie-test-obektov-na-teplovizionnyh-izobrazheniyah> (дата обращения 17.05.2023)
2. Пожарные тепловизоры. Тепловизоры FLIR A500f/A700f. [Электронный ресурс] URL: https://www.pergam.ru/catalog/thermal_imagers/firefighters/flir-a500fa700f.htm / (дата обращения 20.05.2023)
3. Математические методы распознавания образов. [Электронный ресурс] URL: <http://www.ccas.ru/frc/papers/mestetskii04course.pdf> (дата обращения 19.05.2023)
4. Математическое моделирование и алгоритмы распознавания целей на изображениях, формируемых прицельными системами летательного аппарата. [Электронный ресурс] URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=40856&referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F> (дата обращения 20.05.2023)
5. Теория и алгоритмы распознавания образов. [Электронный ресурс] URL: <https://miiigaik.ru/vtiaoai/tutorials/19.pdf> (дата обращения 21.05.2023)
6. Воронов А. А. Применение нейронных сетей для обработки и анализа тепловизионных изображений / А. А. Воронов, Е. В. Ларионова // Информационные технологии и нанотехнологии. - 2018. - № 3. - С. 59-65.
7. Гудфеллоу Я., Бенджио Ю., Курвиль А. Глубокое обучение. – М.: ДМК Пресс, 2017. – С. 384-425.
8. Чоллет Ф. Глубокое обучение на Python. – М.: Вильямс, 2018. – С. 120-157.
9. Попов Д. В. Нейросетевые технологии для анализа и классификации тепловизионных изображений / Д. В. Попов, В. С. Волков // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2017. - № 9. - С. 34-41.
10. СтилСофт. Автономный мобильный комплекс видео-тепловизионного наблюдения «Муром-П» [Электронный ресурс]. URL: <https://synerget.ru/products/murom-p> (дата обращения: 21.05.2023).

Калиберда Игорь Владимирович, старший преподаватель, Пятигорский институт (филиал) СКФУ, Россия, город Пятигорск, пр. 40 лет Октября, д. 56, 357500, телефон: +7 (9283) 63-22-14, email: kaliberda.igor@ya.ru.

Григориadis Георгис Михайлович, студент, Пятигорский институт (филиал) СКФУ, Россия, город Пятигорск, улица Разина 1, 357502, телефон: +7 (9288) 27-30-25, email: georgisgrigoriadis@yandex.ru.

Kaliberda Igor Vladimirovich, Senior Lecturer, Pyatigorsk Institute (branch) of NCFU, Russia, Pyatigorsk, 40 let Oktyabrya ave., 56, 357500, phone: +7 (9283) 63-22-14, email: kaliberda.igor@ya.ru.

Grigoriadis Georgis Mikhailovich, student, Pyatigorsk Institute (branch) of NCFU, Russia, Pyatigorsk city, Razina street 1, 357502, phone: +7 (9288) 27-30-25, email: georgisgrigoriadis@yandex.ru.

УДК 629.3.066.3

Клевцов Сергей Иванович

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Для предупреждения и предотвращения нештатных ситуаций разработана модель отслеживания изменения состояния технического объекта в реальном времени. Для решения этой задачи часто достаточно проведение анализа поведения одного, наиболее важного и значимого параметра, без учета остальных параметров, влияющих на его состояние. В связи с тем, что отслеживание изменения состояния должно осуществляться в реальном времени микроконтроллером микропроцессорного модуля и, желательно, в фоновом режиме, к алгоритму и модели предъявлены требования по простоте вычисления и адаптации к особенностям микропроцессорной обработки данных.

Технический объект, состояние, параметр, реальное время.

Klevtsov Sergei Ivanovich

MODEL FOR EVALUATION OF TECHNICAL PARAMETER CHANGE IN REAL TIME

To avoid and prevent abnormal situations developed a model tracking state changes of a technical object in real time. To solve this problem often enough to analyze the behavior of one the most important and relevant parameters, without regard to the other parameters that affect its state. Due to the fact that the tracking state change

should take place in real-time microprocessor microcontroller unit, and preferably in the background pattern and the algorithm sets requirements on the ease of computation, and adaptation to characteristics of microprocessor data processing.

Technical object, state, parameter, real time

Введение.

Задача отслеживания изменения состояния технического объекта может быть реализована на основе анализа поведения одного, наиболее важного и значимого параметра для технического объекта, без учета остальных параметров, влияющих на его состояние [1, 2]. В связи с тем, что отслеживание изменения состояния должно осуществляться в реальном времени микроконтроллером микропроцессорного модуля и, желательно, в фоновом режиме, к алгоритму и модели должны быть предъявлены требования по простоте вычисления и адаптации к особенностям микропроцессорной обработки данных [2,3].

Для решения задачи отслеживания изменения состояния предлагается использовать модель, построенную на базе нейронной сети Хэмминга [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Известно, что нейронная сеть Хэмминга реализует простой алгоритм работы, простой алгоритм обучения. Ее емкость не зависит от размерности сигнала на входе. На вход сети подаются бинарные входные сигналы, что может быть эффективно использовано при реализации алгоритма в микроконтроллере. Рассмотрим реализацию модели отслеживания изменения состояния объекта на основе сети Хэмминга для случая одного параметра.

Разработка модели отслеживания изменения параметра

Пусть A - контролируемый дискриминирующий параметр. После АЦП-преобразования значение параметра хранится в двоичной форме $a = [a_{p-1} \dots a_i \dots a_1 a_0]$, где i – номер позиции числа a_i , $a_i = 1$ или 0. Введем ме-

дианные значения [4] для параметра A в виде вектора $\left\{ \begin{matrix} - \\ a_k \end{matrix} \right\}_{k=1}$.

Принадлежность текущего значения a медианному значению \bar{a}_i определяется с помощью вычисления расстояния Хэмминга.

Для задачи отслеживания изменения состояния технического объекта на основе изменения значения одного параметра установление весов одинаковыми для всех значений входного вектора, как реализуется в классической версии нейронной сети Хэмминга, может привести к существенной погрешности. В связи с этим обычно реализуемая для задач классификации

сеть Хэмминга не подходит для отслеживания изменения состояния объекта. Необходимо модификация сети в части структуры и определения весовых коэффициентов слоев сети. В случае сравнения чисел каждая позиция в его цифровом представлении имеет свое значение. Значимость каждой позиции в цифровом представлении можно также определить двоичным числом.

Пусть имеется число: $a = [a_{p-1}a_{p-2}...a_1a_0]$, где $a_0, a_1, ..., a_{p-1}$ - имеют значения 0 или 1, однако значимость a_i и a_j в этом представлении различная.

Определим значимость позиции a_i ее весом в представлении числа, т.е. 2^i .

Сформируем для числа a его представление x в виде двоичного вектора.

$$X_a = (x_1, x_2, x_3, ..., x_i, ..., x_p), \quad (1)$$

где каждый из элементов также является двоичным вектором.

$$x_1 = (g_{11})$$

$$x_2 = (g_{21}, g_{22})$$

$$x_3 = (g_{31}, g_{32}, g_{33}, g_{34})$$

$$.....$$

(2)

$$x_i = (g_{i1}, g_{i2}, ..., g_{iL_i})$$

$$.....$$

$$x_p = (g_{p1}, g_{p2}, ..., g_{pL_p}).$$

Тогда вектору X_a согласно (1) и (2) соответствует представление матрицы преобразования G_a :

$$G_a = \begin{pmatrix} g_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ g_{21} & g_{22} & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{i1} & g_{i2} & g_{i3} & \dots & g_{ii} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{p1} & g_{p2} & g_{p3} & \dots & g_{pi} & \dots & g_{pLp} \end{pmatrix}$$

где для любого i

$$g_{ik} = \begin{cases} 1, \text{ если } a_{i-1} = 1 \\ -1, \text{ если } a_{i-1} = 0 \end{cases}$$

В этом случае вектор X преобразуется в следующий вид:

$$X_a = (g_{11}, g_{21}, g_{22}, g_{31}, g_{32}, g_{33}, \dots, g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{ii}, \dots, g_{p1}, g_{p2}, \dots, g_{pp}).$$

Пусть имеется эталонный вектор

$$X_{a_k}^- = (g_{k11}, g_{k21}, g_{k22}, \dots, g_{ki1}, g_{ki2}, \dots, g_{kii}, \dots, g_{kp1}, g_{kp2}, \dots, g_{kpp})$$

Тогда скалярное произведение двух векторов:

$$X_a X_{a_k}^- = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^i g_{ij} g_{kij} = c_k - d_k,$$

где c_k - число одинаковых компонент векторов X_a и $X_{a_k}^-$, d_k - число отличающихся компонент векторов X_a и $X_{a_k}^-$.

Учитывая, что число a имеет четное число разрядов, например, 8, 10, 12, 16 и т.д., то общее количество компонент вектора X_a или $X_{a_k}^-$ равно:

$$r_k = c_k + d_k = 2^p - 1 = r$$

$$X_a X_{a_k}^- = 2c_k - r.$$

Отсюда

$$a_k = \frac{r}{2} + X_a X_{a_k}^- / 2 = \frac{(2^p - 1)}{2} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^i g_{ij} g_{kij} \quad (3)$$

Известно, что расстоянием Хэмминга между двумя векторами называется число компонент, в которых эти вектора различны. С другой стороны, если рассматривать расстояние Хэмминга, как меру сходства двух векторов, то оно может быть определено как количество совпадающих компонент, т.е. как значение a_k .

Выражение (3), его правую часть можно представить в виде:

$$c_k = \frac{(2^p - 1)}{2} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^p z_{ki},$$

$$z_{ki} = \sum_{j=1}^i g_{ij} g_{kij}$$

Введем единичный вектор e_i размерности p .

$$e_i = (1, 1, \dots, 1).$$

Тогда

$$c_k = \frac{(2^p - 1)}{2} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^p z_{ki} \cdot e_i$$

Последнее выражение можно трактовать как нейронную сеть по структуре аналогичную сети Хэмминга [5, 6, 8], но в отличие от стандартного представления сети Хэмминга, выражение можно рассматривать как входной сигнал нейрона, имеющего p синапсов с весовыми коэффициентами $\frac{e_i}{2} = \frac{1}{2}$

для всех i и смещением $\frac{(2^p - 1)}{2}$.

Выводы

Для решения задачи отслеживания изменения состояния использована модель, построенная на базе нейронной сети Хэмминга. Полученная модифицированная нейронная сеть Хэмминга реализует простой алгоритм работы, простой алгоритм обучения. Ее емкость не зависит от размерности сигнала на входе. Полученная модифицированная модель нейронной сети и алгоритм отслеживания изменения состояния объекта функционирует на основе анализа последовательных значений контролируемого параметра. На

вход сети подаются бинарные входные сигналы, что может быть эффективно использовано при реализации алгоритма в микроконтроллере. Модель позволяет осуществлять процесс отслеживания изменения состояния технического объекта с помощью простого алгоритма, который может выполняться в микропроцессорной системе в реальном времени в фоновом режиме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Клевцов С.И.* Прогнозирование изменений физической величины в реальном времени с использованием линейного адаптивного фильтра. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. Т.142. № 5. – С.180-185.
2. *Клевцов С.И.* Моделирование алгоритма краткосрочного прогнозирования изменения быстроизменяющейся физической величины в реальном времени. //Инженерный вестник Дона. 2012. № 3(21). – С.199-205.
3. *Клевцов С.И.* Предварительная оценка состояния совокупности параметров технического объекта с использованием интеллектуального микропроцессорного модуля. // Известия ЮФУ. Технические науки. 20110. Т.106. № 5. – С.43-48.
4. *Lipman R.* An introduction to computing with neural nets // IEEE Acoustic, Speech and Signal Processing Magazine, 1987, no 2, Pp. 4-22.
5. *Головкин В.А.* Нейронные сети: обучение, организация и применение. Книга 4.– М.: ИПРЖР, 2001- 256с.
6. *Назаров А.В., Лоскутов А.И.* Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – СПб.: Наука и техника. 2003. - 384с.
7. *Круглов В.В. Борисов В.В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382с.
8. *Wei Lu, Zhijian Li, Bingxue Shi.* A modified Hamming neural network// Solid-State and Integrated Circuit Technology, 1995 4th International Conference. IEEE. Beijing. 1995. – Pp. 694 – 696
9. *Gupta, A.K., Singh, Y.P.* Analysis of Hamming Network and MAXNET of Neural Network Method in the String Recognition// Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2011 International Conference. Katra, Jammu. 2011. IEEE. – Pp. 38-42

Клевцов Сергей Иванович, Южный федеральный университет, доцент, кандидат технических наук, E-mail: siklevcov@sfedu.ru, 347928, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, Тел. +7(8634) 680890 доп. 30107

Klevtsov Sergey Ivanovich, Southern Federal University, the senior lecturer, a Cand.Tech.Sci., E-mail: siklevcov@sfedu.ru, Nekrasovsky, 44, Taganrog , 347928, Russia, Phone: +7(8634) 680890 add. 30107

УДК 004.42

Пьявченко Алексей Олегович, Лищенко Егор Владимирович

МЕТОД KNN И ВОПРОСЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

В статье рассмотрены метод k -ближайших соседей и вопросы его применения при решении задачи пространственного позиционирования подвижного объекта в условиях частичного или полного отсутствия данных о географических координатах от систем глобального позиционирования. Приведены результаты сравнительного анализа детекторов ключевых точек и метрик их сопоставления, а также результаты работы реализованного на программном уровне интеллектуального модуля позиционирования подвижного объекта с использованием детектора ASIFT и метода k -ближайших соседей.

KNN, подвижный объект, позиционирование, карта местности, система технического зрения, координаты, ключевые точки.

Ryavchenko Alexey Olegovich, Lischenko Egor Vladimirovich

THE KNN METHOD AND ITS APPLICATION IN SOLVING THE PROBLEM OF SPATIAL POSITIONING OF A MOVING OBJECT

The article discusses the method of k -nearest neighbors and the issues of its application in solving the problem of spatial positioning of a moving object in the conditions of partial or complete absence of data on geographical coordinates from global positioning systems. The results of a comparative analysis of key point detectors and metrics for their comparison, as well as the results of the work of an intelligent module for positioning a moving object implemented at the software level using the ASIFT detector and the k -nearest neighbors method, are presented.

KNN, moving object, positioning, terrain map, technical vision system, coordinates, key points.

Введение

В последние годы автономные подвижные объекты (ПО) находят все более разнообразное применение практически во всех сферах жизни человека. Они решают разнообразные задачи наблюдения, разведки, мониторинга и т.д. При этом эффективность выполнения заданий ПО во многом зависит от того, насколько точно и эффективно работает его бортовая навигационная система [1]. При позиционировании ПО на местности используются интегрированные бортовые навигационные системы, работающие на принципах инерциальной навигации с привязкой к данным, поступающим от спутниковых систем глобального позиционирования (ССГП). При этом точное определение каких-либо координат движущегося объекта при помощи такого подхода в условиях наличия радиопомех высокой интенсивности может быть значительно затруднено или вовсе невозможно [5-7]. Именно поэтому в последнее время, в условиях повышения уровня автономности в управлении ПО, все более широко используются интеллектуальные системы позиционирования (ИСП). Принцип работы большинства из таких ИСП заключается в определении координат подвижного объекта путем кадровой обработки его бортовым вычислителем цифрового видеопотока, поступающего от системы технического зрения (СТЗ), установленной на ПО.

В данной статье речь пойдет об одном из интеллектуальных методов классификации объектов – методе *k*-ближайших соседей (KNN) через призму его применения при решении задачи пространственного позиционирования подвижного объекта.

Основная часть

В нашем случае обобщенный алгоритм работы ИСП можно представить в виде шести этапов:

1. Получение предположительных координат ПО от бортовой инерциальной навигационной системы (БИНС) или другим способом (например, посредством расчета экстраполяционными численными методами значений последних достоверных измерений);
2. Получение от бортовых оптических датчиков кадров видеоизображения окружающей наземной обстановки;

3. Предобработка кадров видеопотока в темпе их поступления с целью снижения зашумленности получаемых изображений и выделения на них характеристических (ключевых) точек;

4. Поиск соответствия ключевых точек (КТ) текущего кадра изображения ключевым (реперным) точкам предобработанной электронографической карты местности, заблаговременно загруженной в память бортового вычислителя ПО;

5. Определение значений координат пространственного позиционирования ПО в декартовой системе координат (ДСК);

6. Преобразование полученных на предыдущем этапе значений декартовых координат ПО в значения широты и долготы глобальной системы координат.

Напомним, что под ключевыми точками на изображении понимаются такие особые места, как углы, края или текстурные области образов объектов, зафиксированных в кадре. КТ имеют уникальные характеристики, значения которых описываются дескрипторами, позволяющими идентифицировать эти точки на разных изображениях [8-9]. Следовательно, каждый кадр изображения характеризуется набором КТ, которые в свою очередь формируют вектор признаков. С учетом наличия множества последовательно поступающих на обработку видеокадров все обнаруживаемые КТ формируют многомерное векторизованное пространство признаков.

Очевидно, что эффективность работы такой ИСП во многом зависит от того, с каким разрешением ведется видеосъемка местности, какую детализацию содержат получаемые видеокадры (чем больше деталей в кадре, тем больше ключевых признаков можно выявить), какой метод используется для определения КТ, их положения в соседних кадрах и принадлежности тем, или иным объектам (классам объектов), ну и от того, насколько эффективен используемый алгоритм сопоставления найденных КТ с «эталонными», предварительно загруженными в память бортового вычислителя.

В основу метода К ближайших соседей (KNN) положена идея в том, что объекты, которые находятся ближе друг к другу в пространстве признаков, скорее всего принадлежат к одному и тому же классу или имеют похожие значения целевой переменной. Алгоритм реализации метода KNN включает следующие шаги (применительно к задаче классификации):

Шаг 1. Задать количество К ближайших соседей, которые будут использоваться для определения класса нового объекта.

Шаг 2. Вычислить расстояние между новым объектом и каждым объектом в обучающей выборке.

Шаг 3. Отобрать K объектов из обучающей выборки, которые находятся ближе всего к новому объекту.

Шаг 4. Определить класс нового объекта на основе классов K ближайших соседей. Если большинство из них относится к одному классу, то новый объект будет отнесен к этому классу. Если же количество объектов разных классов одинаково, то класс будет выбран случайным образом.

Примечание. Для задачи регрессии вместо классов берутся значения целевой переменной у K ближайших соседей, и новый объект получает значение, равное среднему значению целевой переменной у этих объектов.

Алгоритм KNN имеет несколько параметров, которые могут влиять на его точность и производительность, такие как количество рассматриваемых ближайших соседей и метрики расстояния между ними. Для сопоставления изображений посредством этого алгоритма необходимо создать пространство признаков изображений путем выделения ключевых точек и формирования их дескрипторов. Причем для эффективной работы алгоритма KNN в задачах пространственного позиционирования необходимо обеспечить устойчивость метода к таким аффинным искажениям входных кадров, как масштабирование, повороты и сдвиги. С этой целью на этапе выделения пространств признаков входных и эталонных изображений применяются аффинно-инвариантные детекторы ключевых точек [10, 11]. Среди наиболее распространенных аффинно-инвариантных детекторов ключевых точек следует выделить:

- Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) – алгоритм, использующий гауссовские размытия и гауссовы многомасштабные разности для обнаружения и описания ключевых точек с инвариантностью к масштабу.

- Affine-Scale Invariant Feature Transform (ASIFT) – алгоритм, способный обрабатывать изображения с большими изменениями масштаба и аффинными искажениями путем коррекции изображения в разных масштабах и ориентациях.

- Accelerated-KAZE (AKAZE) – ускоренная версия алгоритма KAZE, который использует сравнение градиентов в разных масштабах и ориентациях для обнаружения и описания ключевых точек.

- Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB) – алгоритм, использующий детектор FAST для обнаружения ключевых точек и дескриптор BRIEF для их описания.

Был проведен сравнительный анализ результативности вышеперечисленных методов при обработке каждым из них тестовой выборки из шести спутниковых снимков (рис. 1). Изображения в выборке имели разрешение 1234x731 пикселей.



Рис. 1. Тестовая выборка фотографий

Основными параметрами, рассмотренными при сравнительном анализе, были скорость выполнения алгоритмов и количество ключевых точек, выделяемых каждым из них на изображении большого разрешения. Результаты сравнительного анализа представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Количество выделяемых КТ

Алгоритм	Экс. 1	Экс. 2	Экс. 3	Экс. 4	Экс. 5	Экс. 6
<i>SIFT</i>	11876	9431	9600	8616	9320	10354
<i>ASIFT</i>	152011	115394	118734	128333	118457	123440
<i>ORB</i>	43346	32348	33703	31970	35764	40581
<i>AKAZE</i>	6319	5457	4878	5695	6039	6127

Таблица 2

Время работы алгоритмов

Алгоритм	Экс. 1	Экс. 2	Экс. 3	Экс. 4	Экс. 5	Экс. 6
<i>SIFT</i>	216 мс	220 мс	212 мс	229 мс	197 мс	200 мс
<i>ASIFT</i>	3650 мс	3250 мс	3429 мс	3591 мс	2997 мс	3168 мс
<i>ORB</i>	50 мс	41 мс	42.5 мс	39.46 мс	40.3 мс	39.85 мс
<i>AKAZE</i>	150 мс	140 мс	133 мс	138 мс	123 мс	125 мс

Из полученных результатов можно сделать вывод, что алгоритм ASIFT по сравнению с альтернативными выделяет большее количество КТ, что способствует более точной идентификации объектов на изображении. Кроме того, ASIFT обладает высокой инвариантностью к аффинным преобразованиям. Это означает, что алгоритм способен обнаруживать на различных изображениях одни и те же объекты, заснятые под разным ракурсом, наклоном и на различном удалении от точки съемки. При этом следует учитывать, что по сравнению с другими алгоритм ASIFT требует существенно больше времени для определения КТ на изображении [10].

При решении задач сопоставления пространства признаков изображений с использованием алгоритма k-ближайших соседей, возможно применение различных метрик для их сопоставления. В нашем случае были рассмотрены три метрики:

- евклидово расстояние вычисляется как длина прямой линии, соединяющей две точки в n-мерном пространстве;
- манхэттенское расстояние представляет собой сумму абсолютных разностей между соответствующими координатами двух точек;
- косинусное расстояние измеряет угол между двумя векторами и используется для определения сходства между ними.

Был проведен сравнительный анализ эффективности алгоритма KNN при обработке векторизованного пространства признаков с использованием указанных метрик (табл. 3).

Таблица 3

Сравнительная характеристика точности сопоставления КТ

Расстояние	Эксперимент 1	Эксперимент 2	Эксперимент 3
Евклидово	$2,137 \cdot 10^{-5}$	$2,4586 \cdot 10^{-5}$	$2,3312 \cdot 10^{-5}$
Манхэттенское	$2,8591 \cdot 10^{-5}$	$2,994 \cdot 10^{-5}$	$2,753 \cdot 10^{-5}$
Косинусной	$2,7335 \cdot 10^{-5}$	$2,9274 \cdot 10^{-5}$	$2,823 \cdot 10^{-5}$

Как видно из табл. 3, наиболее подходящей метрикой для решения задач позиционирования подвижного объекта по кадрам цифрового видеопотока с применением алгоритма KNN является евклидово расстояние. Данная метрика продемонстрировала наименьшее среднее относительное отклонение положения вновь сформированной КТ от ее истинного положения на эталонном изображении.

Обобщая все вышесказанное можно предложить следующую последовательность действий системы пространственного позиционирования подвижного объекта:

- 1) получение предположительных координат от БИНС (или аналогичной);
- 2) поиск и подкачка из базы данных фрагмента карты местности предположительного нахождения ПО;
- 3) получение векторизованного пространства признаков фрагмента карты местности предположительного нахождения ПО;
- 4) предобработка кадра видеопотока от ПО;
- 5) выделение КТ на кадре и построение их дескрипторов при помощи метода ASIFT;
- 6) сопоставление с применением алгоритма KNN пространств признаков входного изображения и полученного «эталонного» фрагмента местности;
- 7) вычисление координат ПО в ДСК;
- 8) преобразование полученных координат из ДСК в глобальную систему координат EPSG:3785.

Предложенная выше алгоритмическая последовательность была реализована в виде демонстрационного программного модуля – интеллектуального модуля позиционирования подвижного объекта (ИМПО). Результаты работы ИМПО представлены на рис. 2.

Выводы

В ходе исследования был проанализирован метод KNN и выявлены основные проблемы, связанные с реализацией бортовых систем позиционирования, базирующихся на интеллектуальной обработке видеопотока в реальном масштабе времени. С целью улучшения качества работы метода был проведен сравнительный анализ детекторов ключевых точек и метрик их сопоставления, что позволило выбрать в качестве базовых детектор ASIFT и евклидову метрику.

На основе проведенных исследований был предложен и программно реализован алгоритм работы ИСП ПО с применением алгоритма KNN. Проверка работоспособности разработанного на языке Python программного модуля ИСП осуществлялась средствами имитационного моделирования. В ходе проведенных экспериментов погрешность определения координат подвижного объекта по тестовой выборке кадров изображений местности составила не более 10 метров по каждой из географических координат, что

является приемлемым значением в условиях отсутствия уточняющих данных от БИНС.



Рис. 2. Результаты работы ИМПО

В дальнейшем планируется провести тестирование реализованной системы в ROS HUMBLE, Gazebo и PX4 в условиях, приближенных к реальным. Также будут рассмотрены способы повышения точности и скорости выполнения алгоритма за счет интеграции методов KNN и CNN, поиска при этом эффективных архитектурных системотехнических решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Макаренко С. И.* Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 3. Радиоэлектронное подавление систем навигации и радиосвязи // Системы управления, связи и безопасности. – 2020. – № 2. – С. 101-175. – ISSN 2410-9916.
2. *Глаголев В.М., Ладонкин А.В.* Оптическая система навигации летательных аппаратов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opticheskaya-sistema-navigatsii-letatelnyh-apparatov> (дата обращения: 8.06.2023).
3. *Анучин О.Н., Емельянец Г.И., Серегин В.В., Ющенко В.И.* Системы и алгоритмы управления, навигации и обработки данных обеспечение точности курсоуказания для подвижных объектов в интегрированных системах навигации ИНС/СНС // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2003. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-i-algoritmy-upravleniya-navigatsii-i-obrabotki-dannyh-obespechenie-tochnosti-kursoukazaniya-dlya-podvizhnyh-obektov-v> (дата обращения: 10.06.2023).
4. *Мустаев А.Ф.* Инерциальные навигационные системы // Вестник науки. 2019. №8 (17). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/inertsialnye-navigatsionnye-sistemy> (дата обращения: 10.06.2023).
5. *Ковель М.В., Фурманова Е.А., Тюпкин М.В.* Глобальная навигационная спутниковая система (GNSS) // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2010. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnaya-navigatsionnaya-sputnikovaya-sistema-gnss> (дата обращения: 10.06.2023).
6. *Кравцов С.В.* Сглаживание координатных измерений бортовой системы цифрового стереозрения автономного мобильного робота, действующего на неизвестной сцене // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. №8 (169). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sglazhivanie-koordinatnyh-izmereniy-bortovoy-sistemy-tsifrovogo-stereozreniya-avtonomnogo-mobilnogo-robota-deystvuyuschego-na> (дата обращения: 12.06.2023).
7. *Якимов П.Ю.* Предварительная обработка цифровых изображений в системах локализации и распознавания дорожных знаков // КО. 2013. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predvaritelnaya-obrabotka-tsifrovyyh-izobrazheniy-v-sistemah-lokalizatsii-i-raspoznavaniya-dorozhnyh-znakov> (дата обращения: 12.06.2023).
8. *Морев К.И., Боженьюк А.В.* Сопоставление изображений по особым точкам различных категорий // Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. №3 (213).

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sopostavlenie-izobrazheniy-po-osobym-tochkam-razlichnyh-kategoriy> (дата обращения: 13.06.2023).

9. *Корнеев М.А., Максимов А.Н., Максимов Н.А.* Методы выделения точек привязки для визуальной навигации беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2012. №58. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-vydeleniya-tochek-privyazki-dlya-vizualnoy-navigatsii-bespilotnyh-letatelnyh-apparatorov> (дата обращения: 15.06.2023).
10. *Guoshen Yu, and Jean-Michel Morel*, ASIFT: An Algorithm for Fully Affine Invariant Comparison // Image Processing On Line, 1 (2011), pp. 11–38. URL: <https://doi.org/10.5201/ipol.2011.myasift> (дата обращения: 15.06.2023).
11. *Трофимец А.А., Пьявченко А.О.* Анализ и выбор методов обнаружения ключевых точек на видеокадрах для реализации веб-системы стабилизации цифрового видеопотока // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2021). Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. В 2-х томах. – Ростов-на-Дону – Таганрог.: изд-во ЮФУ, 2021. – Т1. – С.: 149-157.

Лищенко Егор Владимирович, студент 3-го курса бакалавриата, кафедра вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, 347900, email: lishchenko@sfedu.ru.

Пьявченко Алексей Олегович, кандидат технических наук, доцент кафедры Вычислительной техники, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, 347900, email: aop61@mail.ru.

Lischenko Egor Vladimirovich, 3rd year Bachelor's student, Department of Computer Engineering, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Taganrog, Russia, Taganrog city, Rostov Region, email: lishchenko@sfedu.ru.

Pyavchenko Aleksey Olegovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 1 Engels Street, 347900, email: aop61@mail.ru.

Удод Евгений Васильевич

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ МЕТОДОМ ЛАГРАНЖА, ПРИ
ИСКЛЮЧЕНИИ НЕДОСТОВЕРНЫХ ЗНАЧЕНИЙ В СИСТЕМАХ
СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

В работе рассматриваются причины возникновения недостоверных данных в системах сбора и обработки данных и способы их выявления. Так же рассматривается возможность использование экстраполяции методом Лагранжа для минимизации влияния недостоверных значений в системах сбора и обработки данных. Полученные результаты показывают, что применение даже такого простого метода экстраполяции позволяет добиться приемлемого результата.

Техническая система, сбор данных, первичная цифровая обработка данных, экстраполяция.

Udod Evgeniy Vasilyevich

**APPLICATION OF EXTRAPOLATION BY THE LAGRANGE
METHOD, WITH THE EXCLUSION OF UNRELIABLE VALUES IN
DATA COLLECTION AND PROCESSING SYSTEMS**

The paper discusses the causes of inaccurate data in data collection and processing systems and ways to identify them. The possibility of using extrapolation by the Lagrange method to minimize the influence of unreliable values in data collection and processing systems is also being considered. The obtained results show that the use of even such a simple extrapolation method allows achieving an acceptable result.

Technical system, data collection, primary digital data processing, extrapolation.

В настоящее время широко применяются системы сбора и обработки данных в технических системах, задача которых состоит в сборе данных с различных датчиков, их аналоговой обработки, оцифровки и дальнейшей цифровой обработке для решения поставленных задач. При решении данной задачи возможно возникновение недостоверных значений, поступающих на цифровую обработку в микроконтроллер. Недостоверность измерительной информации, снимаемой с датчиков может быть вызвана либо наличием помех (помехи поступившие по цепям питания, мощные электрические наводки и т.д.), либо неисправностью аппаратуры самого датчика. Во всех

случаях, определить достоверность получаемой от датчика информации с абсолютной точностью вряд ли возможно, но тем не менее можно выделить ряд критериев, которые могут оказаться полезными при решении задачи [1 – 4].

В основе критериев, используемых для определения недостоверных значений может лежать то, что максимальная скорость изменения переменной на входе датчика имеет конечную величину и, модуль приращения кодов, полученных в результате двух последовательных аналого-цифровых преобразований величины давления, не может превысить некоторую конечную величину ∇ , зависящую как максимальной частоты спектра измеряемого сигнала, так и от интервала времени между сравниваемыми аналого-цифровыми преобразованиями. Следовательно, модуль максимально возможного значения величины изменения кодов, полученных в результате двух последовательных аналого-цифровых преобразований измеряемой величины, имеет значение [5]:

$$\nabla = (D_{\text{макс}} - D_{\text{мин}}) \sin(\pi f_{\text{макс}} \Delta t),$$

где $D_{\text{макс}}$ – максимально возможное значение кода после выполнения аналого-цифрового преобразования измеряемой величины; $D_{\text{мин}}$ – минимально возможное значение кода после выполнения аналого-цифрового преобразования измеряемой величины; $F_{\text{макс}}$ – верхняя граничная частота спектра измеряемого сигнала; Δt – величина интервала времени между двумя последовательными аналого-цифровыми преобразованиями измеряемой величины.

Окончательно, для оценки достоверности результатов аналого-цифрового преобразования давления внутри группы получим следующий критерий [5]:

$$|\bar{U}_i - \bar{U}_{i-1}| \leq \nabla,$$

где \bar{U}_i и \bar{U}_{i-1} – результаты текущего и предшествующего аналого-цифровых преобразований измеряемой переменной.

Например, при интервале между аналого-цифровыми преобразованиями $25 \cdot 10^{-6}$ с и диапазоном кодов АЦП от 100 до 4000, что соответствует 12 битному АЦП с некоторыми границами для выявления замыкания информационной линии на землю или питание: $\nabla = (4000 - 100) \cdot \sin(\pi \cdot 20 \cdot 25 \cdot 10^{-6}) = 6,2 \Rightarrow 6$. Т.е. все значения, которые отличаются от предыдущего больше чем на 6 кодов АЦП можно считать недостоверными.

В случае выявления недостоверного значения необходимо произвести его замену на предыдущее, и при дальнейшей обработке и передачи

информации необходимо это учитывать. Следует так же учитывать, что после такой замены значение ∇ необходимо удвоить или утроить в зависимости от количества недостоверных значений до этого.

Но у такой замены недостоверного значения есть один существенный недостаток – увеличение приведённой погрешности в местах замены недостоверных значений на 0,15%, что иногда может быть существенно. Для решения данной проблемы, можно использовать какой-либо метод вычисления экстраполированного значения.

При выборе метода экстраполяции следует выбирать наиболее простой метод, что бы не увеличивать время обработки информации, что может негативно сказаться на требованиях к производительности вычислительного устройства. При этом такой метод экстраполяции должен обеспечивать более низкую приведённую погрешность экстраполяции чем 0,15%.

Рассмотрим возможность применения для решения данной задачи экстраполяции на основе классического метода Лагранжа.

Формулы экстраполяции значений переменных первого типа основаны на полиноме Лагранжа, соседние узлы которого отстоят на k шагов h ($k>1$) [6, 7]:

$$L^{(r)}(k) = \sum_{j=0}^r (-1)^{r-j} \frac{\prod_{\gamma=0}^r (1+\gamma)}{j!(r-j)!(1+r-j)} f(i+(j-r)k),$$

После преобразований получим обобщенную формулу на kh шагов:

$$\left. \begin{aligned} f_{(i+k)}^* &= \sum_{j=0}^r C_j f_{(i+(j-r)k)}, \\ C_j &= (r+1)!(-1)^{r-j} \frac{1}{j!(r+1-j)!}, \end{aligned} \right\}$$

являющуюся модернизацией формулы экстраполяции на шаг h [6, 7].

Погрешность метода вычисления экстраполированного значения переменной $f_{1r(i+k)}^*$ определяется производной $f^{[r+1]}(\xi)$, выбором степени r и шага экстраполяции kh :

$$\mu_{1r(i+k)}^* = (kh)^{r+1} f^{[r+1]}(\xi), \quad \xi \in [t_{i-rk}, t_i]$$

Частные формулы первого типа линейной ($r=1$), квадратичной ($r=2$) и кубической ($r=3$) экстраполяции и их погрешности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Формулы первого типа экстраполяции значений переменных на k шагов

r	Формулы экстраполяции	Погрешности формул
1	$f_{11(i+k)}^* = 2f_i - f_{(i-k)}$	$\mu_{11(i+k)}^* = (kh)^2 f^{[2]}(\xi), \xi \in [x_{i-k}, x_i]$
2	$f_{12(i+k)}^* = 3(f_i - f_{(i-k)}) + f_{(i-2k)}$	$\mu_{12(i+k)}^* = (kh)^3 f^{[3]}(\xi), \xi \in [x_{i-2k}, x_i]$
3	$f_{13(i+k)}^* = 4f_i - 6f_{(i-k)} + 4f_{(i-2k)} - f_{(i-3k)}$	$\mu_{13(i+k)}^* = (kh)^4 f^{[4]}(\xi), \xi \in [x_{i-3k}, x_i]$

Формулы экстраполяции второго типа на k шагов h строятся на основе полинома Лагранжа, соседние узлы которого отстоят только на шаг h [6, 7]:

$$L^{(r)}(k) = \sum_{j=0}^r (-1)^{r-j} \frac{\prod_{\gamma=0}^r (k + \gamma)}{j!(r-j)!(k+r-j)} f(i-r+j),$$

Частные формулы второго типа линейной, квадратичной и кубической экстраполяции (k = 5, 10) и их погрешности представлены в табл. 2.

Таблица 2

Формулы второго типа экстраполяции значений переменных на k шагов

r	k	Формулы экстраполяции	Погрешности формул
1	5	$f_{21(i+5)}^* = 6f_i - 5f_{(i-1)}$	$\mu_{21(i+5)}^* = 15h^2 f^{[2]}(\xi), \xi \in [x_{i-5}, x_i]$
	10	$f_{21(i+10)}^* = 11f_i - 10f_{(i-1)}$	$\mu_{21(i+10)}^* = 55h^2 f^{[2]}(\xi), \xi \in [x_{i-10}, x_i]$
2	5	$f_{22(i+5)}^* = 21f_i - 35f_{(i-1)} + 15f_{(i-2)}$	$\mu_{22(i+5)}^* = 35h^3 f^{[3]}(\xi), \xi \in [x_{i-5}, x_i]$
	10	$f_{22(i+10)}^* = 66f_i - 120f_{(i-1)} + 55f_{(i-2)}$	$\mu_{22(i+10)}^* = 220h^3 f^{[3]}(\xi), \xi \in [x_{i-10}, x_i]$
3	5	$f_{23(i+5)}^* = 56f_i - 140f_{(i-1)} + 120f_{(i-2)} - 35f_{(i-3)}$	$\mu_{23(i+5)}^* = 70h^4 f^{[4]}(\xi), \xi \in [x_{i-5}, x_i]$
	10	$f_{23(i+10)}^* = 286f_i - 780f_{(i-1)} + 715f_{(i-2)} - 220f_{(i-3)}$	$\mu_{23(i+10)}^* = 715h^4 f^{[4]}(\xi), \xi \in [x_{i-10}, x_i]$

Для определения условий применения формул воспользовались экстраполяцией функции $f(\tau) = e^\tau$ при $0 \leq \tau \leq 0,5$ с. Значения функции вычислялись с шагом h равным 0,01с. Экстраполяция осуществлялась на период $\tau_{\text{эк}}$ равный 0,05с и 0,1с, то есть прирост функции за период на который будет осуществляться экстраполяции составит 4,9% и 9,5% от максимального значения сигнала. Эти значения являются оценкой значения изменения контролируемого параметра за время отклика системы сбора и обработки.

Для оценки, формируемых при экстраполяции, погрешностей метода воспользуемся компьютерным моделированием экстраполяции по формулам, приведённым в табл. 1 и табл. 2 в математической системе MATLAB.

Экстраполировать будем на $k=5$ и $k=10$ шагов. Такой интервал экстраполяции выбран как предельно допустимый для компенсации недостоверных значений. Ведь если система выдала 5, а тем более 10 недостоверных значений подряд – то следует сделать вывод о неполадке в ней, и необходимо заняться её диагностикой и ремонтом.

Полученные в результате компьютерного моделирования приведённые погрешности экстраполяции формулами первого и второго типа (табл. 3).

Таблица 3

Приведённые погрешности экстраполяции

r	Погрешность метода формул первого типа $\delta\epsilon_{\mu 1}$ %		Погрешность метода формул второго типа $\delta\epsilon_{\mu 2}$ %	
	$k=5, \tau_{\text{эк}}=0,05\text{с}$	$k=10, \tau_{\text{эк}}=0,1\text{с}$	$k=5, \tau_{\text{эк}}=0,05\text{с}$	$k=10, \tau_{\text{эк}}=0,1\text{с}$
1	0,2379	0,9056	0,1446	0,513
2	0,0116	0,0962	0,0035	0,0203
3	0,0006	0,0082	0,0001	0,0001

Из табл. 3 можно сделать вывод, что применение линейной экстраполяции не позволяет получить требуемой погрешности менее 0,15%. А вот квадратичная и кубическая экстраполяция может применяться.

Но следует помнить, что поступающие на такую обработку данные могут содержать не только аддитивную систематическую погрешность, которая ни как не влияет на увеличении погрешности экстраполяции, но и гармоническую систематическую погрешность или случайную погрешность, к которой более чувствительные квадратичная и кубические методы. Случайную погрешность можно представить в виде гармонического сигнала высокой частоты, что вкупе с дискретностью съёма и обработки информации даст аналогичный эффект.

Для проверки возможности использования методов экстраполяции в таких условиях проведём моделирование в системе MATLAB вычисления экстраполируемого значения по данным содержащим погрешность в исходных данных, имеющую вид синусоиды с амплитудой 0,15% от максимального значения функции и периодом $\tau_{\text{погр}}$. Период трансформируемой погрешности выбирался как отношение к периоду экстраполяции..

Максимальные значения приведённой погрешности экстраполяции квадратичными формулами первого и второго типа при $0 < \tau_{\text{погр}}/\tau_{\text{эк}} < 14$ представлены на рис. 1, кубическими формулами обоих типов – на рис. 2.

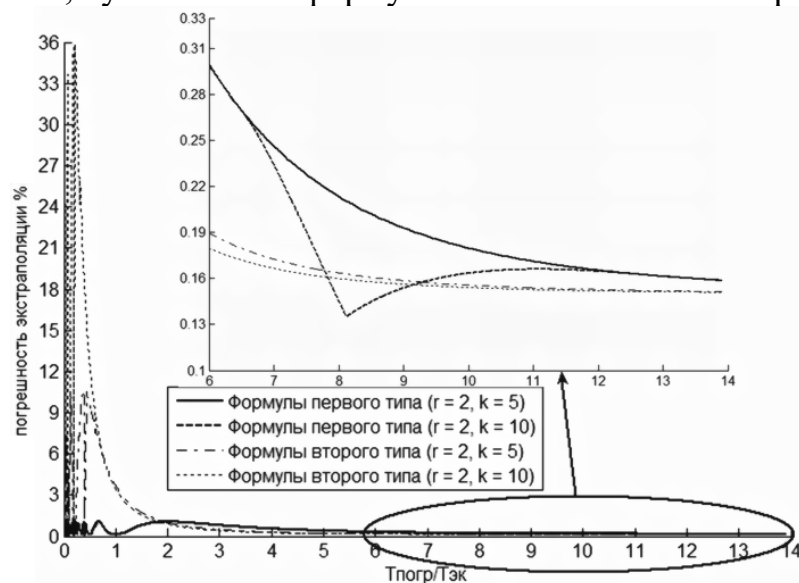


Рис. 1. Максимальные значения погрешности экстраполяции квадратичными формулами первого и второго типа

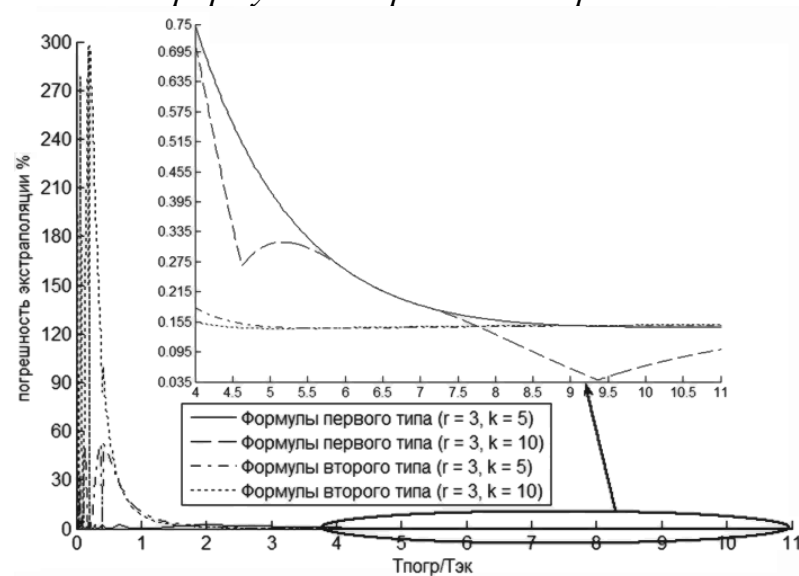


Рис. 2. Максимальные значения погрешности экстраполяции кубическими формулами первого и второго типа

Сведем максимальные значения приведённой погрешности экстраполяции формулами первого типа ($\delta\epsilon_{v1}$) и формулами второго типа ($\delta\epsilon_{v2}$) для различных значений отношения $\tau_{\text{погр}}/\tau_{\text{эк}}$ в табл. 4.

Таблица 4

Значения погрешностей

r	Отношение $\tau_{\text{погр}}/\tau_{\text{эк}}$											
	5				7				10			
	$\delta\varepsilon_{v1} \%$		$\delta\varepsilon_{v2} \%$		$\delta\varepsilon_{v1} \%$		$\delta\varepsilon_{v2} \%$		$\delta\varepsilon_{v1} \%$		$\delta\varepsilon_{v2} \%$	
	k=	k=1	k=	k=1	k=	k=1	k=	k=1	k=	k=1	k=	k=1
	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
2	0,39	0,39	0,1		0,2		0,1		0,1		0,1	
			8	0,16	1	0,19	3	0,12	4	0,12	2	0,11
3	0,42	0,31			0,1		0,1				0,1	
			0,1	0,1	5	0,12	1	0,11	0,1	0,13	1	0,11

Из таблицы можно сделать выводы, что при 5ти недостоверных значениях подряд квадратичную и кубическую экстраполяцию целесообразно применять, если частота погрешности исходных данных в 10 и более раз выше, чем частота полезного сигнала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пьявченко О.Н., Пьявченко А.О.* Схемотехнические решения и элементная база интеллектуальных микропроцессорных модулей: Учебное пособие/ под редакцией д.т.н профессора О.Н. Пьявченко. – Таганрог: Изд-во. ТРТУ, 2006. – 236 С.
2. *Пьявченко О.Н.* Прецизионные интеллектуальные микропроцессорные модули сбора и обработки аналоговых сигналов. Концептуальное представление.// Материалы 8-го международного научного практического семинара «Практика и перспективы развития партнёрства в сфере высшей школы» – Том 3 – Донецк, ДонНТУ, ЮФУ. – 2007. – С.249 – 258.
3. *Пьявченко О.Н.* Концептуальное представление о прецизионных интеллектуальных микропроцессорных модуля ввода, измерений и обработки аналоговых сигналов.// Известия ТРТУ. – 2007. – №3. – С.126–132.
4. *Пьявченко О.Н.* Структура и особенности организации функционирования интеллектуального микропроцессорного модуля датчиков давления.// Материалы международной научной конференции «Информационные технологии в современном мире» – часть 4 – Таганрог: Изд. «Антон», ТРТУ. – 2006. – С.57 – 64.
5. *Пьявченко О.Н.* Проектирование локальных микрокомпьютерных систем: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 238 с.
6. *Бахвалов Н.С.* Численные методы. Т1. М.: Наука, 1973г. 632 с.

7. Пьявченко О.Н. Удод Е.В. Прогнозирование значений переменных физических величин на основе полинома Лагранжа.// Известия ТРТУ. – 2005. – №1. – С. 25–32.

Удод Евгений Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры встраиваемых и радиоприёмных систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7(863) 218-40-00 доб.30119, email: evudod@sfedu.ru

Udod Eugene Vasilevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor of embedded and radio receiving systems Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44, phone+7(863) 218-40-00 add.30119, email: evudod@sfedu.ru

УДК 621.396

Курдошев Зарифжон Мансур угли, Пчелинцев Евгений Анатольевич

РОЛЬ ОПТИМИЗАТОРОВ И ФУНКЦИЙ ПОТЕРЬ В МОДЕЛЯХ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВЫХ АКТИВОВ

Прогнозирование временных рядов является одной из важнейших проблем на сегодняшний день, и вопрос прогнозирования не утратил своей актуальности. Точность предсказаний сложна даже для рекуррентных нейронных сетей из простых нейронных сетей. В данной статье рассматривается зависимость прогнозирования временных рядов от метрик и оптимизаторов, их эффективность и область применения в рекуррентных нейронных сетях. Для исследований используются различные функции потерь и самые современные оптимизаторы. Эмпирические исследования проводятся с использованием сетей STD, RUN и RU.

Ключевые слова: LSTM, RNN, Time series, optimizers, loss functions

Kurdoshev Zarifjon Mansur ugli, Pchelintsev Evgeniy Anatolevich
**METRICS AND OPTIMIZERS IN RECURRENT NEURAL NETWORKS
FOR TIME SERIES FORECASTING**

Forecasting time series is one of the most important problems today, and the issue of forecasting has not lost its relevance. The accuracy of predictions is

complicated even for recurrent neural networks from simple neural networks. This paper examines the dependence of time series forecasting on metrics and optimizers, their effectiveness, and scope in recurrent neural networks. Various loss functions and state-of-the-art optimizers are used for research. Empirical studies are carried out using LSTM, RNN and GRU networks.

Keywords: LSTM, RNN, Time series, optimizers, loss functions

Введение

Time series forecasting is one of the areas of active research that has received considerable attention. Using time series forecasting, researchers build models based on historical observations to predict future events.

Based on the results of these studies, it is widely used in statistics, signal processing, pattern detection, econometrics, mathematical finance, weather forecasting, earthquake prediction, electroencephalography, control engineering, astronomy, communication engineering. ARIMA and its variants were used for time series forecasting. Although effective in short-term predictions such linear models failed to predict with high accuracy over time. To overcome these errors, researchers began to use artificial neural networks. Applications for time series prediction from artificial neural networks can be found in [1,2,3]. Recurrent neural networks are one of the new neural networks that are currently being developed on a large scale.

LSTM, RNN and GRU neural networks are networks with their own memory, which is very useful in time series prediction.

Predictions of time series in recurrent networks based on various metrics and optimizers are studied. Effective methods of time series predictions are defined.

Neural networks for time series forecasting

A neural network is a network or circuit of biological neurons, or, in a modern sense, an artificial neural network, composed of artificial neurons or nodes[8]. Neural networks are composed of interconnected cells and consist of 3 parts.

1. Input layer
2. Hidden layer
3. Output layer

The architecture of a ANN with one hidden layer is presented in Figure 1.

The input layer part of the neural network consists of a numerical array, which digitally stores the initial properties of the studied object.

Hidden layers are sets of mathematical functions designed to produce results. Such an activation function set takes input values and transfers a probability value between 0 and 1 to the output layer.

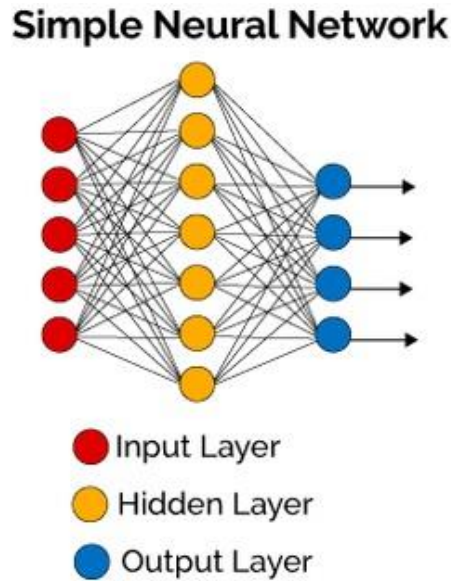


Figure 1. Neural network structure

The output layer is the last layer in the neural network where the desired predictions are obtained. A neural network has one output layer that produces the desired final prediction. It has specific weights and biases that are applied before getting the final result [4,5].

Recurrent neural networks

Recurrent neural networks are a type of neural network architecture that is mainly used for sequential data processing. Examples of such data include records, images, and sequential data found in industry and economics. The main difference between RNN networks and conventional neural networks is that in traditional neural networks, only x_t is the input, while in Recurrent networks, not only x_t but also x_{t-1} is addressed. Several hidden layers are combined into one block. Below we will consider several network structures such as RNN, LSTM, GRU.

RNN

RNN performs the following calculations simultaneously. The sequence of actions is as follows:

$$s_t = \tanh(Ux_t + Ws_{t-1})$$

$$y_{pred} = softmax(Vs_t)$$

LSTM

LSTM (long short-term memory, literally (long short-term memory) is a type of recurrent neural network that can learn long-term dependencies. LSTMs were presented in the work of Hochreiter and Schmidhuber [7], subsequently improved and popularized by other researchers, they cope well with many tasks and still are widely applied.

LSTMs are specifically designed to address the problem of long-term addition. They specialize in remembering information for long periods of time, so they require little to no training.

$$\begin{aligned} i &= \sigma(U^i x_t + W^i s_{t-1} + b^i) \\ f &= \sigma(U^f x_t + W^f s_{t-1} + b^f) \\ o &= \sigma(U^o x_t + W^o s_{t-1} + b^o) \\ g &= \tanh(U^g x_t + W^g s_{t-1} + b^g) \\ c_t &= c_{t-1} \circ f + g \circ i \\ s_t &= \tanh(c_t) \circ o \end{aligned}$$

GRU

The main idea behind GRU is to use gateway mechanisms to selectively update the hidden state of the network at each time step. Gateway mechanisms are used to control the flow of information in and out of the network. The GRU has two gateway mechanisms called reset gates and update gates.

The reset gate determines how much of the previous hidden state should be forgotten, and the update gate determines how much of the new input should be used to update the hidden state. The GRU output is calculated based on the updated hidden state[6].

$$\begin{aligned} z_t &= \sigma(W^z x_t + U^z s_{t-1} + b^z) \\ r_t &= \sigma(W^r x_t + U^r s_{t-1} + b^r) \\ h_t^{pred} &= \tanh(W^h x_t + U^h (r_t \circ h_{t-1}) + b^h) \\ h_t &= z_t \circ h_{t-1} + (1 - z_t) \circ h_t^{pred} \end{aligned}$$

Prediction using RNN, LSTM and GRU

In this section, research is conducted on time series. Data from the same time series are used as the research objective. This type of information includes the

distribution of dependence of the national currency on foreign currency. a graphical view of the database is presented in Figure 2.

For research purposes, this database is divided into two parts.

1. train part: used to train the constructed Neural networks
2. test part: Used to check the correctness of neural network predictions.

Each neural network is researched separately. first, it is observed how they give results in different metrics, and in the second stage, the results are obtained and compared through different optimizers.

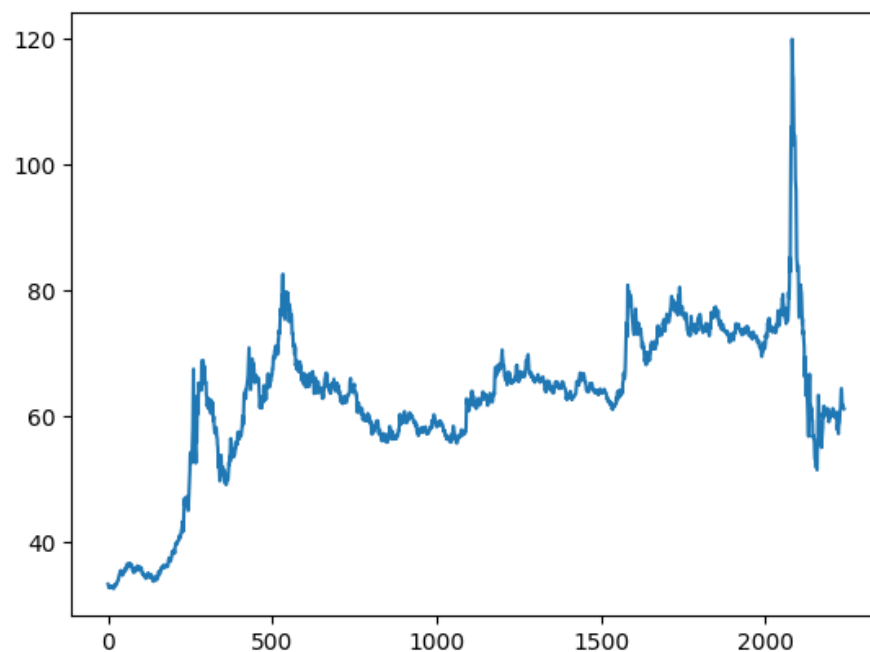


Figure 2. Graphic representation of the relationship of the national currency to the foreign currency

The results obtained by applying various loss functions in the RNN model using existing optimizers.

1. Prediction of MSE, MAE, MAPE, SMAPE, RMSLE loss functions in RNN model in SGD optimizer. A visual representation of the prediction made by each loss function together with the actual statistics is presented in Figure 3.

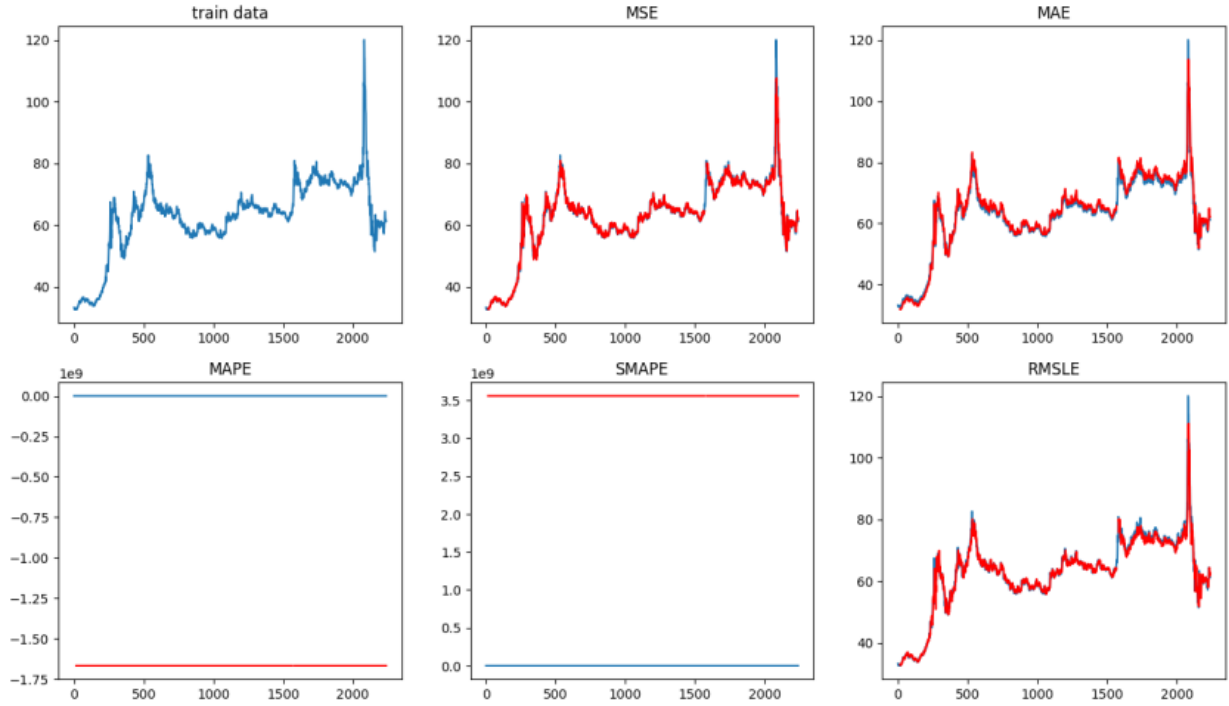


Figure 3. Prediction by SGD optimizer using different loss functions in RNN neural network.

As shown in Figure 4, when the training number is close to 100, the values of MSE, MAE and RMSLE from the loss functions of the models in this paper are already less than 0.05. But it was found that MAPE and SMAPE loss functions show negative result in SGD optimizer.

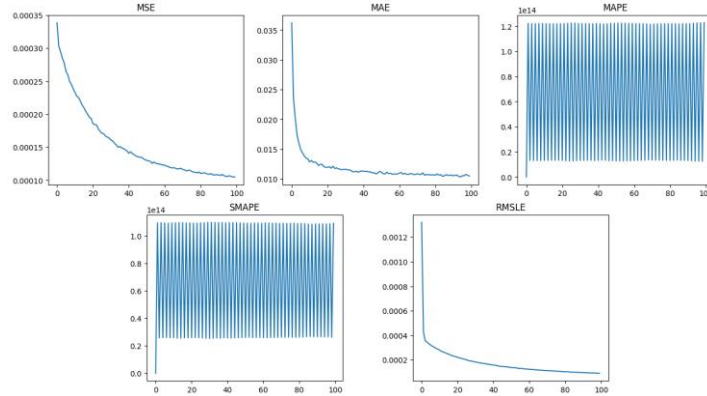


Figure 4. Motion graphs of loss functions.

2. Prediction of MSE, MAE, MAPE, SMAPE, RMSLE loss functions in LSTM model in Adagrad optimizer. A visual representation of the prediction made by

each loss function together with the actual statistics is presented in Figure 5.

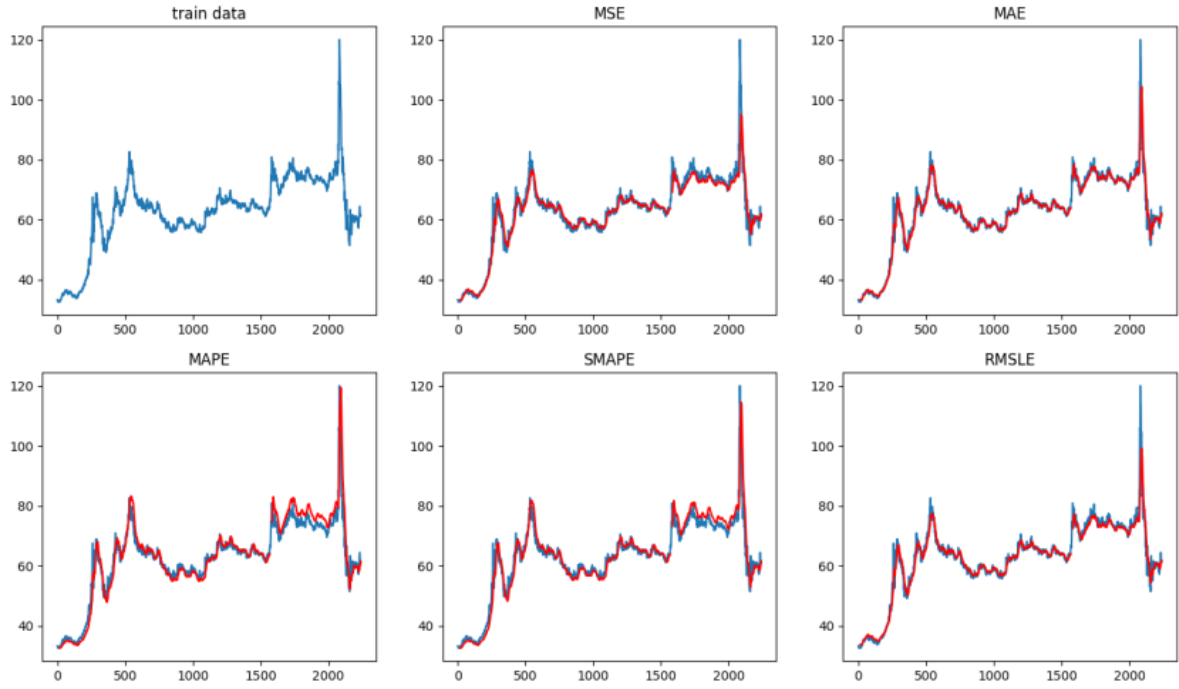


Figure 5. Prediction by Adagrad optimizer using different loss functions in LSTM neural network.

As shown in Figure 6, when the training number is close to 100, the values of MSE, MAE and RMSLE from the loss functions of the models in this paper are already less than 0.05. But for the value of MAPE and SMAPE loss functions, 100 iterations are lacking.

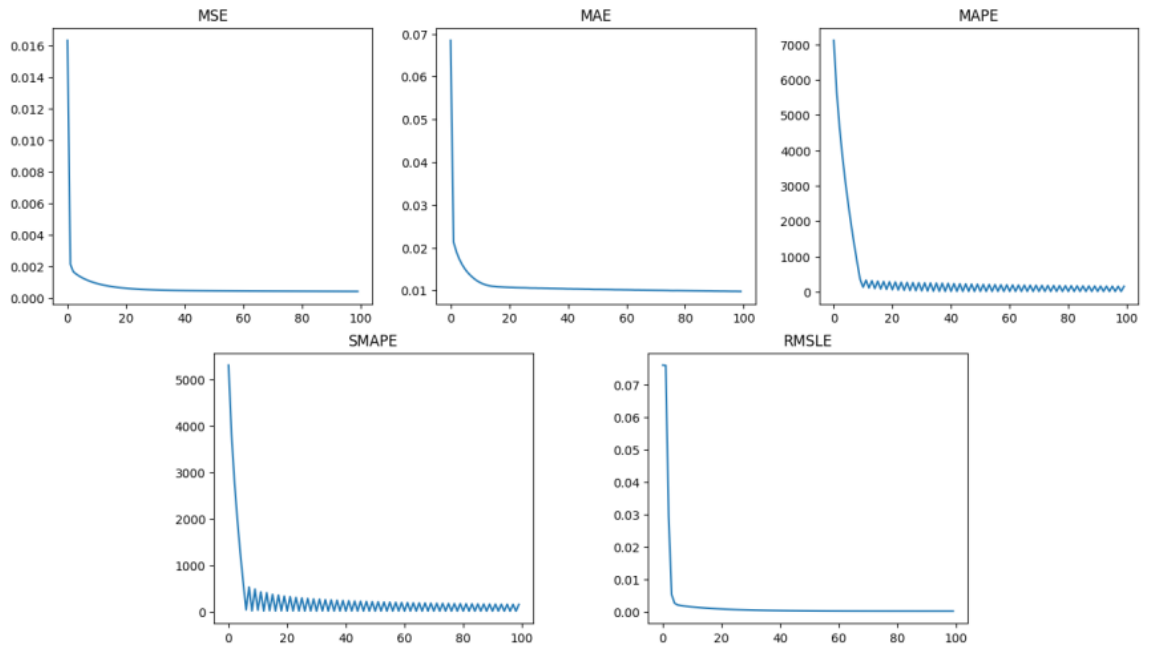


Figure 6. Motion graphs of loss functions.

Conclusions

In the process of analyzing time series, the use of recurrent neural networks is effective, and with their help, results close to exact data can be obtained. But at the same time, it is necessary to pay attention to combinations of loss functions and optimizers in the neural network.

References

1. *Boubakari Ake*. The role of stock market development in economic growth: evidence from some euro next countries. *International Journal of Financial Research*, 1(1):14–20, 2010.
2. *Adebisi A Ariyo, Adewumi O Adewumi, and Charles K Ayo*. Stock price prediction using the arima model. In 2014 UKSim-AMSS 16th international conference on computer modelling and simulation, pages 106–112. IEEE, 2014.
3. *Léon Bottou and Olivier Bousquet*. The tradeoffs of large scale learning. *Advances in neural information processing systems*, 20, 2007.
4. *John Duchi, Elad Hazan, and Yoram Singer*. Adaptive subgradient methods for online learning and stochastic optimization. *Journal of machine learning research*, 12(7), 2011.
5. *Thomas S Ferguson*. An inconsistent maximum likelihood estimate. *Journal of the American Statistical Association*, 77(380):831–834, 1982.
6. *Geoffrey Hinton, Nitish Srivastava, and Kevin Swersky*. Overview of mini-batch gradient descent. *Neural Networks for Machine Learning*, 575(8), 2012.
7. *Sepp Hochreiter and Jürgen Schmidhuber*. Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8):1735–1780, 1997.
8. *John J Hopfield*. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the national academy of sciences*, 79(8):2554–2558, 1982.
9. *Diederik P Kingma and Jimmy Ba*. Adam: A method for stochastic optimization. arXiv preprint arXiv:1412.6980, 2014.
10. *Nitin Merh, Vinod P Saxena, and Kamal Raj Pardasani*. A comparison between hybrid approaches of ann and arima for indian stock trend forecasting. *Business Intelligence Journal*, 3(2):23–43, 2010.
11. *Joseph Perla*. Notes on adagrad. *interaktyvus*. [˘zi˘ur`eta 2019-06-17].. Prieiga per internetą; <https://web.archive.org/web/20150330033637/http://seed.ucsd.edu/mediawiki/images/6/6a/Adagrad.pdf>, 2014.
12. *Winita Sulandari, Suhartono, Subanar, and Paulo Canas Rodrigues*. Exponential

smoothing on modeling and forecasting multiple seasonal time series: An overview. Fluctuation and Noise Letters, 20(04):2130003, 2021.

Kurdoshev Zarifjon Mansur ugli, Graduate student of Tomsk State University, Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenin Ave., 36., phone: +7 (985) 996-98-02, email: Zarifbek001@gmail.com.

Pchelintsev Evgeny Anatolievich, docent,, Department of mathematical analysis and theories of functions Tomsk State University, Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenin Ave., 36., phone: +7 (3822) 52-97-05, email: evgen-pch@yandex.ru

Секция – Методы, системы и средства обработки и моделирования физических сигналов, полей и процессов

УДК 621.396

Гузь Егор Эдуардович, Кисель Наталья Николаевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НИЗКОПРОФИЛЬНОЙ
СШП-АНТЕННЫ ДЛЯ БПЛА**

Представлены результаты моделирования в среде Altair FEKO характеристик низкопрофильной сверхширокополосной микрополосковой монополярной антенны для беспилотного летательного аппарата в диапазоне 3,5 – 16 ГГц. Исследовано влияние геометрических размеров антенны на ее характеристики.

Низкопрофильная антенна, конформная антенна, монополярная антенна, беспилотный летательный аппарат.

Guz Egor Eduardovich Kisel , Natalya Nikolaevna

**SIMULATION CHARACTERISTICS LOW PROFILE
UWB MONOPOLE ANTENNA FOR UAV**

The results of modeling in the Altair FEKO environment the characteristics of a low-profile ultra-wideband microstrip monopole antenna for an unmanned aerial vehicle in the 3.5-16 GHz range are presented. The influence of the geometrical parameters of the antenna on its characteristics has been studied.

Low profile antenna, conformal antenna, monopole antenna, unmanned aerial vehicle.

Введение

Разработка микрополосковых СШП-антенн в настоящее время ориентировано на применение новых форм излучающих элементов и использования в конструкции дополнительных паразитных включений, которые могут применяться как для расширения полосы работы антенны, так и наоборот формирования в рабочей полосе частот новых зон заграждения. Для этого могут применяться различные дополнительные элементы в виде резонаторов, мета-частиц, щелей, расположенные как в элементах питающей линии, в составе излучателя, так и на обратной стороне подложки. СШП-антенны могут выступать как самостоятельные антенны, так как и элементы фазированных антенных решеток.

В настоящее время активно используются технологии СШП-радиосвязи для БПЛА [1-8]. Следует отметить, что микрополосковые СШП-антенны имеют малые габариты, при использовании для БПЛА они автоматически удовлетворяют требованиям аэродинамики.

Основная часть

Антенна представляет собой низкопрофильную конструкцию, с габаритными размерами для плоской структуры 30 мм на 40 мм, излучатель имеет Y-образную форму с дополнительным элементом в виде круга [9-11]. Варианты конструкции исследуемых антенны представлены на рис. 1. Моделирование характеристик антенны выполнено в специализированном САПР Altair FEKO.

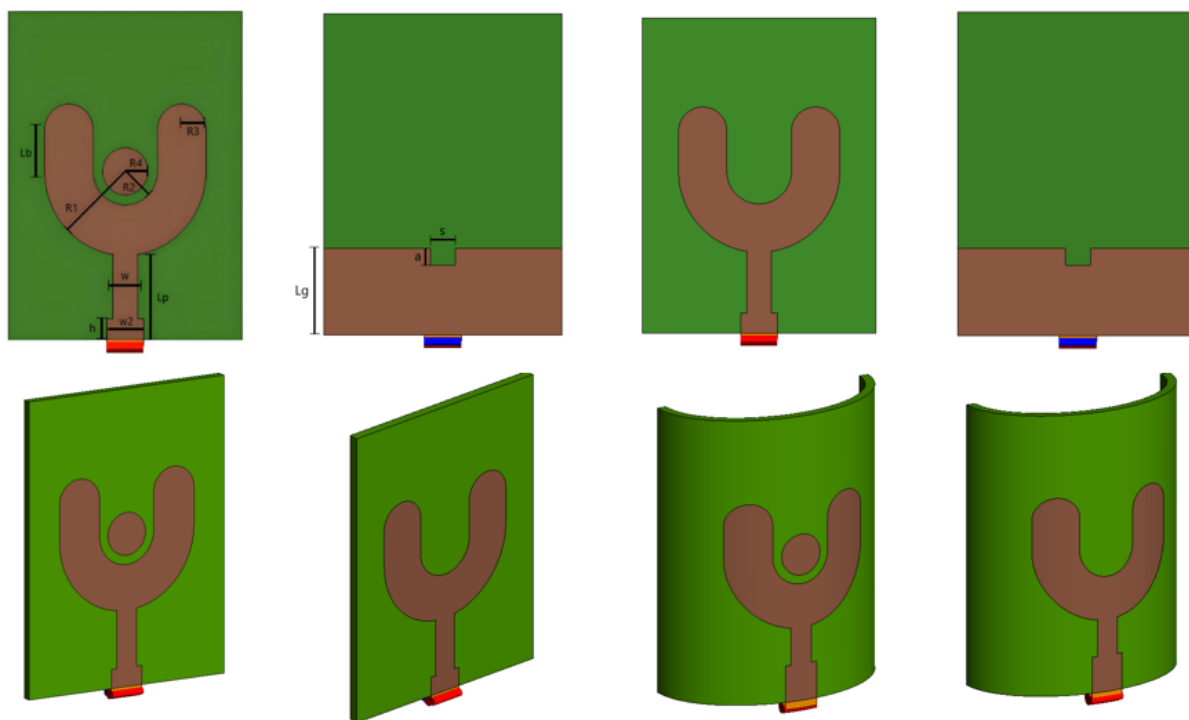


Рис. 1. Конструкции СШП-антенны

В работе проведены детальные исследования влияния размеров излучателя, радиуса паразитного кругового элемента, а также размеры выемки в подложке антенны на ее характеристики, а именно коэффициент отражения и КСВ.

Как утверждается в [5] дополнительный элемент в центре позволяет расширить рабочую полосу работы антенны. Однако численные исследования показали, что данный элемент практически не влияет на рабочий диапазон антенны.

Далее приведены результаты параметрического анализа характеристик антенны. Как видно из рис.2 при изменении R_1 (рис.1) более чем на 15% не приводит к существенному изменению КСВ антенны, наибольшие изменения наблюдаются в области частот 13 – 16 ГГц, однако при всех вариациях R_1 КСВ не превышает двух в диапазоне 3,5 – 16 ГГц.

Ниже приведены (рис.3,4,5) результаты расчета КСВ при вариации параметров подложки (размеры выемки в подложке s и a , а также ширины подложки Lg).

Как показало моделирование, увеличение ширины выемки приводит к увеличению КСВ в области 13 – 16 ГГц, так при увеличении s на 60 % наблюдается увеличение КСВ практически на 40%, однако даже при таком росте КСВ по прежнему не превышает 2 (рис. 3). Увеличение глубины выемки также влияет на КСВ, причем область, в которой наблюдается наиболее существенное влияние расширяется с 8 до 18 ГГц, на некоторых частотах (8 – 9,2 ГГц) КСВ незначительно становится больше 2 (рис. 4).

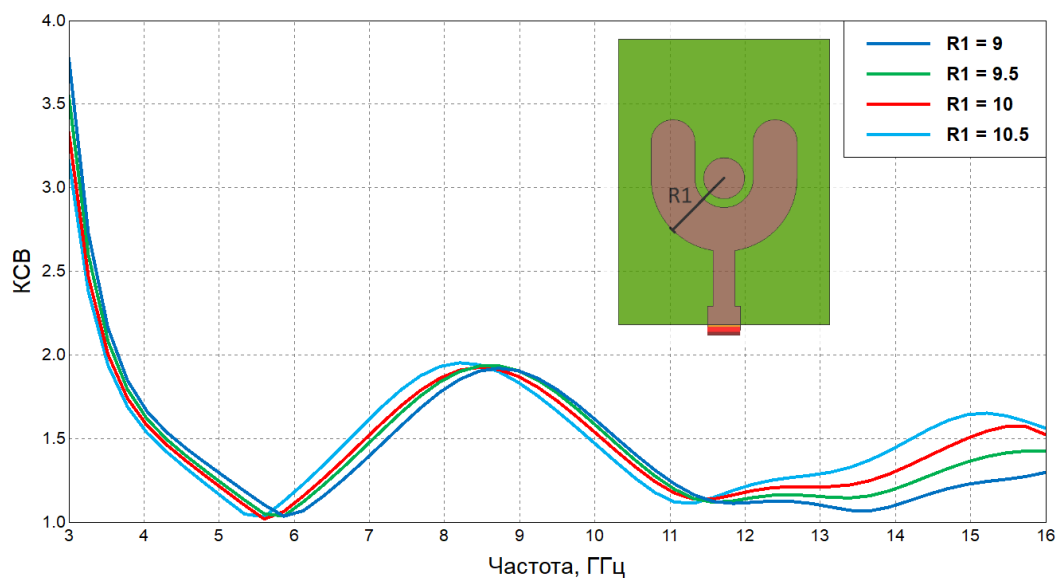


Рис. 2. Частотная зависимость КСВ при различных значениях R_1

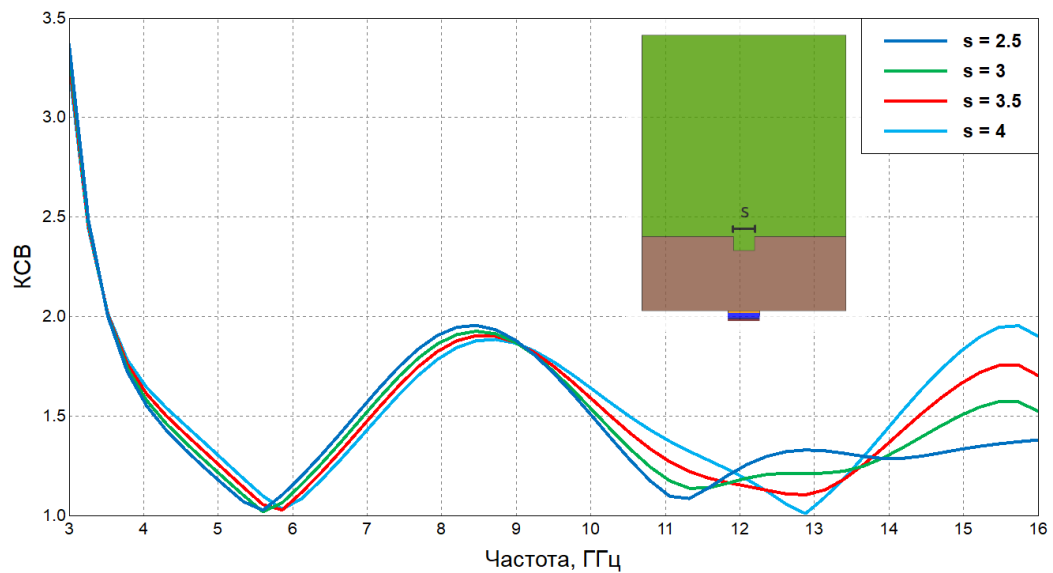


Рис. 3. Частотная зависимость КСВ при различных значениях s

Как и следовало ожидать, размер подложки Lg в большей степени влияет на частотную зависимость КСВ, незначительное увеличение ширины подложки до 7 % приводит в диапазоне частот 7 – 10 ГГц до 2,5 (рис. 5).

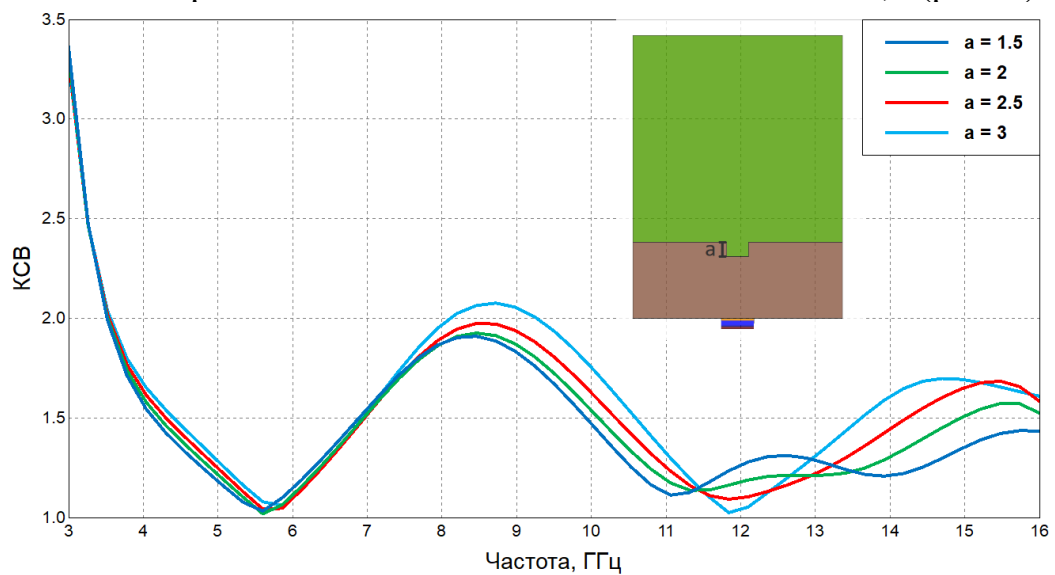


Рис. 4. Частотная зависимость КСВ при различных значениях a

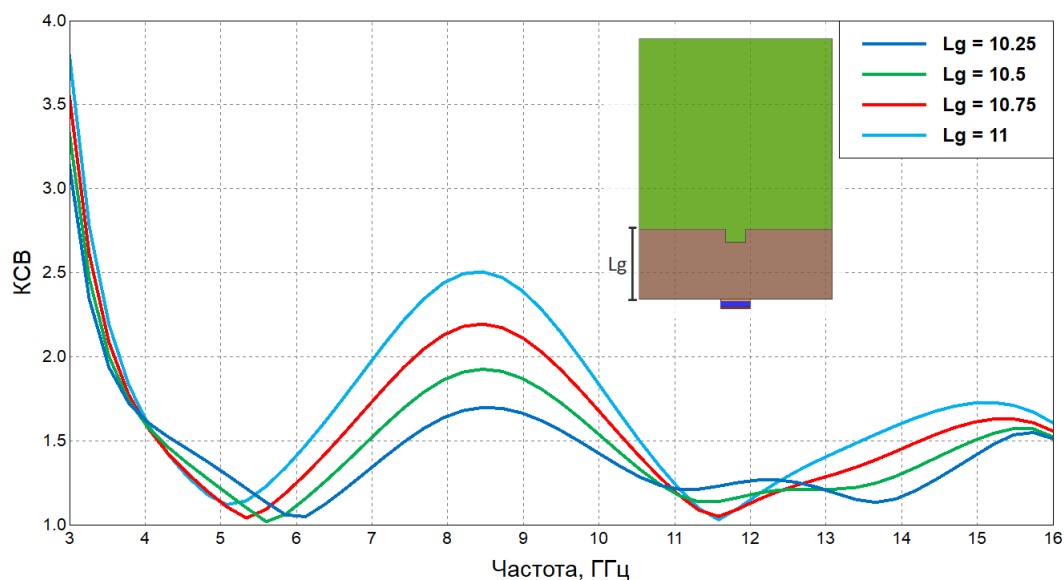


Рис. 5. Частотная зависимость КСВ при различных значениях L_g

Выводы

Таким образом, в работе выполнен параметрический анализ с целью определения наибольшего влияния размеров конструкции на характеристики антенны. Показано, что при удачном выборе размеров элементов антенны в диапазоне 3,5 ГГц – 16 ГГц можно реализовать КСВ не выше 2. Данная антенна может быть рекомендована к использованию в СШП-радиосвязи для БПЛА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Tiemann J., Schweikowski F. and Wietfeld C.* ``Design of an UWB indoor-positioning system for UAV navigation in GNSS-denied environments// in Proc. Int. Conf. Indoor Positioning Indoor Navigat. (IPIN), Banff, AB, Canada. Oct. 2015. pp. 1-7.
2. *Yin Z., Shi Z, Liang J., and Wu Z.* Design of unmanned aerial vehicle space communication links based on DS-UWB// Inf. Technol. J. 2010. vol. 9. no. 8, pp. 1713-1718.
3. *Sorbelli F.B. and Pinotti C.M.* On the localization of sensors using a drone with UWB antennas// in Proc. RSFF, L'Aquila, Italy. 2018. pp. 18-29.
4. *Chen J., Raye D., Khawaja W., Sinha P. and Guvenc I.* Impact of 3D UWB antenna radiation pattern on air-to-ground drone connectivity// in Proc. IEEE 88th Veh. Technol. Conf. 2018, pp. 1-5.

5. *Saha T.K., Goodbody C., Karacolak T., Sekhar P.K.* A compact monopole antenna for ultra-wideband applications// *Microw. Opt. Technol. Lett.* 2019, 61, 182–186.
6. *Zahran S.R., Abdalla M.A., Gaafar A.* Time domain analysis for foldable thin UWB monopole antenna// *AEU Int. J. Electron. Commun.* 2018, 83, 253–262.
7. *Zahran S.R., Gaafar A., Abdalla M.A.* A flexible UWB low profile antenna for wearable applications// In *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2016; pp. 1931–1932.
8. *Saha T.K., Knaus T.N., Khosla A., Sekhar P.K.* A CPW-fed flexible UWB antenna for IoT applications. *Microsys. Technol.* 2018, 28, 5–11.
9. *Кисель Н.Н.* Моделирование прикладных задач электродинамики и антенн на супервычислительной системе в пакете FEKO/ Таганрог: Изд-во ИТА ЮФУ, 2013.
10. *Кисель Н.Н.* Электродинамическое моделирование антенн и устройств СВЧ в пакете FEKO. Учебное пособие / Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2010.
11. *Кисель Н.Н.* Основы компьютерного проектирования РЭС САПР СВЧ//учебное пособие / Таганрог: Изд-во ИТА ЮФУ, 2016.

Гузь Егор Эдуардович, бакалавр Института радиотехнических систем и управления, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: eguz@sfedu.ru.

Кисель Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры антенн и радиопередающих устройств Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский, 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: nnkisel@sfedu.ru.

Guz Egor Eduardovich, bachelor Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky street, 44, 347900, phone: +7 (8634) 37-16-34, , email: eguz@sfedu.ru.

Kisel Natalya Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Antennas and Radio Transmitting Devices of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky street, 44, 347900, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: nnkisel@sfedu.ru.

УДК 621.396

Алябьев Сергей Игоревич, Кисель Наталья Николаевна

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОПРОФИЛЬНОЙ АНТЕННЫ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ БПЛА

Представлены результаты моделирования в среде Altair FEKO характеристик низкопрофильной антенны для беспилотного летательного аппарата. Рассмотрены влияние расположения шунтов на резонансную частоту антенны. Исследовано влияние элементов конструкции летательного аппарата на диаграмму направленности антенны

Низкопрофильная антенна, конформная антенна, беспилотный летающий аппарат.

Sergej Igorevich Alyab'ev, Natal'ya Nikolaevna Kisel'

DESIGN OF A LOW PROFILE ANTENNA TAKING INTO ACCOUNT THE IMPACT OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

The results of modeling in the Altair FEKO environment the characteristics of a low-profile antenna for an unmanned aerial vehicle are presented. The influence of the location of the shunts on the resonant frequency of the antenna is considered. The effect of structural elements of an aircraft on the antenna pattern has been studied

Low profile antenna, conformal antenna, unmanned aerial vehicle.

Введение

Разработка антенны для БПЛА должна удовлетворять следующим требованиям: малые габариты, которые существенно зависят от типа БПЛА, требования обеспечения аэродинамических характеристик, низкая стоимость, так как время жизнеспособности БПЛА достаточно ограничено. Кроме того, как правило, антенны должны иметь изотропную диаграмму направленности в азимутальной плоскости и иметь коэффициент усиления антенны не меньше полуволнового диполя и полосой пропускания не менее 100 МГц. В данной работе представлены результаты проектирования малогабаритной низкопрофильной конформной монополюсную антенну с шунтовым питанием для беспилотного летательного аппарата.

Основная часть

Антенна представляет микрополосковую дисковую антенну с шунтовым питанием (наличие в конструкции короткозамыкателей), расположенную внутри полости цилиндрической формы, которую можно легко установить на фюзеляже БПЛА. Моделирование характеристик антенны в том числе с учетом влияния корпуса БПЛА было выполнено в специализированном САПР Altair FEKO.

На рис. 1 представлена модель антенны в программе Altair FEKO. Дисковая антенна подключена к источнику питания коаксиального провода по центру диска, а шунтовые элементы-короткозамыкатели позволяют увеличить входное сопротивление антенны и улучшить прочностные характеристики антенны. Диаметр диска 90 мм, диаметр цилиндрической полости – 300 мм, глубина полости – 18 мм.

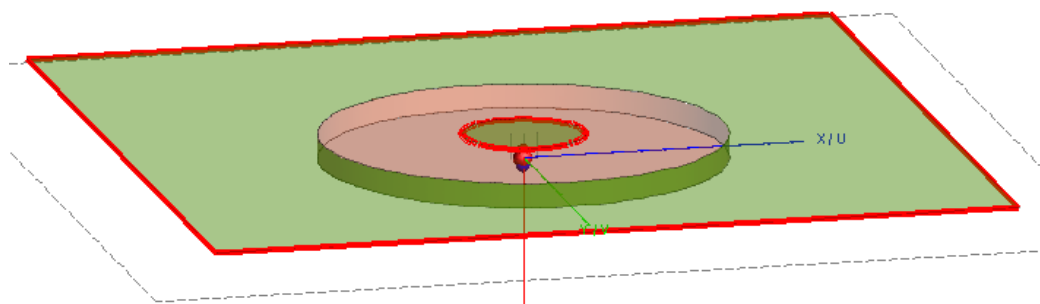


Рис.1. Конструкция конформной антенны

В работе исследовано влияние места расположения короткозамыкателей на характеристики антенны. Как показали расчеты при изменении положения шунтовых элементов, а именно при их разнесении друг от друга наблюдается снижение коэффициента отражения и изменение резонансной частоты антенны.

При расстоянии между шунтовыми элементами 10 мм резонансная частота составляет 706 МГц, при расстоянии 35 мм резонансная частота – 846 МГц.

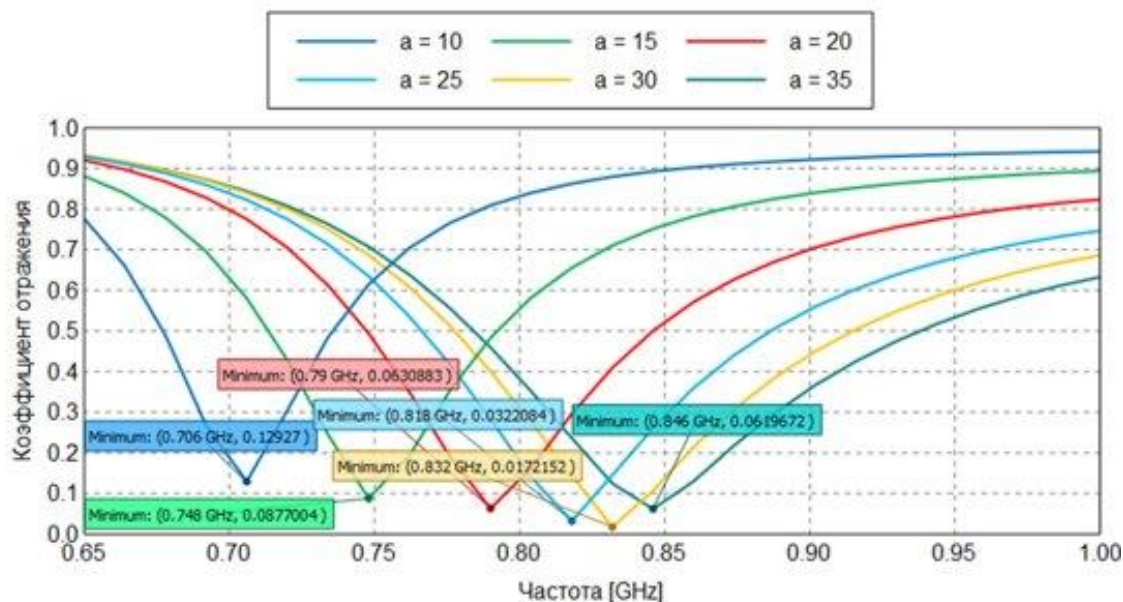


Рис. 2. Частотная характеристика коэффициента отражения при различном расстоянии между шунтовыми элементами

На рис. 3 приведены трехмерные диаграммы направленности низкопрофильной антенны, расположенной на фюзеляже БПЛА в носовой, под крыльями и хвостовой частях. Из приведенных рисунков видно, что направления минимумов диаграммы направленности не меняется по сравнению со случаем антенны в свободном пространстве, но наблюдается существенное влияние корпуса объекта на характеристики направленности бортовых антенн, приводящее к значительной изрезанности диаграмм направленности в рассматриваемой нами диапазоне 700 МГц – 900 МГц. Наибольшее влияние проявляется при расположении антенны на фюзеляже под крыльями БПЛА.

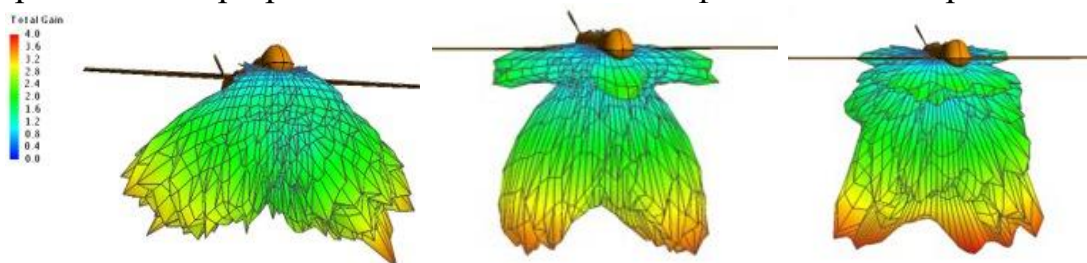


Рис. 3. 3D-диаграммы направленности антенны с учетом влияния корпуса БПЛА:

- а) – антенна расположена в носовой части БПЛА,
- б) – антенна расположена под крыльями БПЛА,
- в) – антенна расположена в хвостовой части БПЛА.

Следует отметить, наибольшие изменения в диаграмме направленности наблюдаются при расположении антенны на фюзеляжи непосредственно под крыльями БПЛА. При этом коэффициент усиления антенны составляет 4 дБ.

Выводы

Рассмотренная в работе антенна с двойным шунтовым питанием монтируется в фюзеляж БПЛА, является невыступающей и не меняет аэродинамическое сопротивление БПЛА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кисель Н.Н.* Моделирование прикладных задач электродинамики и антенн на супервычислительной системе в пакете FEKO/ Таганрог: Изд-во ИТА ЮФУ, 2013.
2. *Кисель Н.Н.* Электродинамическое моделирование антенн и устройств свч в пакете FEKO. Учебное пособие / Таганрог: Изд-во ТРТИУ, 2010.
3. *Кисель Н.Н.* Основы компьютерного проектирования РЭС САПР СВЧ//учебное пособие / Таганрог, 2016.
4. Проектирование и экспериментальное исследование антенн для БПЛА / А. С. Антонов, Ю. Г. Антонов, С. В. Балландович, М. И. Сугак // Сб. докл. науч.-техн. школы-семинара «Инфокоммуникационные технологии в цифровом мире», СПб., 2012. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. С. 49–50.
5. *Антонов А. С., Антонов Ю. Г., Балландович С. В., Сугак М. И.* Низкопрофильная антенна для БПЛА // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ". 2013. № 6. С. 3-7.
6. *Климентьев В.П.* Малогабаритная низкопрофильная укороченная антенна для беспилотных летательных аппаратов. Описание полезной модели к патенту. H01Q9/36(2017.08).
7. *Трофимов Н. А.* Технологии беспилотных летательных аппаратов: применение в военных конфликтах будущего // Наука за рубежом. 2012. № 12. С. 1-15.
8. *Sharawi M. S., Aloi D. N., Rawashdeh O. A.* Design and Implementation of Embedded Printed Antenna Arrays in Small UAV Wing Structure // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2010. Vol. 58. Iss. 8. P. 2531-2538.
9. *Sun L., Sun B.-H., Sun Q., Huang W.* Miniaturized Annular Ring Slot Antenna for Small/Mini UAV Applications // Progress in Electromagnetics Research C. 2014. Vol. 54. P. 1-7.

10. *Sharawi M. S., Aloï D. N., Rawashdeh O. A.* Design and Implementation of Embedded Printed Antenna Arrays in Small UAV Wing Structure // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2010. Vol. 58. Iss. 8. P. 2531-2538.
11. *Sun L., Sun B.-H., Sun Q., Huang W.* Miniaturized Annular Ring Slot Antenna for Small/Mini UAV Applications // Progress in Electromagnetics Research C. 2014. Vol. 54. P. 1-7.

Алябьев Сергей Игоревич, бакалавр Института радиотехнических систем и управления, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: alyabev@sfedu.ru.

Кисель Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры антенн и радиопередающих устройств Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский, 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: nnkisel@sfedu.ru.

Alyabiev Sergey Igorevich, bachelor Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky street, 44, 347900, phone: +7 (8634) 37-16-34, , email: alyabev@sfedu.ru.

Kisel Natalya Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Antennas and Radio Transmitting Devices of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky street, 44, 347900, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: nnkisel@sfedu.ru.

УДК 621.396

Дзущев Роман Константинович, Кисель Наталья Николаевна

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Рассмотрены вопросы моделирования и измерения характеристик сверхширокополосных микрополосковых антенн с различной конфигурацией подложки. Исследованы частотные зависимости коэффициента отражения, КСВ, коэффициента усиления в полосе частот от 2 ГГц до 15 ГГц. Проанализировано влияние конфигурации подложки на характеристики антенны. Моделирование характеристик выполнено в программе Altair FEKO.

Сверхширокополосная антенна, диаграмма направленности, коэффициент отражения, резонатор.

Dzucev Roman Konstantinovich, Kisel' Natal'ya Nikolaevna

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF ULTRA-WIDEBAND ANTENNA FOR WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

The issues of modeling the characteristics of ultra-wideband microstrip antennas with a special substrate configuration are considered in the article. The frequency dependences of the reflection coefficient, SWR, and gain in the frequency range from 2 GHz to 15 GHz have been studied. The effect of substrate configuration on antenna performance is analyzed. The characteristics were modeled using the Altair FEKO program.

Ultra-wideband antenna, radiation pattern, reflection coefficient, resonator.

Введение

Сверхширокополосные антенны [1] имеют минимальную полосу пропускания не менее 500 МГц и предназначены для работы в сверхширокополосной радиосвязи и радиолокации. При использовании технологии СШП-радиосвязи выполняется передача пакета сверхкоротких импульсов с длительностью порядка 500 – 600 пикосекунд. Антенна при передаче имеет ключевую роль, поскольку искажает форму импульсных сигналов. При проектировании СШП-антенны выполнена разработка физической модели антенны (конфигурация СШП-антенн достаточно многообразна) с последующим математическим моделированием характеристик антенны специализированной САПР Altair FEKO [2-4].

В работе исследована чувствительность характеристик антенны к изменению геометрических и электрофизических параметров антенн. Рассмотрено несколько печатных СШП-антенн различных конструкций и путем параметризации исследованы их частотно-зависимые характеристики, определены наиболее эффективные конструкции и проведен сравнительный анализ между ними.

Основная часть

В качестве базовой СШП-антенны исследуется микрополосковая монополярная антенна в виде правильного восьмиугольника (построенного на основе дисковой антенны) с дополнительными элементами-нагрузками в составе излучателя. Исследуемая антенна обеспечивают постоянный

импеданс и стабильную характеристику диаграммы направленности в полосе частот более 10:1. Такая антенна позволяет обеспечить приемлемые передаточную характеристику и характеристики направленности в диапазоне частот от 2 ГГц до 15 ГГц. Излучатель имеет восьмиугольную форму с круглой щелью радиуса R (рис.1, а) и располагается на диэлектрической подложке с размерами $W \times L = 42 \text{ мм}^2$ и толщиной $u = 0.8 \text{ мм}$, выполненной из FR4 с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2.2$, тангенсом потерь $\text{tg}\delta = 0.0009$. Питание осуществляется конической фидерной линией, подведенной к излучателю, которая имеет сужение для надлежащего согласования.

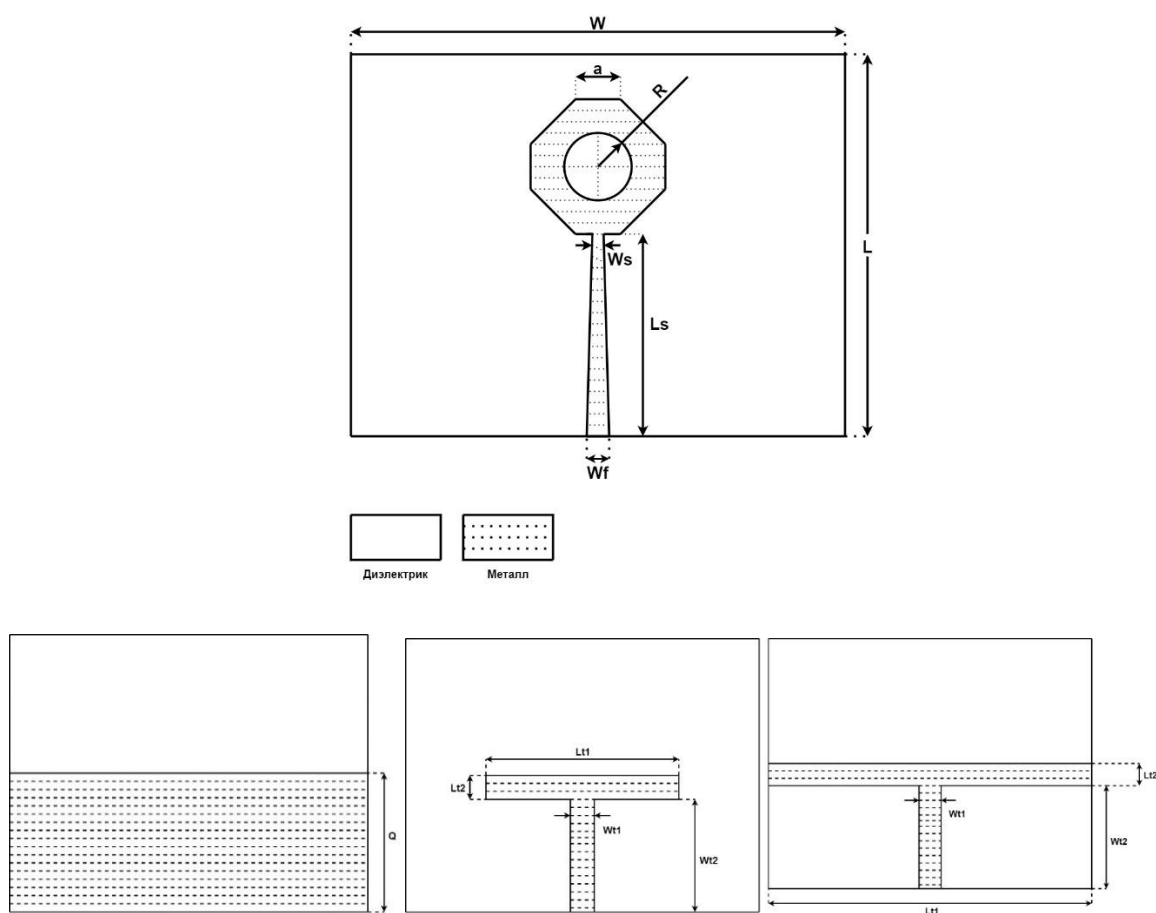


Рис.1. Конструкции исследуемых антенн:

а) – верхняя часть антенны для всех моделей 1-4; б) – модель 2, в) – модель 3, с) – модель 4

Рассмотрены четыре варианта антенн (рис.1): заземляющая поверхность цельнометаллическая и занимает всю площадь на обратной стороне антенны (модель 1), заземляющая металлическая поверхность занимает

половину обратной стороны подложки (модель 2, рис. 1, б), заземляющая поверхность Т-образной формы с различными длинами плеч (модель 3: рис.1, в, модель 4: рис.1, с).

На рис.2 - 4 представлены частотные зависимости коэффициента отражения S_{11} , КСВ и коэффициента усиления для антенн с различной формой заземляющей поверхности.

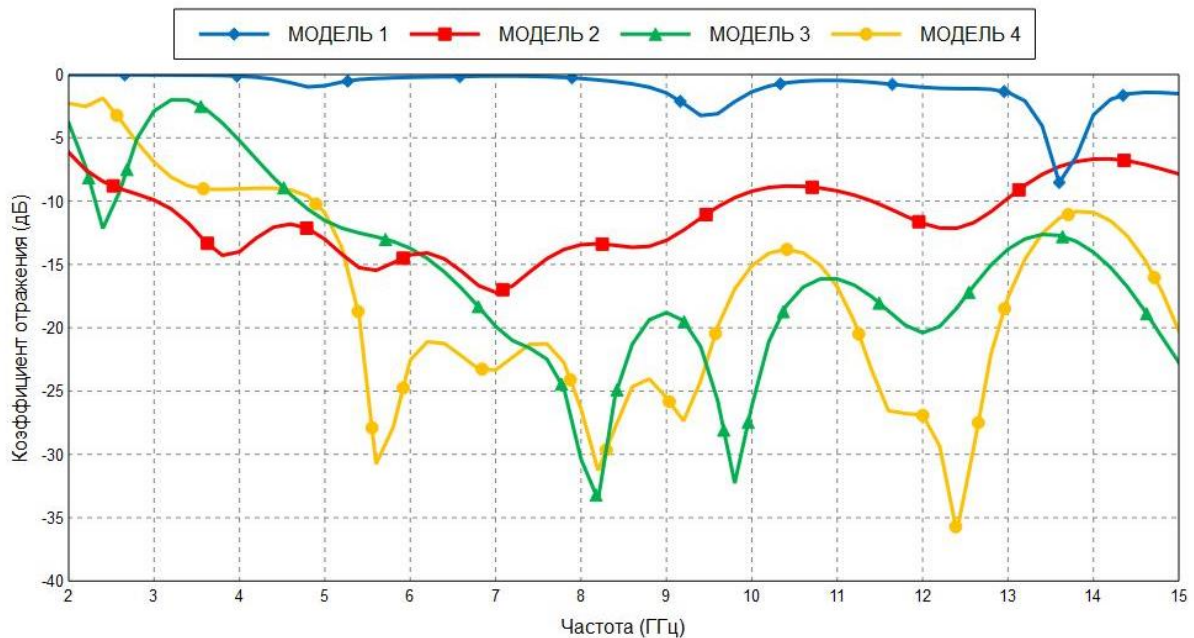


Рис.2. Частотная зависимость коэффициента отражения для антенн с различной формой заземляющей поверхности

Как видно из представленных зависимостей коэффициент отражения для антенны с полностью металлизированной заземляющей поверхностью (модель 1) во всем исследуемом диапазоне неизменно высокий, наименьшие значения для коэффициента отражения около -8дБ (КСВ близко к 2,2) достигается в области 13,6 ГГц. Переход к заземлению составляющей половину площади подложки (модель 2) существенно снижает коэффициент отражения и области от 3 ГГц до 9,7 ГГц и 11,3 ГГц до 13 ГГц не превышает -10 дБ, что соответствует $КСВ \leq 2$.

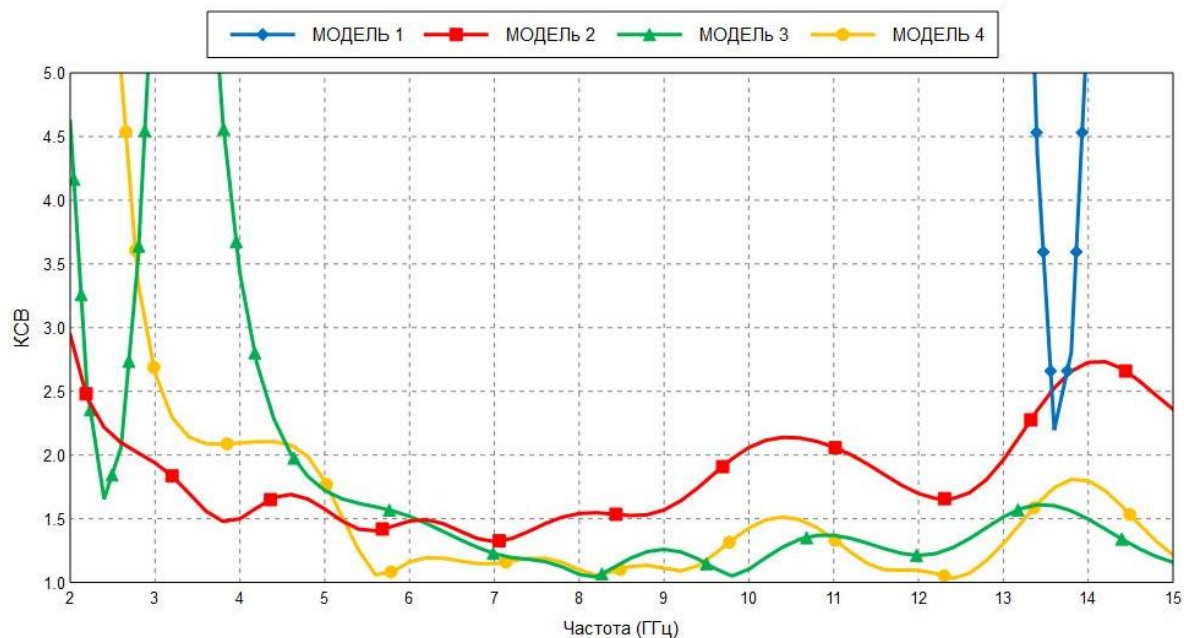


Рис.3. Частотная зависимость коэффициента стоячей волны для антенн с различной формой заземляющей поверхности

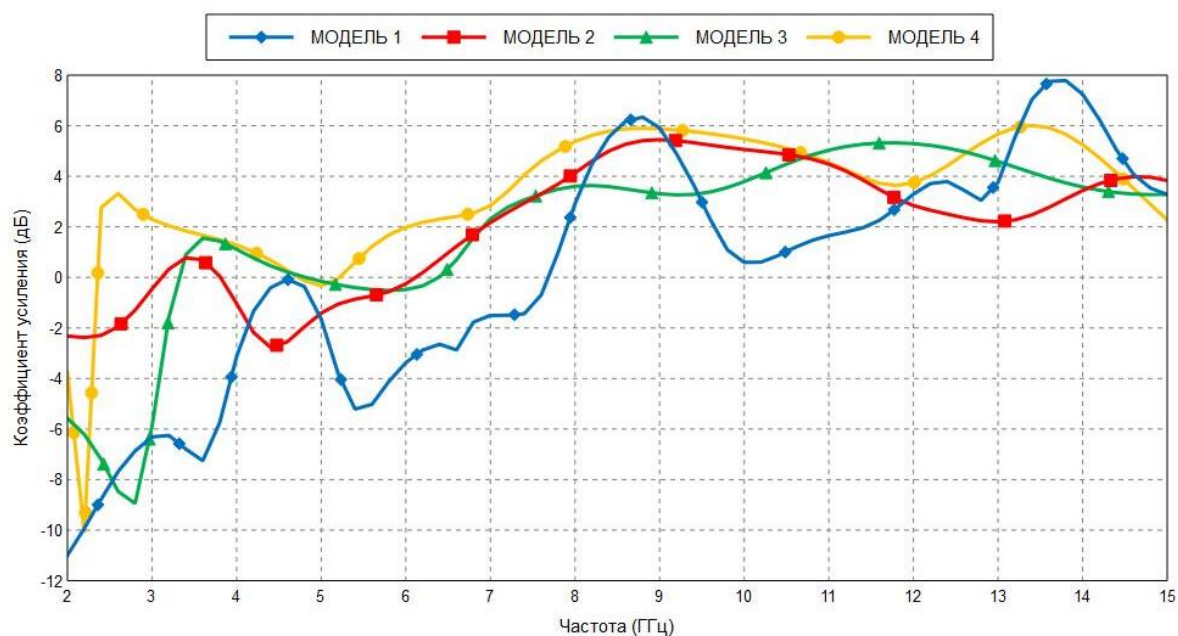


Рис.4. Частотная зависимость коэффициента усиления для антенн с различной формой заземляющей поверхности

Динамический диапазон изменения коэффициента усиления антенны составляет для модели 1 от -6 дБ до 8 дБ при изменении частоты от 3 ГГц до 15 ГГц, а для модели 2 - -2 дБ до 6 дБ. Таким образом даже при таком изменении конфигурации подложки наблюдается существенное расширение

рабочего диапазона частот для исследуемой антенны, кроме того, выравнивается коэффициент усиления в диапазоне частот.

Усложнение формы подложки, а именно переход к подложке Т-образной формы (модель 3, 4) приводит более равномерному КСВ в диапазоне частот, при этом в области частот от 6 ГГц до 15 ГГц КСВ не превышает 1,5. Следует также отметить, что переход к такой форме подложки приводит к формированию частотном диапазоне областей запираания (при которых КСВ существенно возрастает), для модели 3 от 2,6 ГГц до 4,6 ГГц наблюдается существенный рост КСВ ($\text{КСВ} > 2$). С увеличением длины плеча область запираания смещается в сторону уменьшения частот и для данной антенны составляет область 2 – 3 ГГц.

Выводы

Таким образом показано, что форма подложки существенно влияет на динамический диапазон работы антенны, переход к более сложным конфигурациям подложки не только позволяет расширить рабочий диапазон антенны, но и формировать области запираания антенны. В данном случае формируется одна область запираания, место положения которой зависит от длины плеча подложки Т-образной формы.

Для реализации многополосного запираания необходимо вводить в конструкцию дополнительные элементы (щели, резонаторы, метаматериал [5-10]), размещающиеся непосредственно на излучателе или на подложке, настроенные на другие диапазоны частот.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кляп В.В., Кисель Н.Н.* Теоретические и экспериментальные методы исследования печатных щелевых антенн при импульсном возбуждении (обзор работ)//В сборнике: Рассеяние электромагнитных волн. Межведомственный тематический научный сборник/ Таганрог: Изд-во ТРТУ , 2006. С. 96-104.
2. *Кисель Н.Н.* Моделирование прикладных задач электродинамики и антенн на супервычислительной системе в пакете FEKO/ Таганрог: Изд-во ИТА ЮФУ, 2013.
3. *Кисель Н.Н.* Электродинамическое моделирование антенн и устройств свч в пакете FEKO. Учебное пособие / Таганрог: Изд-во ТРТИУ, 2010.
4. *Кисель Н.Н.* Основы компьютерного проектирования РЭС САПР СВЧ//учебное пособие / Таганрог, 2016.

5. *Кисель Н.Н., Грищенко С.Г., Челобитчиков М.О.* Исследование характеристик микрополосковой антенны на подложке с неоднородным заполнением//В сборнике: Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2014: Оптические технологии в телекоммуникациях ОТТ-2014. Материалы Международных научно-технических конференций. 2014. С. 54-55.
6. *Мусаев М.М.О., Кисель Н.Н.* Исследование характеристик антенны на основе метаматериала//Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 6 (191). С. 249-258.
7. *Ваганов И.А., Ваганова А.А., Кисель Н.Н.* Моделирование характеристик микрополосковой антенны на основе метаматериала со структурой PBG// В сборнике: Проблемы современной системотехники. Сборник научных статей. Министерство образования и науки РФ, Южный федеральный университет, Институт радиотехнических систем и управления. Таганрог, 2019. С. 137-142.
8. *Абдо Махьюб Х.Е., Кисель Н.Н.* оценка эффективности применения метаматериала в разработках микрополосковых антенн на основе LTCC-технологии//Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 3 (205). С. 179-190.
9. *Абдо Махьюб Х.Е., Кисель Н.Н.* Исследование характеристик микрополосковой антенны с управляемым метаматериалом//Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 3 (205). С. 190-198.
10. *Kisel N.N., Cheremisov V.A., Derachitc D.S.* The modeling of characteristics of the patch antenna with non-uniform substrate metamaterial//В сборнике: Proceedings of 2016 IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTS 2016. Yerevan, 2017. С. 7807718.

Дзущев Роман Константинович, магистрант Института радиотехнических систем и управления, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: dzucev@sfedu.ru.

Кисель Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры антенн и радиопередающих устройств Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский, 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: nnkisel@sfedu.ru.

Dzucev Roman Konstantinovich, magistant Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky street, 44, 347900, phone: +7 (8634) 37-16-34, : dzucev@sfnedu.ru.

Kisel Natalya Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Antennas and Radio Transmitting Devices of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky street, 44, 347900, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: nnkisel@sfnedu.ru.

УДК 519.688

Цветков Федор Алексеевич, Михайловский Виталий Алексеевич,
Васильев Василий Васильевич

ОБ ОПЫТЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ OFDM-СИГНАЛА НА LABVIEW

В докладе показывается, как с помощью программы на языке LabVIEW смоделировать OFDM-сигнал как последовательность OFDM-символов. Моделирование OFDM-символа предусматривает следующую последовательность его элементов: пауза, защитный интервал, префикс, информационный интервал, защитный интервал и пауза. Результаты моделирования проиллюстрированы спектральными и временными диаграммами в ключевых точках модели.

Моделирование, OFDM-сигнал, пауза, защитный интервал, префикс, информационный интервал, LabVIEW.

Tsvetkov Fedor Alekseevich, Mikhailovsky Vitaly Alekseevich,
Vasiliev Vasily Vasilyevich

ABOUT THE EXPERIENCE OF MODELING OFDM SIGNAL ON LABVIEW

The report shows how to use a LabVIEW program to simulate an OFDM signal as a sequence of OFDM symbols.

Modeling of the OFDM symbol provides the following sequence of its elements: pause, guard interval, prefix, information interval, guard interval and pause. The simulation results are illustrated by spectral and time diagrams at key points of the model.

Modeling, OFDM signal, pause, guard interval, prefix, information interval, LabVIEW.

Введение

При передаче цифровых данных в коротковолновом диапазоне радиоволн существенное влияние имеет многопутный характер распространения радиоволн. В такой ситуации оправданным является использование OFDM-сигналов, для определения параметров которых используется численное моделирование. Обычно данные передаются последовательностью OFDM-символов, каждый из которых переносит часть данных. При разработке программы моделирования канала передачи данных целесообразно формирование OFDM-символа выделить в отдельную подпрограмму, последовательный вызов которой позволит создать модель последовательности OFDM-символов, т.е. OFDM-сигнал. В данной работе создавалась подпрограмма формирования OFDM-символа на языке LabVIEW с большими диапазонами изменения его параметров.

Основная часть

На рис. 1 показана временная структура моделируемого OFDM-символа.

Основой символа является информационный интервал T_u , содержащий сумму ортогональных информационных поднесущих с передаваемыми данными и пилот-тонов. Конечная часть информационного интервала дублируется в виде префикса T_g , пристыкованного к началу информационного интервала. Начальная часть информационного интервала дублируется в виде защитного интервала T_z , пристыкованного к концу информационного интервала. Для уменьшения боковых лепестков в спектре сигнала данные в защитном интервале и в начале префикса модулируются по амплитуде (чаще всего используется временное окно «приподнятый косинус»).

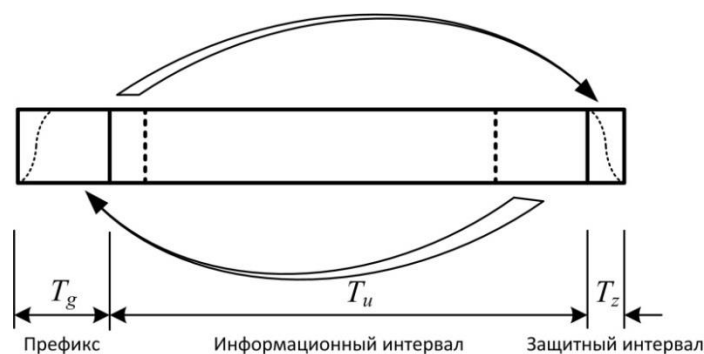


Рис. 1. Временная структура OFDM-символа

В основной моделирующей программе при создании типовой последовательности OFDM-символов предыдущий и последующий OFDM-

символы должны не просто пристыковываться один к другому, а начало префикса последующего символа должно суммироваться с защитным интервалом предыдущего символа так, как показано на рис. 2. Это обеспечивает «мягкое» включение и выключение последовательности символов и сокращает общую длительность неизбежных переходных процессов в частотных фильтрах тракта передачи, укорачивающих префикс (длительность защитного интервала обычно берется равной длительности этих переходных процессов).

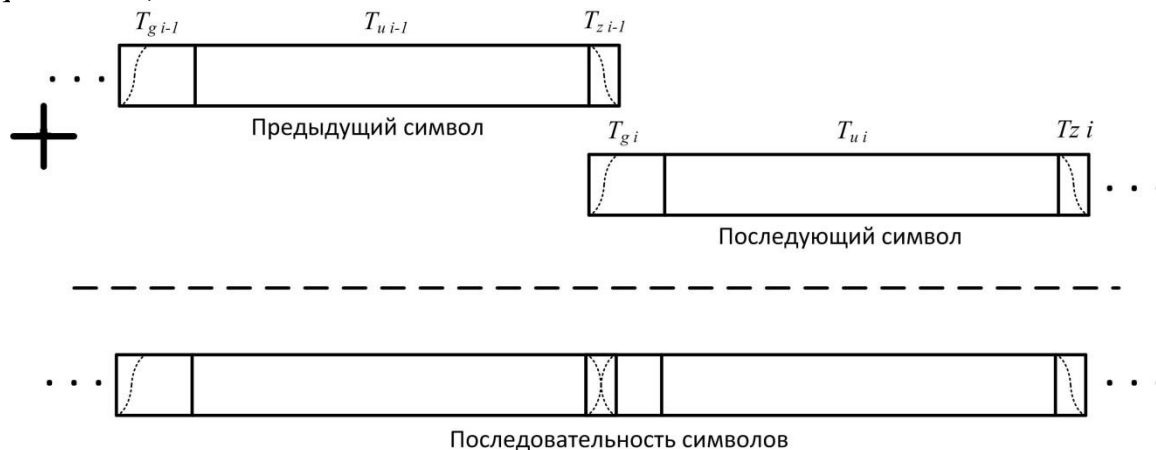


Рис. 2. Временная структура OFDM-сигнала

Возможен и частный случай, когда предыдущий и последующий OFDM-символы «стыкуются» без наложения защитного интервала предыдущего символа на префикс последующего символа; зазор между ними задается параметром T_p (пауза). Временная структура последовательности OFDM-символов в этом случае показана на рис. 3.

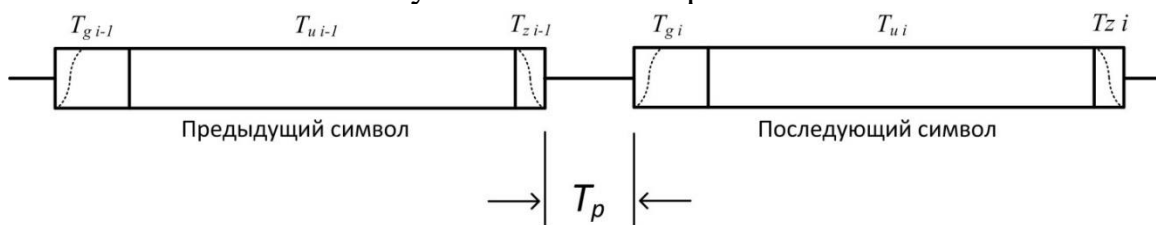


Рис. 3. Временная структура OFDM-сигнала с паузами

Для построения программы, моделирующей весь тракт передачи OFDM-сигнала, была разработана на языке LabVIEW подпрограмма «OFDM» формирования одиночного OFDM-символа по рис. 1 с возможностью добавления в его начало и конец паузы по рис. 3. Если необходимо создавать сигнал по рис. 2, то длительность паузы нужно задать равной 0, а

суммирование сигналов защитного интервала и начальной части префикса следующего символа делать отдельно, вне разработанной подпрограммы.

В тексте основной программы подпрограмма «OFDM» имеет вид, показанный на рис. 4 с обозначенными входами и выходами.



Рис. 4. Подпрограмма OFDM с входами-выходами

Подпрограмма «OFDM» формирует комплексный (квадратурный) сигнал в полосе частот от $-0,5 \cdot F_{OFDM}$ до $+0,5 \cdot F_{OFDM}$, где F_{OFDM} – полоса частот OFDM-символа. Эта полоса частот рассчитывается по задаваемым подпрограмме параметрам.

Входы:

Амплитуды пилот-тонов – массив комплексных амплитуд, каждому пилот-тону амплитуда и фаза могут быть заданы индивидуально;

BPSK и **QPSK** – массивы комплексных амплитуд информационных поднесущих, соответствующие передаваемым числам «0» и «1» (BPSK) или числам «0», «1», «2» и «3» (QPSK);

Массив передав чисел – массив вещественных передаваемых чисел, количество которых должно быть четным и равно количеству информационных поднесущих;

Модуляция – управляющая константа: 0 – BPSK, 1 – QPSK;

Размер ОБПФ, ед – длина массива комплексных спектральных составляющих, к которому применяется обратное дискретное преобразование Фурье;

Fдискр, Гц – частота дискретизации выходного комплексного колебания OFDM-символа;

Колич информац поднесущих – количество ортогональных поднесущих (должно быть четным числом), каждая поднесущая переносит одно число из массива передаваемых чисел: первое число массива передается

поднесущей с максимальной (по модулю) отрицательной частотой, последнее число – поднесущей с максимальной положительной частотой; поднесущая с частотой 0 отсутствует (должна иметь амплитуду 0 – задается в массиве «Амплитуды пилот-тонов»);

Количество пилот-тонов – должно быть четным числом; подпрограмма самостоятельно вставляет пилот-тоны среди поднесущих распределяя их равномерно;

Ng, Кол отсч в префиксе – количество временных отсчетов в префиксе OFDM-символа;

Nz, Кол отсч в защ интервале – количество временных отсчетов в защитном интервале OFDM-символа;

Np, Кол отсч в паузе – количество временных отсчетов в паузе между OFDM-символами;

Пауза и префикс – управляющая константа, определяющая структуру формируемого OFDM-символа и выбираемая из перечня:

«0» – «Пауза+ преф со сглаж» (OFDM-символ имеет структуру по рисунку 3);

«1» – «Пауза+ преф без сгл» (OFDM-символ имеет структуру по рисунку 3, но без защитного интервала и косинусного сглаживания начала префикса);

«2» – «Пауза» (OFDM-символ имеет структуру по рисунку 3, но без защитного интервала и префикса, т.е. «пауза – информационный интервал»);

«3» – «Пауза+ преф со сглаж» (OFDM-символ имеет структуру по рисунку 3);

Выходы:

Полоса частот OFDM-символа, Гц – полоса частот формируемого OFDM-символа; рассчитывается подпрограммой по формуле

Частота дискретизации * Общее колич поднесущих / Размер ОБПФ, ед;

Смещение спектра перед ОБПФ – служебная переменная, показывающая величину смещения формируемого спектра поднесущих с пилот-тонами по оси частот, при котором составляющая «несущая» получила частоту 0;

Выход OFDM – массив комплексных отсчетов сформированного OFDM-символа;

Индексы пилот-тонов и несущей – служебный массив для контроля;

Окно-конец и Окно-начало – служебные массивы для контроля;

Длит паузы, с, **Длит защитн интервала, с** **Длит префикса, с**, – **Длит OFDM-символа, с** – служебные данные для контроля параметров формируемого символа;

Колич отсч в OFDM-символе – количество временных отсчетов в сформированном OFDM-символе;

Длит ядра, с – длительность информационного интервала в сформированном OFDM-символе;

Общее колич поднесущих – рассчитывается подпрограммой по формуле

$$\text{Размер ОБПФ, ед} + \text{Количество пилот-тонов} + N_g + N_z + N_p + 1.$$

Функциональная диаграмма подпрограммы «OFDM» показана на рисунке 5.

Для частного случая значений параметров получаемые спектральные и временные диаграммы показаны на рис. 6, 7, 8 и 9:

- структура – «Пауза+ преф со сглаж»;
- размер ОБПФ = 256; $N_g = 48$; $N_z = 8$; $N_p = 60$;
- $F_{\text{дискр}} = 8$ кГц;
- модуляция – «QPSK»

Из рис. 6 видна структура формируемого амплитудного спектра ядра OFDM-символа: видны 8 пилот-тонов с амплитудой 2 В, один тон – «несущая» с амплитудой 0 В; остальные спектральные составляющие – информационные (все они имеют амплитуду 1,414 В, но разную фазу в зависимости от передаваемого числа). При этом этот спектр уже смещен по горизонтали так, что номер частотной точки «несущей» равен 128 и ОБПФ с параметром $\text{Shift} = \text{true}$ будет интерпретировать ее как частоту 0.

На рис. 7 показана временная диаграмма комплексного колебания «ядра» OFDM-символа – обратного преобразования Фурье спектра по рисунку 6. Количество точек временной диаграммы равно размеру ОБПФ.

На рис. 8 показана временная диаграмма комплексного колебания сформированного OFDM-символа, имеющего структуру: пауза (30 отсчетов), префикс (48 отсчетов) со сглаженным началом (первые 8 отсчетов), ядро (256 отсчетов), сглаженный защитный интервал (8 отсчетов) и пауза (30 отсчетов).

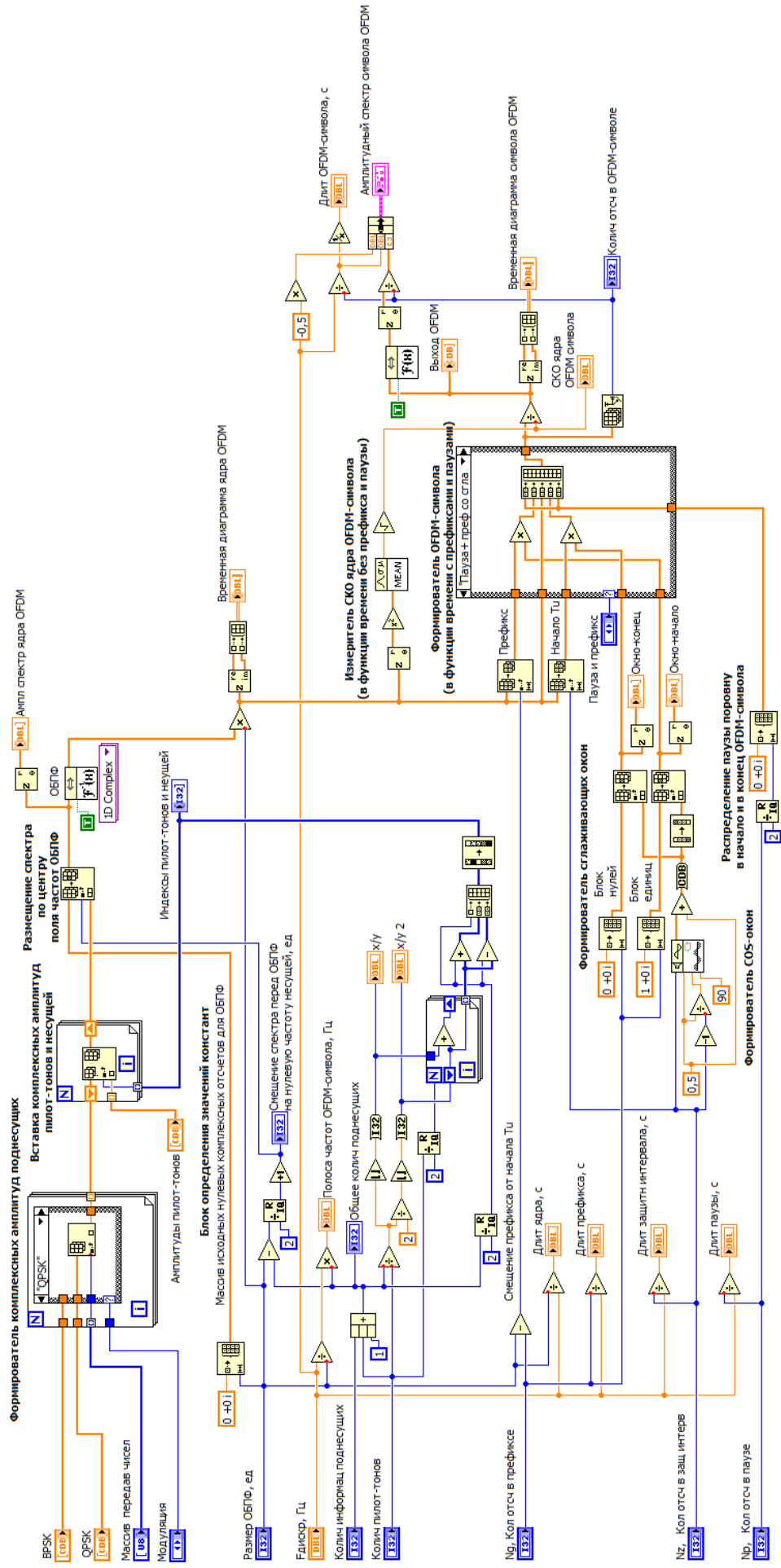


Рис. 5. Функциональная диаграмма подпрограммы «OFDM»

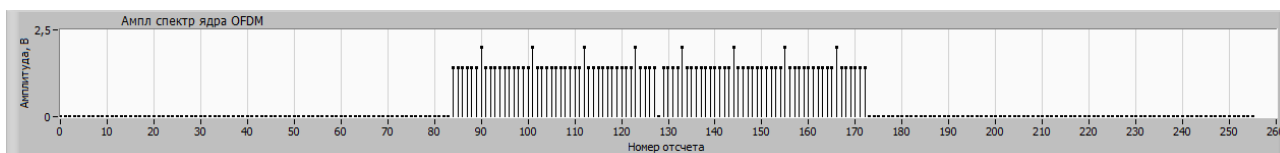


Рис. 6. Амплитудный спектр ядра OFDM

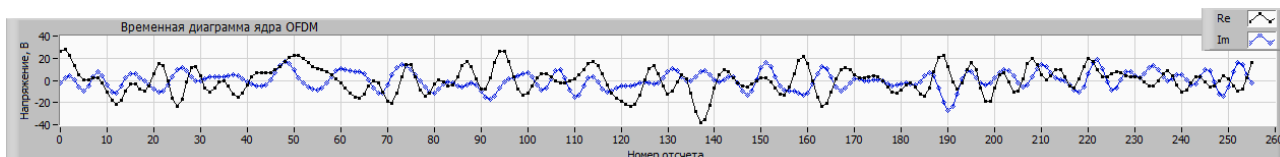


Рис. 7. Временная диаграмма ядра OFDM

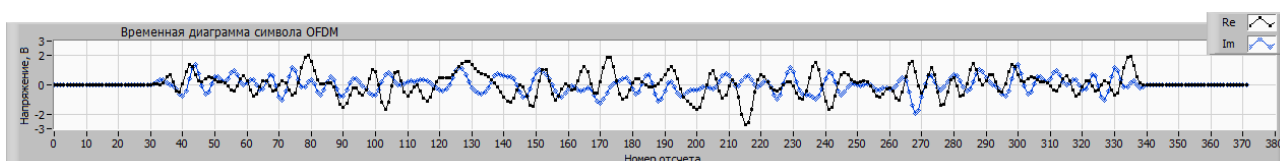


Рис. 8. Временная диаграмма OFDM-символа

На рис. 9 показан амплитудный спектр комплексного колебания сформированного OFDM-символа. Видно, что из-за добавления к ядру префикса, защитного интервала и паузы структура спектра существенно отличается от спектра по рис. 6. Чтобы уменьшить уровень внеполосных излучений в передающем устройстве сформированный сигнал пропускают через полосу фильтр с полосой пропускания (в этом частном случае) ориентировочно от -1,5 кГц до +1,5 кГц.

Для передачи по радиоканалу сформированный OFDM-символ нужно проинтерполировать (повысить частоту дискретизации), квадратурным преобразователем частоты увеличить частоту несущей, одну из составляющих сигнала (обычно Re) пропустить через ЦАП и выдать на выходной усилитель передатчика.

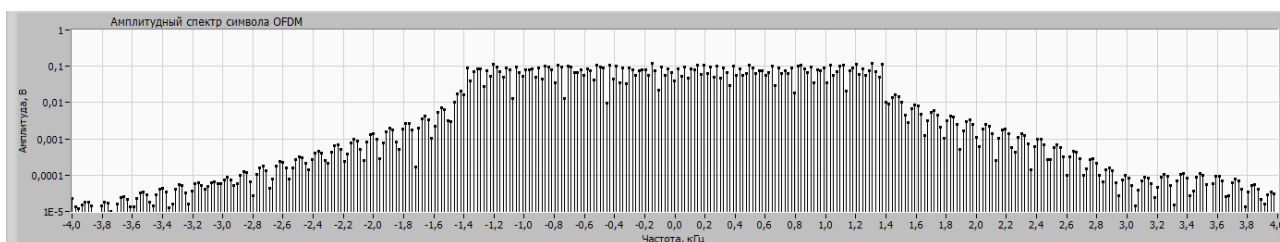


Рис. 9. Амплитудный спектр OFDM-символа

Выводы

В работе описана разработанная на языке LabVIEW подпрограмма формирования OFDM-символа, даются пояснения по структуре формируемого сигнала и входных и выходных параметрах подпрограммы. Приведены спектральные и временные диаграммы формируемого комплексного OFDM-символа.

1. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

2. *Прокис Джон*. Цифровая связь. Пер. с англ. /Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь. 2000. – 800 с.: ил.
3. *Скляр Бернард*. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1104 с. : ил. – Парал. тит. англ.
4. *Дворкович В.П., Дворкович А.В.* Теория, практика и метрология аудиовизуальных систем. – М.: Техносфера, 2019. – по 1396 с.: ил. В 2-х книгах.
5. *Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Шлома А.М., Шумов А.П.* Технология OFDM. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 352 с., ил.

Цветков Фёдор Алексеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ИРТСУ, доцент кафедры ТОР ИРТСУ, Россия, г.Таганрог, ул. Энгельса, 1, 347900, телефон: +7-928-139-58-99, email: facvetkov@sfedu.ru.

Михайловский Виталий Алексеевич, директор ООО «Эксперт Групп», Россия, город Таганрог, ул. 347927, Ростовская область, г.о. г.Таганрог, г. Таганрог, ул. Поляковское Шоссе, д. 16-3, помещ. 408, телефон: +7-928-901-85-78, email: vitally@sunsdr.com.

Васильев Василий Васильевич, исполнительный директор ООО «Ратем», Россия, г. Таганрог, ул. 347927, Ростовская область, г.о. город Таганрог, г. Таганрог, ул. Поляковское Шоссе, д. 16-3, помещ. 408, телефон: +7-928-777-70-68, email: vasily@sunsdr.com..

Tsvetkov Fedor Alekseevich, Candidate of Technical Sciences, Leading researcher of RTSU, Associate Professor of the Department of TOP IRSU, Russia, Taganrog, Engels str., 1, 347900, phone: +7-928-139-58-99, email address: facvetkov@sfedu.ru.

Mikhailovsky Vitaly Alekseevich, Director of Expert Group LLC, Russia, Taganrog city, 347927, Rostov region, Taganrog city, Taganrog, Polyakovskoe Shosse str., 16-3, room 408, phone: +7-928-901-85-78, email address: vitally@sunsdr.com..

Vasiliev Vasily Vasilyevich, Executive Director of LLC "Ratem", Russia, Taganrog city, 347927 str., Rostov region, Taganrog city, Taganrog, Polyakovskoe Shosse str., 16-3, room 408, phone: +7-928-777-70-68, email address: vasily@sunsdr.com.

УДК 621.396

Рыбаков Дмитрий Григорьевич, Беликов Андрей Николаевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОННОМ МОДУЛЕ УПРАВЛЕНИЯ «УМНЫМ» ДОМОМ

В работе приведены результаты частотного анализа печатной платы модуля управления «умным» домом. Эксперименты проводились в программной среде SolidWorks Simulation. Для выполнения исследований была разработана трехмерная модель печатной платы устройства в программе SolidWorks с установленными на нее упрощенными моделями компонентов. В ходе исследования выполнен частотный анализ печатной платы, определены собственные частоты конструкции.

Модуль управления, «умный» дом, исследование.

Rybakov Dmitry Grygorievich, Belikov Andrey Nikolaevich

MODELING OF PHYSICAL PROCESSES IN THE «SMART» HOUSE CONTROL MODULE

The paper presents the results of frequency analysis of printed circuit board of the «smart» house control module. The experiments were carried out in the SolidWorks Simulation software environment. To perform research, a three-dimensional model of the device's printed circuit board was developed in the SolidWorks program with simplified models of components installed on it. In the course of the study a frequency analysis of the printed circuit board was performed, natural frequencies of design were determined.

Control module, «smart» house, research.

Введение

Моделирование является эффективным инструментом для достижения целей проектирования, позволяя тестировать проектные решения без больших затрат. В частности, компьютерное моделирование имеет множество преимуществ при разработке радиоэлектронной аппаратуры, благодаря разнообразию программных продуктов, предназначенных для создания и работы с моделями. Оно может помочь инженерам визуализировать влияние параметров на результат, систематизировать их и дать точную оценку [1-4].

Целью работы является осуществление моделирования физических процессов, протекающих в модуле управления «умным» домом на примере частотного анализа. Для получения результатов моделирования и дальнейшего анализа, автором были проведен следующий эксперимент:

- частотный анализ печатной платы модуля управления «умным» домом и определение собственных частот конструкции.

Основная часть

В работе рассматривается печатная плата модуля управления «умным домом» на базе микроконтроллера *ATmega32A-AU*. Данное устройство предназначено для включения и выключения света, регулировки яркости освещения. Схема электрическая принципиальная взята из журнала «Радио» номер 1 за 2020 год [5, с 45-49].

Для того, чтобы спроектировать выбранное устройство, сначала необходимо найти техническую документацию (*datasheets*) на все элементы печатной платы. После по геометрическим параметрам необходимо сконструировать упрощенные модели корпусов элементов и осуществить дальнейшую сборку компонентов в программе *SolidWorks*. Для этого нужно создать документ, вставить все элементы, входящие в состав проектируемого устройства, расположить их на печатной плате и задать условия сопряжения. Это делается для того, чтобы электронные компоненты были привязаны к печатной плате. В противном случае, исследование будет неверным ввиду того, что элементы будут «висеть в воздухе», не будут зафиксированными. В работе осуществлялись условия сопряжения по трем точкам. Далее нужно проверить печатную плату на наличие явления интерференции и только после этих действий можно приступать к моделированию физических процессов, происходящих в проектируемом устройстве. Печатная плата с установленными на нее компонентами, спроектированная в программе *SolidWorks*, представлена на рис.1.

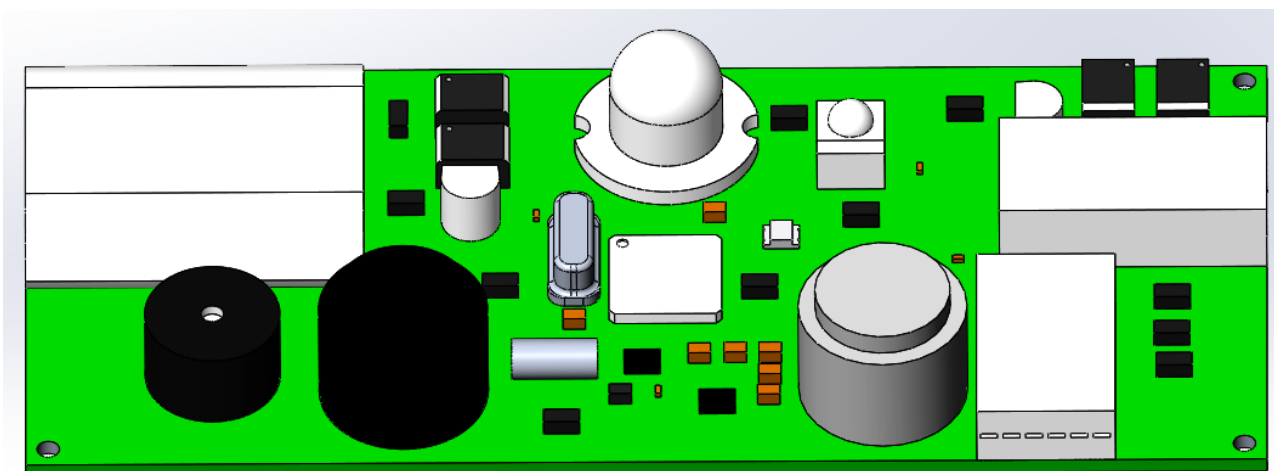


Рис. 1. Трехмерная модель печатной платы

Для возможности создания сетки и уменьшения времени расчёта процессов, модели были упрощены. Были удалены некоторые мелкие детали (*SMD* компоненты в корпусе 0402, 0603, 0804 и 1206), выводы некоторых электролитических конденсаторов и транзисторов. Упрощены мелкие вырезы и пазы на всех элементах. Данные изменения существенно на результаты моделирования не повлияют [6]

При создании печатной платы было использовано основание размером $100 \times 50 \times 1,5$ мм. В качестве материала основания был выбран стеклотекстолит *FR-4*. Соотношение сторон основания 2:1. Все крупногабаритные элементы были размещены на краях основания, главные функциональные компоненты – ближе друг к другу в центре. Крепежные отверстия под винты расположены по углам печатной платы.

Исходными данными для выполнения частотного анализа являются:

- геометрические размеры печатной платы: $100 \times 50 \times 1,5$ мм;
- диапазон частот, в которых будут исследоваться печатные платы;
- материалы, их свойства и к каким компонентам они применяются.
- способ закрепления печатной платы (по четырем отверстиям);

Исследуемое устройство описывается стандартом ГОСТ 24.104-85 «Автоматизированные системы управления» [7], но поскольку данный ГОСТ не устанавливает значения дестабилизирующих факторов для вибрации и механических ударов, в качестве определения значений данных параметров будут использованы значения воздействующих факторов для наземных РЭС, к классу которым относится проектируемое устройство. Диапазон

влияющих частот для наземных РЭС составляет 10-70 Гц [8]. Данные по материалам, взятые из программы *SolidWorks*, представлены в таблице 1 [9].

Таблица 1

Материалы, используемые для элементов ПП [9]

Материал	Свойства	Компоненты
Сплав алюминия 1060	Модуль упругости: $6,9\text{e}+10 \text{ Н/м}^2$ Коэффициент Пуассона: 0,33 Модуль сдвига: $2,7\text{e}+10 \text{ Н/м}^2$ Массовая плотность: 2700 кг/м^3	Кварцевый резонатор, диод
Стеклотекстолит <i>FR4</i>	Модуль упругости: $3,02\text{e}+10 \text{ Н/м}^2$ Коэффициент Пуассона: 0,22 Модуль сдвига: $3,2\text{e}+8 \text{ Н/м}^2$ Массовая плотность: 1900 кг/м^3	Печатная плата
Керамика фарфор	Модуль упругости: $2,2\text{e}+11 \text{ Н/м}^2$ Коэффициент Пуассона: 0,22 Модуль сдвига: $9,04\text{e}+10 \text{ Н/м}^2$ Массовая плотность: 2300 кг/м^3	Конденсаторы, предохранитель
<i>ABS</i>	Модуль упругости: $2\text{e}+9 \text{ Н/м}^2$ Коэффициент Пуассона: 0,394 Модуль сдвига: $3,2\text{e}+8 \text{ Н/м}^2$ Массовая плотность: 1020 кг/м^3	Датчики, кнопки, резисторы, разъемы, оптроны, транзисторы, микроконтроллер, пьезоизлучатель, светодиод
Медь	Модуль упругости: $1,1\text{e}+11 \text{ Н/м}^2$ Коэффициент Пуассона: 0,37 Модуль сдвига: $4\text{e}+10 \text{ Н/м}^2$ Массовая плотность: 8900 кг/м^3	Катушки индуктивности

Для моделирования механических процессов в *SolidWorks* используется добавление *SolidWorks Simulation*. Для начала моделирования собственных частот печатной платы создаётся частотное исследование. Далее в дереве исследования для каждого компонента задаётся материал. После через граничные условия необходимо имитировать фиксирование платы в корпусе винтами (для этого на печатной плате сделаны четыре отверстия по 3 мм каждое). Для этого задаётся крепление «Зафиксированная геометрия», которое ограничит перемещение платы. Фиксирование отверстий нужно

применять к их граням. Данные условия имитируют крепления платы к корпусу четырьмя винтами.

После задания граничных условий необходимо сгенерировать сетку. Для этого в дереве исследования нужно нажать ПКМ на сетку и выбрать «Создать сетку». После в менеджере свойств задать плотность сетки через ползунок или вручную через параметры и запустить построение сетки для моделирования [10].

Далее нажимаем ПКМ на исследование и нажимаем выполнить. По окончании анализа программа выдаст значения резонансных частот (рис. 2) .

Название исследования: Частота 3		
Режим No.	Частотный(Рад/сек)	Частотный(Герц)
1	2 602,7	414,23
2	6 979,9	1 110,9
3	7 244,9	1 153,1
4	12 360	1 967,1
5	13 972	2 223,8

Рис. 2. Список резонансных частот

Наиболее значимой частотой является первая, так как она является минимальной. На рис. 3 представлены результаты моделирования частотного анализа, изображена деформация печатной платы.

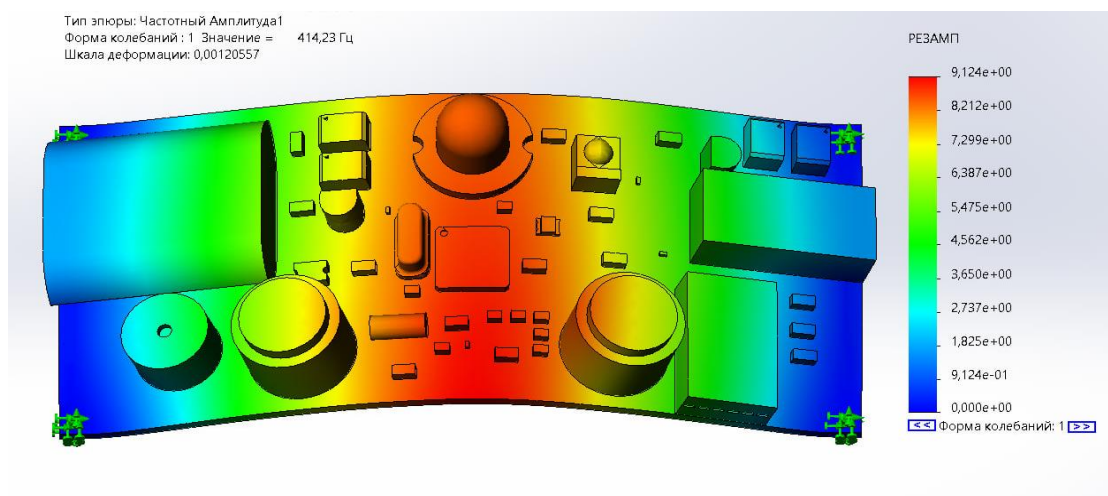


Рис. 3. Результат моделирования собственной частоты конструкции

Из рисунка видно, что значение частоты составляет 414 Гц, что является приемлемым результатом, так как значение конкретной резонансной частоты не попадает в диапазон от 10 до 70 Гц и значительно превышает эти значения.

Выводы

В результате выполнения работы было выполнено моделирование физических процессов, протекающих в модуле управления «умным домом» на примере частотного анализа. Была получена собственная (резонансная) частота конструкции 414 Гц. Данное значение значительно превышает диапазон влияющих частот, поэтому устройство может использоваться на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Молодечкина Т.В.* Физические основы проектирования радиоэлектронных средств : учеб.–метод. комплекс. В 2 ч. Ч. 2 / Т.В. Молодечкина, В.Ф. Алексеев, М.О. Молодечкин. – Новополоцк : ПГУ, 2013. – 224 с.
2. Радиоэлектронная аппаратура и основы ее конструкторского проектирования : учебно-методическое пособие для студентов спец. «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС» и «Проектирование и производство РЭС» / Н. И. Каленкович [и др.]. – М. : БГУИР, 2008. – 200 с.
3. *SolidWorks u SolidWorks Simulation* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://help.solidworks.com/2013/russian/SolidWorks/cworks/c_solidworks_simulation_fundamentals.htm.
4. The impact of ESD on microcontrollers / G.A. Piskun [et al.]. Minsk: Kolorgrad, 2018. 184 p.
5. Антонов, М.С. Модернизация «умного дома» // Радио. – 2020. – №1. – С.45-49.
6. Моделирование физико-механических характеристик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studref.com/700407/tehnika/spetsializirovanye_sredstva_modelirovaniya.
7. ГОСТ 24.104-85. Автоматизированные системы управления. Общие требования. – Введ. 1987-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 11 с.
8. *Пирогова Е.В.* Проектирование и технология печатных плат: учебник / Е.В. Пирогова. – М.: Изд-во ФОРУМ, 2005. – 560 с.
9. Справка по SolidWorks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://help.solidworks.com/2022/russian/SolidWorks/cworks/c_Materials_Fundamentals.htm

10. Метод конечных элементов в САЕ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ppt-online.org/270175>.

Рыбаков Дмитрий Григорьевич, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Беларусь, город Минск, улица Петруся Бровки 6, 220089, телефон: +375 (29) 294-52-62, email: dmitry_ryb10@mail.ru.

Беликов Андрей Николаевич, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Беларусь, город Минск, улица Петруся Бровки 6, 220089, телефон: +375 (29) 510-42-19, email: andrech1406@gmail.com.

Rybakov Dmitry Grigorievich, student of BSUIR, Belarus, Minsk city, Petrusya Brovki street 6, 220089, phone: +375 (29) 294-52-62, email: dmitry_ryb10@mail.ru.

Belikov Andrey Nikolaevich, student of BSUIR, Belarus, Minsk city, Petrusya Brovki street 6, 220089, phone: +375 (29) 510-42-19, email: andrech1406@gmail.com.

УДК 621.382

Беликов Андрей Николаевич, Рыбаков Дмитрий Григорьевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ЭЛЕКТРОННОМ МОДУЛЕ ЗВУКОВОГО ПРЕДУСИЛИТЕЛЯ

Проведено моделирование тепловых процессов, протекающих в электронном модуле звукового предусилителя. Произведен анализ результатов. Установлены температуры радиоэлементов. Сделан вывод о необходимости дополнительного охлаждения.

Компьютерное моделирование, тепловые процессы, звуковой предусилитель.

Belikov Andrey Nikolaevich, Rybakov Dmitry Grygorievich

SIMULATION OF HEAT PROCESSES OCCURING IN THE ELECTRONIC MODULE OF THE AUDIO PREAMPLIFIER

The simulation of thermal processes occurring in the electronic module of the sound preamplifier has been carried out. The results were analyzed. The temperatures of radioelements are established. The conclusion about the need for additional cooling is made.

Введение

Звуковой предусилитель – это устройство, подготавливающее звуковой сигнал к подаче на оконечный усилитель (усилитель мощности). Также предусилители используются для развязки источника сигнала и усилителя мощности, с целью защиты сигнала от затухания из-за нестабильного сопротивления входного сопротивления следующего тракта.[3]

В статье представлено компьютерное моделирование тепловых процессов, протекающих в электронном модуле звукового предусилителя, результат которого дает представление о необходимости применения дополнительных систем охлаждения на теплонагруженных элементах.

Основная часть

Для выполнения моделирования тепловых процессов, проходящих в электронном модуле целесообразно выполнить следующие 6 этапов:

1. Зададим цель моделирования, достижение которой отвечает на вопрос о необходимости применения дополнительного охлаждения на теплонагруженных элементах.

2. Проведем анализ исходных данных, в частности: схему электрическую принципиальную (представлена на рис.1), используемую элементную базу [4], а также внешние температурные воздействия. Согласно ГОСТ 15150-69 в соответствии с климатическим исполнением УХЛ 4.2 предельная рабочая температура воздуха при эксплуатации устройства составляет 40°C. [5].

3. Выберем среду компьютерного моделирования тепловых процессов. В нашем случае была выбрана среда *SolidWorks Simulation*, которая отвечает всем требованиям, необходимым для эффективного и качественного проведения моделирования.[6]

4. На основании схемы электрической принципиальной построим компьютерную модель для исследования, выполняя допустимые упрощения и аппроксимации, которые облегчат расчет, но значительно не повлияют на результаты.

5. Выполним сам эксперимент. Моделирование тепловых процессов, протекающих в модуле, включает в себя: создание проекта исследования, назначение материала печатной платы и элементов, задание граничных условий (температура окружающей среды, мощность тепловыделения

элементов [7-11], теплоотдача конвекцией), построение сетки конечных элементов, расчет, получение и визуализация результатов.

6. Произведем анализ результатов моделирования.

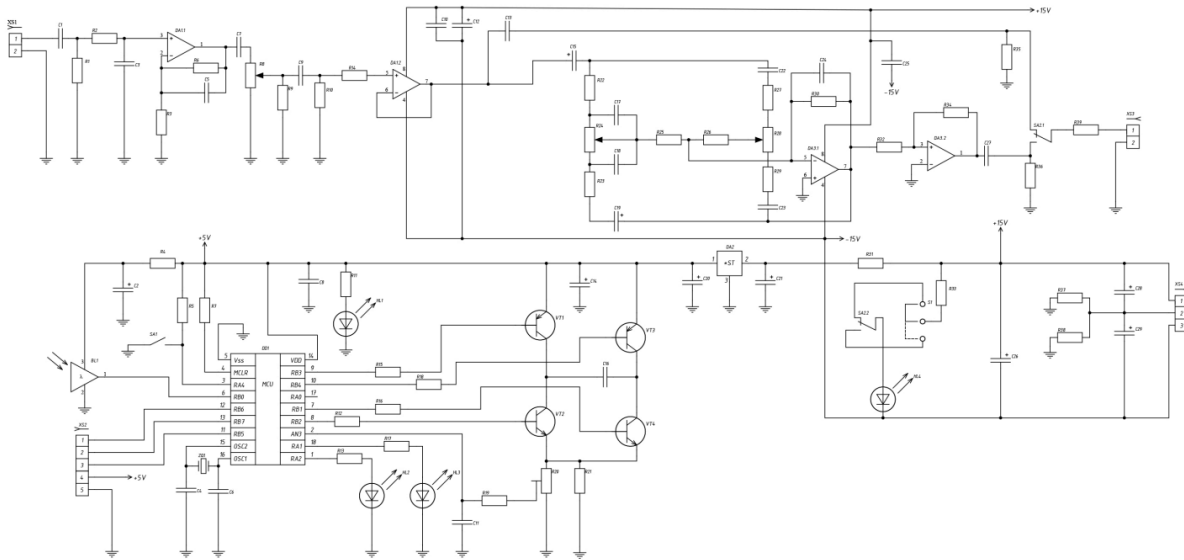


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная звукового предусилителя

В результате моделирования были получена тепловая картина нагрева электронного модуля. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

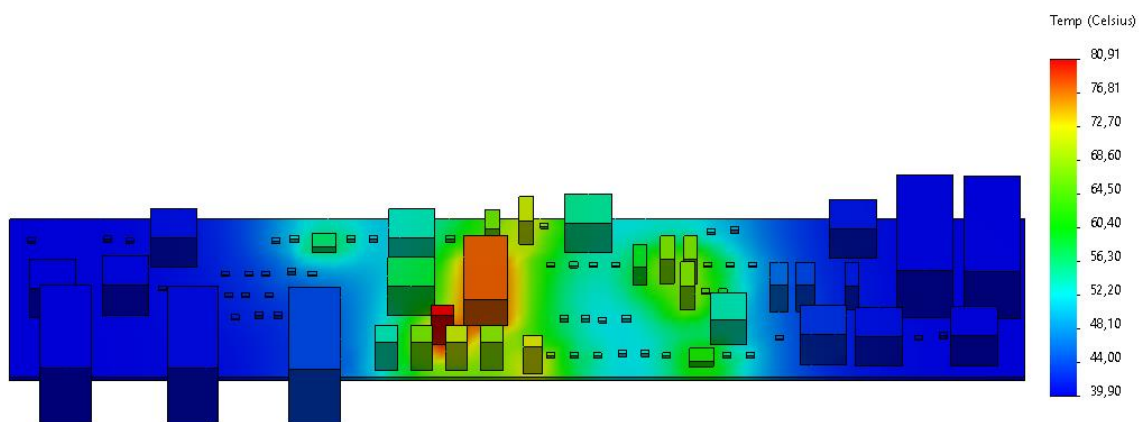


Рис. 2. Температурная картина поля лицевой стороны печатной платы

Исходя из полученных данных, максимальная температура наблюдается на стабилизаторе напряжения с мощностью тепловыделения 1 Вт, его температура составила 80,91°C. Данное значение температур для данного элемента является допустимым и значительно ниже, чем предельное, установленное производителем. Микроконтроллер, рассеиваемая мощность которого составляет 2 Вт за счет большей площади контакта с печатной платой имеет меньшую температуру равную 77,28°C, что входит в диапазон его рабочих температур. Другие, менее горячие элементы также имеют температуры значительно ниже предельных. Из этого можно сделать вывод о отсутствии необходимости применения дополнительного охлаждения для этого модуля.

Выводы

Выполнено моделирование тепловых процессов, протекающих в электронном модуле звукового предусилителя. Установлено, что максимальная температура самого теплонагруженного элемента находится в допустимых пределах. Необходимость применения дополнительного охлаждения отсутствует.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пирогова Е.В.* Проектирование и технология печатных плат: учебник / Е.В. Пирогова. – М.: Изд-во ФОРУМ, 2005. – 560 с
2. *Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В.* Методы расчета тепловых режимов прибора. Москва: Радио и связь, 1990. 312 с.
3. Предусилитель // Wikipedia [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%83%D1%81%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C> – Дата доступа: 14.05.2023
4. *Clarke J.* Ultra-low-distortion preamplifier with tone controls / J. Clarke // Practical Electronics. – 2020. – №4. – С.14–25.
5. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – Введ. 1971-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1969. – 58 с
6. Thermal Analysis with SOLIDWORKS Simulation textbook // SolidWorks [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.solidworks.com/partner->

- product/thermal-analysis-solidworks-simulation-textbook – Дата доступа: 14.05.2023
7. PIC16F87/88 Data Sheet // Microchip Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: microchip.com/downloads/en/devicedoc/30487c.pdf – Дата доступа: 14.05.2023
 8. LM833 Dual High-Speed Audio Operational Amplifier // Texas Instruments [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/gpn/lm833> – Дата доступа: 14.05.2023
 9. Positive voltage regulator L7805 // STMicroelectronics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/454/DOC012454683.pdf> – Дата доступа: 14.05.2023
 10. BC327 - Amplifiers Transistors PNP Silicon // ON Semiconductor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.on-semi.com/pdf/datasheet/bc327-d.pdf> – Дата доступа: 14.05.2023
 11. BC337 - Amplifiers Transistors NPN Silicon // ON Semiconductor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.on-semi.com/pdf/datasheet/bc337-d.pdf> – Дата доступа: 14.05.2023.

Беликов Андрей Николаевич, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Беларусь, город Минск, улица Петруся Бровки 6, 220089, телефон: +375 (29) 510-42-19, email: andrech1406@gmail.com.

Рыбаков Дмитрий Григорьевич, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Беларусь, город Минск, улица Петруся Бровки 6, 220089, телефон: +375 (29) 294-52-62, email: dmitry_ryb10@mail.ru.

Belikov Andrey Nikolaevich, student of BSUIR, Belarus, Minsk city, Petrusya Brovki street 6, 220089, phone: +375 (29) 510-42-19, email: andrech1406@gmail.com.

Rybakov Dmitry Grigorievich, student of BSUIR, Belarus, Minsk city, Petrusya Brovki street 6, 220089, phone: +375 (29) 294-52-62, email: dmitry_ryb10@mail.ru.

УДК 519.6

Макаров Анатолий Михайлович, Ермаков Александр Сергеевич

ТЕОРИЯ ОПЕРАТОРОВ МЕЛЛИНА В ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

В развитие теории и ее приложений для обработки процессов, несущих информацию важную роль сыграли интегральные преобразования. Математически интегральные преобразования осуществляют отображение пространства исходной переменной в новое пространство новой переменной, то есть осуществляют отображение множеств элементов пространства типа «много в одно». Целью работы является обоснование применения интегральных преобразований Меллина в конкретных приложениях, используемых для обработки и моделирования сигналов. Полученные в статье результаты позволяют поставить задачу создания цифровой модели реализации преобразования Меллина, как единого модуля в виде отдельной вычислительной процедуры.

Преобразования Меллина, теория операторов, цифровая обработка сигналов.

Makarov Anatoly Mikhailovich, Ermakov Alexander Sergeevich

MELLIN OPERATOR THEORY IN SIGNAL PROCESSING

Integral transformations have played an important role in the development of the theory and its applications for the processing of processes. Mathematically, integral transformations map the space of the original variable into a new space of a new variable, that is, they map the sets of elements of the space of the “many-to-one” type. The purpose of this work is to substantiate the use of Mellin integral transforms in specific applications used for processing and modeling signals. The results obtained in the article allow us to set the task of creating a digital model for the implementation of the Mellin transform, as a single module in the form of a separate computational procedure.

Mellin transformations, operator theory, digital signal processing.

Основная часть

Известно, что важную роль в различных приложениях сыграли различные интегральные преобразования, например, Фурье, Гильберта и Меллина[1,2,5,6,7].

Важную роль в теории цифрового представления информации сыграло преобразование Гильберта, позволившее распространить цифровую обработку широкополосных сигналов.

Известно применение интегрального преобразования Меллина (ПМ), обеспечивающее масштабную инвариантность порогов решающих правил к масштабным изменениям анализируемых сигналов[3,4,8,9]. Следует отметить, что преобразование Меллина уже получило отражение в качестве учебного пособия для обучения студентов.

Весьма интересно отметить применение теории интегрального преобразования Меллина в физических приложениях. Особый интерес представляет теория решения интегральных уравнений Фредгольма на основе мультипликативной характеристической функции, порождаемой интегральным преобразованием Меллина. В работе приведена основная теорема о равенстве Парсеваля, позволяющая применять интегральное преобразование Меллина в приложениях обработки сигналов. Приводится теория спектрально-корреляционного анализа случайных процессов в базисе интегрального преобразования Меллина, в частности, на ее основе доказана теорема (аналог теоремы Винера-Хинчина для преобразования Фурье), результаты которой приводят к осуществлению процедуры синтеза оптимального приемника сигналов на фоне неизвестной корреляционной функции шума. На его основе разработана функциональная структура обнаружителя сигналов на фоне гауссовых шумов с неизвестными, априори, корреляционной функцией и длительностью сигнала.

Разработана теория операторов, порождаемых сверткой Меллина, позволяющая решать широкий класс дифференциальных уравнений Фредгольма второго рода, и что особенно важно - находить пары ядер взаимно обратимых интегральных преобразований по заданному одному из ядер.

Как показывают результаты исследований, которые приведены в статье, преобразование Меллина прошло путь от математической теории до разработки ее конкретных приложений. Дальнейшие приложения отмечены в других опубликованных работах. К примеру, в [11] приведено быстрое преобразование Меллина, которое является аналогом быстрого преобразования Фурье. В этом направлении авторами статьи разработана теория параметрически периодических тригонометрически-логарифмических функций. Полученные результаты позволяют поставить задачу создания цифровой модели реализации преобразования Меллина, как единого модуля в виде отдельной вычислительной процедуры.

В работе [12] рассматриваются элементы теории вейвлет преобразования Меллина для слуховой модели акустических сигналов. В этом направлении необходимо создать математическую теорию вейвлет преобразования Меллина и расширить ее на широкий спектр информативных моделей.

Не получило дальнейшего развития операционное исчисление для параметрически изменяющихся параметров линейных цепей, изложенное в [13]. Также требует систематизации и развития теории метод дискретного представления преобразования Меллина[8].

Введение в теорию операторов, порождаемых интегральным преобразованием Меллина.

Важной особенностью ПМ является то, что следуя теореме Слейтер, интегралы, принадлежащие классу гамма-функций и гипергеометрических функций представляются в виде интегралов Меллина-Барнса, подлежат регулярному обратному преобразованию Меллина на основе регулярной теоремы Слейтер[1].

Используя результаты работ [1,2,3,4 ,8, 9, 10, 11] получены основные соотношения для операторов:

$$M(x; \nu) = \int_0^{\infty} x(t) t^{\nu-1} dt, \quad (5)$$

$$M(u; \nu) = \int_0^{\infty} u(t) t^{\nu-1} dt, \quad (6)$$

которые порождают ряд важных равенств и широко используются в дальнейших приложениях ПМ.

По аналогии с [2] рассмотрим интегральные преобразования ядер, зависящих от произведения аргументов

$$x(t) = \int_0^{\infty} u(s) \varphi(st) ds, t \geq 0, \quad (7)$$

$$u(s) = \int_0^{\infty} x(t) \theta(st) dt, s \geq 0. \quad (8)$$

Вычислим от (7) ПМ

$$M(x; \nu) = \int_0^{\infty} \left(\int_0^{\infty} u(s) \varphi(st) \right) t^{\nu-1} dt ds.$$

Сделав замену переменной $y=st$,после несложных преобразований получим

$$M(x; \nu) = \int_0^{\infty} u(s) s^{-\nu} ds \int_0^{\infty} \varphi(y) y^{\nu-1} dy = M(u; 1 - \nu) M(\varphi; \nu),$$

где

$$M(u; 1 - \nu) = \int_0^{\infty} u(s) s^{-\nu} ds \quad . \quad (9)$$

Введя в (9) новую переменную $1 - \nu = p$, получим

$$M(u; 1 - \nu) = \int_0^{\infty} u(s) s^{p-1} ds = M(u; p) \quad (10)$$

с учетом $-\nu = p - 1$ имеем равенство (9).

Из (9) и (10) следует дуальность преобразования операторов $M(.,.)$, которая сохраняет равенство

$$M(u; 1 - \nu)M(\varphi; \nu) = M(\varphi; 1 - \nu)M(u; \nu). \quad (11)$$

Это свойство дуальности в ПМ играет важную роль во многих приложениях [3,5,8].

Вычислим от (8) ПМ, аналогично вышеприведенному выводу, получим:

$$\int_0^\infty u(s)s^{\nu-1}ds = \int_0^\infty \left(\int_0^\infty x(t)\theta(st) \right) s^{\nu-1}dsdt = M(x; 1 - \nu)M(\theta; \nu). \quad (12)$$

Аналогично из свойства дуальности (11) имеем равенство

$$M(x; 1 - \nu)M(\theta; \nu) = M(\theta; 1 - \nu)M(x; \theta). \quad (13)$$

Таким образом, получаем следующие операторные равенства:

$$M(x; \nu) = M(u; 1 - \nu)M(\varphi; \nu), \quad (14)$$

$$M(x; 1 - \nu) = M(u; \nu)M(\varphi; 1 - \nu), \quad (15)$$

$$M(u; \nu) = M(x; 1 - \nu)M(\theta; \nu) \quad (16)$$

$$M(u; 1 - \nu) = M(x; \nu)M(\theta; 1 - \nu). \quad (17)$$

Далее, из (14) найдем

$$M(\varphi; \nu) = M(x; \nu)/M(u; 1 - \nu) \quad (18)$$

из (17) найдем

$$M(\theta; 1 - \nu) = M(u; 1 - \nu)/M(x; \nu). \quad (19)$$

Обобщая (18) и (19) имеем окончательно

$$M(\varphi; \nu)M(\theta; 1 - \nu) = \frac{M(x; \nu)M(u; 1 - \nu)}{M(u; 1 - \nu)M(x; \nu)} = 1. \quad (20)$$

На основе свойства дуальности равенство (20) запишется в виде

$$M(\theta; \nu)M(\varphi; 1 - \nu) = 1. \quad (21)$$

Объединяя (20) и (21), получим следующее равенство

$$\frac{M(\varphi; \nu)M(\theta; 1 - \nu)}{M(\theta; \nu)M(\varphi; 1 - \nu)} = 1. \quad (22)$$

Вводя оператор обратного преобразования Меллина

$$x(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} M(\nu)t^{-\nu}d\nu = M^{-1}(x; \nu) \quad (23)$$

из (20) имеем

$$M(\phi; \nu) = \frac{1}{M(\theta; 1 - \nu)},$$

или

$$M^{-1}(M(\varphi; \nu)) = M^{-1}(1/M(\theta; 1 - \nu)),$$

или

$$\varphi(\nu) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} \frac{t^{-\nu}}{M(\theta; 1-\nu)} d\nu. \quad (24)$$

$$\text{Аналогично для } \theta(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} \frac{t^{-\nu}}{M(\varphi; 1-\nu)} d\nu. \quad (25)$$

Спектрально-корреляционный анализ случайных процессов в базисе преобразований Меллина.

Решение задачи синтеза оптимального обнаружения сигнала на фоне шума с неизвестной формой корреляционной функции рассматривалось в работах [1,2,3,4,5,9,10]. В результате проведенных исследований ее удалось решить с использованием методов оценки корреляционной функции или ее спектральной плотности мощности, что естественно не позволяет работать в реальном масштабе времени.

С появлением в современных системах связи широкополосных сигналов не удастся привести спектральную плотность мощности шума к постоянной величине в полосе пропускания сигнала. Актуальность решения такой задачи увеличивается с появлением широкого класса сигналов со скачками частоты в современных системах обработки информации. Как показано в работах [6,7] решение возможно в базисе интегрального преобразования Меллина. Показано, что в этом базисе при интервале корреляции намного меньшим длительности анализируемой выборки спектральная плотность мощности имеет вид:

$$P(u) = \int_0^\infty B(\tau) d\tau \int_0^\infty \frac{\cos(uy)}{ch(y/2)} d\gamma, \quad (26)$$

где $B(\tau)$ - автокорреляционная функция шума.

На основе теоремы Винера-Хинчина для корреляционной функции имеем:

$$R(y) = \frac{\tau_k \sigma}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\cos(yt)}{ch(\pi t)} dt = \frac{\pi \tau_k \sigma}{ch(\frac{y}{2})}, \quad (27)$$

где σ - среднеквадратичное отклонение шума;
 τ_k – интервал корреляции шума.

Из выражения (27) следует, что корреляционная функция шума поле преобразования Меллина инвариантна к виду исходной корреляционной функции шума.

Выводы

Как показывают результаты исследований, которые приведены в статье, преобразование Меллина прошло путь от математической теории до разработки ее конкретных приложений. Дальнейшие приложения отмечены в других опубликованных работах. К примеру, в [11] приведено быстрое преобразование Меллина, которое является аналогом быстрого преобразования Фурье. В этом направлении авторами статьи разработана теория параметрически периодических тригонометрически-логарифмических функций [10]. Полученные результаты позволяют поставить задачу создания цифровой модели реализации преобразования Меллина, как единого модуля в виде отдельной вычислительной процедуры.

В работе [12] рассматриваются элементы теории вейвлет преобразования Меллина для слуховой модели акустических сигналов. В этом направлении необходимо создать математическую теорию вейвлет преобразования Меллина и расширить ее на широкий спектр информативных моделей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джрбабян М.М. Интегральные преобразования и представление функций в комплексной области. Изд. «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. М.: 1965.
2. Френкс Л. Теория сигналов. Нью-Джерси, 1969 г. Пер. с английского под ред. Д.Е. Вакмана, М., « Сов. Радио», 1974, 344 с.
3. Fritz Jberhettinger Tabels of Mellin Transforms. Springer-verlag. Berlin, Heidelberg, New York. 1974.
4. Краснов М. Л., Киселев А. И., Макаренко Г. И. Интегральные уравнения: Задачи и примеры с подробными решениями: Учебное пособие. Изд. 3-е, испр. - М.: УРСС, 2003. - 192 с.
5. Бейтмен Г., Эрдейи А. Таблицы интегральных преобразований. Т 1, преобразование Фурье, Лапласа, Меллина. Изд. «Наука», - М.: -1965г.
6. Bertrand J., Bertrand P., Ovarlez j. The Mellin Transform. The Transforms and Applications Handbook: Second Edition. Ed. Alexander D. Poularikas. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.

7. *Шаниро Д.А.* Уравнения в частных производных. Специальные функции. Асимптотики. Конспект лекций по математическим методам физики. Новосибирский государственный университет.- Новосибирск: 2004 г, - 122 с.
8. *Philip E. Zwiche* A new implementation of the radar classification of ships.-IEEE Trans. Of Pattern analysis and machine Intellecenzy. vol .PAMI-5 ,№2 ,March 1983.
9. *Sheng Y., Arsenault H.* Experiments on pattern recognition using invariant Fourier-Mellin descriptors//J. Opt. Soc. Am. -1986. -No. 3 (6). -P. 885-887.
10. *Reddy S., Chatterji B.* техника на основе FFT для преобразования, вращения и масштабирования инвариантного изображения. Регистрация / IEEE Trans. об обработке изображений. -1996. –Том. 5. – с. 126-127.
11. *De Sena A, Rocchesso D:* A fast Mellin transform with applications in DAFx. Proceedings of the 7th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx '04), October 2004, Napoli, Italy 65–69.
12. *Irino T, Patterson R.D.:* Segregating information about the size and shape of the vocal tract using a time-domain auditory model: the stabilised wavelet-Mellin transform. Speech Communication 2002,36(3-4):181-203. 10.1016/S0167-6393(00)00085-6
13. *Gerardi F.:* Application of Mellin and Hankel transforms to networks with time-varying parameters. IRE Transactions on Circuit Theory 1959,6(2):197-208.

Макаров Анатолий Михайлович, доктор технических наук, профессор Пятигорского государственного университета (ПГУ), Россия, г. Пятигорск, пр. Калинина, 9, телефон: +7 (879) 340-00-00, email: mellin_22@mail.ru

Ермаков Александр Сергеевич, старший преподаватель Пятигорского государственного университета (ПГУ), Россия, г. Пятигорск, пр. Калинина, 9, телефон: +7 (879) 340-00-00, email: ermakov@cascad-kmv.ru

Makarov Anatoly Mikhailovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of ICTMIS Pyatigorsk State University, 357500, Pyatigorsk, Kalinina 9, PSU, dept. ICTMIS, +7 (879) 340-00-00, email: mellin_22@mail.ru

Ermakov Alexander Sergeevich, Senior Lecturer of the Department of ICTMIS Pyatigorsk State University, 357500, Pyatigorsk, Kalinina 9, PSU, dept. ICTMIS, +7 (879) 340-00-00, email: ermakov@cascad-kmv.ru

УДК 004.94

Каретникова Диана Олеговна, Конченков Владимир Игоревич

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЛУХА НА ОСНОВЕ ПАР МИКРОФОНОВ

Данная работа посвящена исследованию возможности построения системы технического слуха, основанной на использовании пар микрофонов и метода оценки времени задержки прихода сигнала, применяя корреляционный анализ сигналов, и анализу требований к параметрам блока цифровой обработки акустических сигналов при программно-аппаратной реализации акустического пеленгатора. Исследована зависимость эффективности детектирования направления на источник звука в зависимости от частоты и размера базы пеленгационной системы.

Корреляционный анализ, оценка времени задержки, технический слух, пеленгационная система, пара микрофонов.

Karetnikova Diana Olegovna, Konchenkov Vladimir Igorevich

DEVELOPMENT OF A HEARING SYSTEM BASED ON PAIRS OF MICROPHONES

This work is devoted to the study of the possibility of constructing a hearing system based on the use of pairs of microphones and the method of estimating the signal arrival delay time using signal correlation analysis, and the analysis of the requirements for the parameters of the acoustic signal digital processing unit in the hardware and software implementation of an acoustic direction finder. The dependence of the efficiency of detection of the direction to the sound source on the frequency and size of the base of the direction-finding system is studied.

Correlation analysis, delay time estimation, technical hearing, direction finding system, pair of microphones.

Введение

Задача определения направления на источник сигнала решается во многих областях техники, таких как радиолокация, гидролокация, радиосвязь, томография, сейсмология, радиоастрономия и т.д. Развитие современных систем локального позиционирования идет по пути интеграции различных

способов определения местоположения мобильных объектов, основанных на анализе не только радиосигналов, но и сигналов других типов, в т.ч. акустических [1-3].

В настоящее время, в качестве технических средств решения данной задачи наибольшее распространение получили антенные решетки – массивы преобразователей. Несмотря на различие физических принципов преобразования энергии волн в электромагнитные колебания, антенные решетки имеют общее свойство – пространственную разнесенность преобразователей, в результате чего сигнал, принятый преобразователями (в нашем случае микрофонами) характеризует волновое поле в разных точках пространства. Принимая определенные допущения о характеристиках волнового фронта сигнала, излучаемого источником, и зная пространственную конфигурацию массива преобразователей, можно решить задачу определения местоположения источника сигнала. [4]

Основная часть

Для разработки архитектуры макета акустического пеленгатора и уточнения его системных параметров были проведены предварительные теоретические исследования и расчёты, в результате которых было принято решение расположить два акустических датчика на расстоянии 10 см друг от друга, и источника сигнала, находящегося на расстоянии 2 м от середины базы пеленгационного устройств. Так как значение расстояния между двумя микрофонами не должна превышать $\lambda/2$, чтобы избежать пространственного алиасинга[5], то частота принимаемого сигнала не должна $f \leq 1715$ Гц.

На рис. 1 указана схема лабораторной системы.

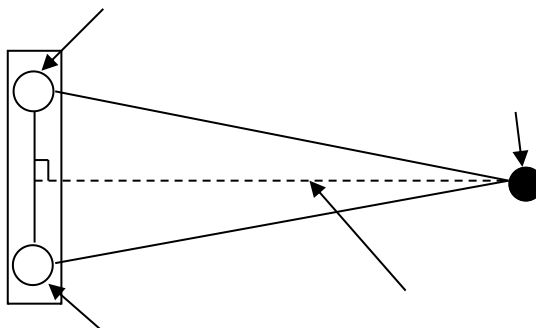


Рис. 3. Схема макета пеленгационного устройства (1 – база пеленгационного устройства, 2,3 – акустические датчики, 4 – расстояние от источника звука до базы пеленгационного устройства, 5 – источник звука)

Имеем базу пеленгационного устройства, на котором расположены два микрофона. Относительно начальной точки «А» (рис. 2), расположенной на равноудалённом расстоянии между двумя микрофонами (точка «А₁» и «А₂»), установлен источник звука (точка «С») на расстоянии 2 метров от середины базы пеленгационного устройства. Система технического слуха имеет возможность вращаться, точка «А» зафиксирована. Угол поворота регулируется с помощью размеченной шкалы. Вращая установку в пределах значения угла от -90° до 90°, мы упрощаем лабораторные исследования.

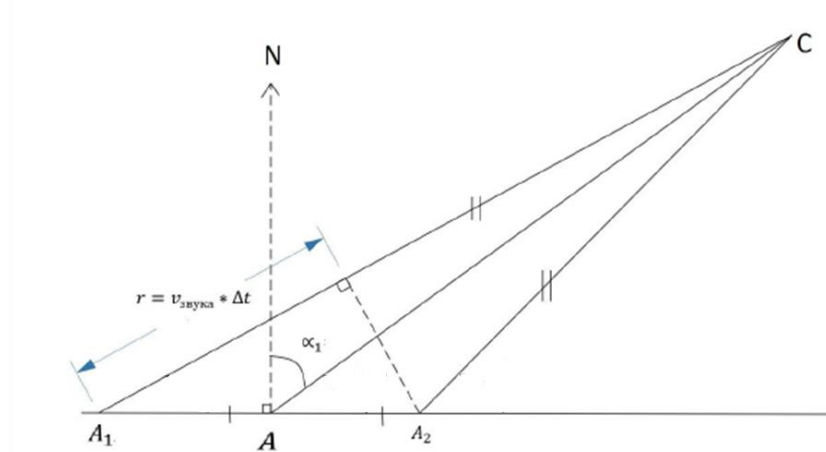


Рис. 4. Схема определения азимута в одном из пеленгационных устройств

Для определения азимута, фиксируя звуковой сигнал каждым микрофоном и применяя корреляционный анализ, можно вычислить задержку сигнала и определить разность хода звуковой волны, приходящей на каждый из датчиков [6]:

$$r = v_{\text{звука}} * \Delta t,$$

где r – разность хода, Δt – временная задержка сигнала, $v_{\text{звука}}$ – скорость звука, равного 343 м/с.

Из работы [7] угол между пеленгационной системой и источником звука можно найти с помощью формулы:

$$\alpha_1 = 90^\circ - \cos^{-1}\left(\frac{r}{A_1A_2}\right).$$

Таким образом, основной задачей является измерение задержки между акустическими импульсами двух каналов, поступающими на акустические датчики.

Корреляционный анализ функции во временной области

Анализ во временной области строится на вычислении взаимно-корреляционной функции сигналов x_1 и x_2 [8-10]:

$$r_{x_1x_2}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_1(t)x_2(t + \tau)dt.$$

Для сигналов в дискретной форме ВКФ записывается как:

$$r_{x_1x_2}(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_1(i)x_2(i + k).$$

Здесь сигнал ограничен кадром анализа длиной в N отсчетов.

Диапазон изменения аргумента k ВКФ $r_{x_1x_2}$ устанавливается, исходя из максимально возможной задержки прохождения сигналов между двумя преобразователями. Задержка максимальна, если направление распространения сигнала совпадает с направлением отрезка r , соединяющего преобразователи. Если скорость распространения волн в среде равна $v_{\text{звука}}$, то максимальная задержка равна:

$$\Delta t_{\max} = \frac{r}{v_{\text{звука}}}.$$

Результаты исследований

Были проведены теоретические расчёты и экспериментальные исследования принятия сигнала с частотой $f = 1700$ Гц в пределах значения угла от -90° до 90° с шагом 10° . Результаты полученных теоретических значений и экспериментальных представлен на рис. 3.

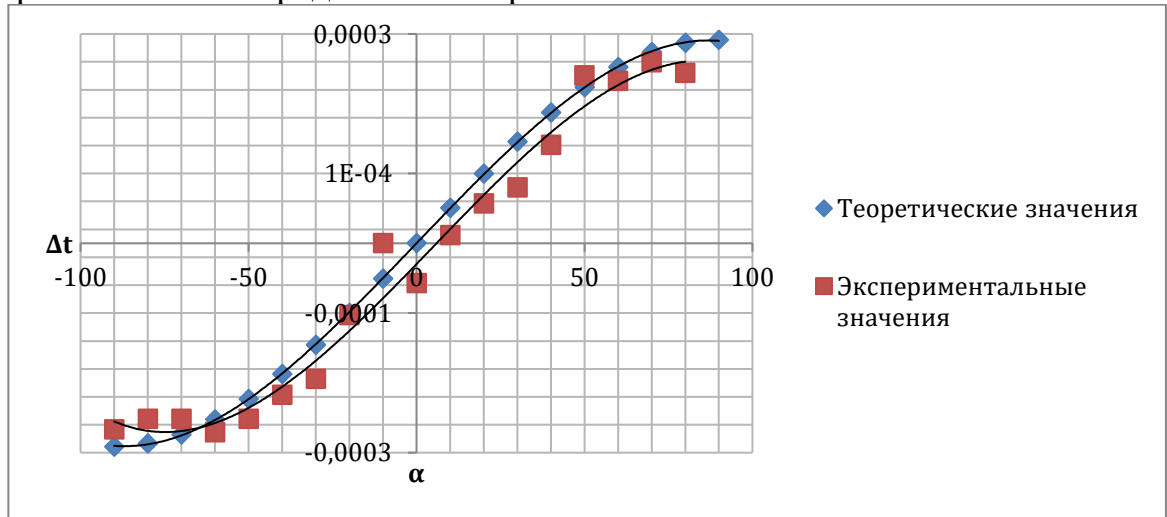


Рис. 5. Зависимость времени задержки сигнала от угла прихода сигнала на пеленгационную систему

Как видим из результатов, значения определяемого угла при проведении эксперимента не превышают 10° . К примеру, при теоретическом значении угла угол $\alpha = -50^\circ$, экспериментальное значение составляет -55° .

При этом, при попытке увеличения размера базы системы технического слуха, а вследствие и уменьшение максимально-возможной частоты испускаемого сигнала замечена закономерное ухудшение точности определения искомого угла.

Выводы

Проведены исследования возможности построения системы технического слуха, основанной на использовании пар микрофонов и метода оценки времени задержки прихода сигнала. С помощью корреляционного анализа сигналов были проведены расчёты время задержки сигналов между двумя микрофонами. Также, проанализировав и проведя эксперименты, было рассчитано оптимальное значение размеров базы акустического пеленгатора и исследована зависимость эффективности детектирования направления на источник звука в зависимости от частоты и размера базы пеленгационной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зайцев Н.А., Платов А.В., Потапов В.А.* Радиолокационные станции разведки наземных движущихся целей. Современный уровень и основные направления развития // Вестник Концерна ПВО «Алмаз-Антей». 2014. № 1. С. 41-44.
2. *Бурага А.В., Костюков В.М.* Сравнительный анализ пассивных методов измерения дальности для малого беспилотного летательного аппарата // Труды МАИ, 2012, №53 <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29624> (дата обращения 15.05.2023)
3. *Малышев А.В., Семенова А.Ю., Омелянчук Е.В.* Обзор технологий позиционирования мобильных объектов в реальном времени // Наука. Технологии. Производство. 2014. № 3. С. 115-118.
4. *Пестряков В.Б.* Фазовые радиотехнические системы//– М.: Советское радио, 1968. – 460 с.
5. *Дуда Р., Харт П.* Распознавание образов и анализ сцен// Перевод с английского Г. Г. Вайештейн и А. М. Васильковского, под редакцией В. Л. Стефанюка/ Москва: Издательство «МИР», 1976. - 509 с.
6. *Лёзин Ю.С.* Введение в теорию и технику радиотехнических систем// – М.: Радио и связь, 1986. – 280 с.
7. *Тихомиров А.В., Иванов М.С., Омелянчук Е.В.* Разработка акустического пеленгатора// Труды МАИ, Выпуск № 90 URL: https://mai.ru/upload/iblock/af8/tikhomirov_ivanov_omelyanchuk_rus.pdf?referer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения 15.05.2023)
8. *Лайонс Р.* Цифровая обработка сигналов: Второе издание//Перевод с английского – М.:ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656 с.

9. *Варакин Л.Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами//– М.:Радио и связь, 1985. – 384 с.
10. *Айфичер Э.С., Джервис Б.У.* Цифровая обработка сигналов: практический подход// Перевод с английского – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с.

Каретникова Диана Олеговна, студент-магистрант Волгоградского Государственного технического университета, Россия, Волгоградская область, г. Волгоград, пр-кт Им. В.и. Ленина, д.28, 40005, телефон: +7 (919)790-35-69, email: caretnikova.diana@yandex.ru.

Конченков Владимир Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры "Электронно-вычислительные машины и системы" Волгоградского технического университета, Россия, Волгоградская область, г. Волгоград, пр-кт Им. В.и. Ленина, д.28, 40005, телефон: +7(904)756-86-41, email: kontchenkov@yandex.ru

Karetnikova Diana Olegovna, undergraduate student of the Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd region, Volgograd, pr-kt Im. In and. Lenina, 28, 40005, phone: +7 (919) 790-35-69, email: caretnikova.diana@yandex.ru.

Konchenkov Vladimir Igorevich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Electronic Computers and Systems, Volgograd Technical University, Russia, Volgograd Region, Volgograd, Im. In and. Lenina, 28, 40005, phone: +7(904)756-86-41, email: kontchenkov@yandex.ru

Секция – Авиационные системы, технологии беспилотных летательных аппаратов

УДК.621.455.32

Носрати Мехрдад, Аббасов Ифтихар Балакишиевич

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМОСА

В статье рассматривается технология электрических двигателей для использования в космических миссиях. Было проанализировано преимущества и недостатки электрических двигателей по сравнению с химическими двигателями, а также их роль в управлении космическими аппаратами на миссиях глубокого космоса. В работе также рассмотрены возможности использования нанотехнологий для улучшения производительности электрических двигателей и поиска новых источников энергии. В заключении отмечено, что электрические двигатели являются наиболее перспективной технологией для исследования дальнего космоса.

Электрические двигатели, космические миссии, электростатическое ускорение, нанотехнологии, источники энергии.

Nosrati Mehrdad, Iftikhar B. Abbasov

ELECTRIC ROCKET ENGINES FOR SPACE RESEARCH

The article discusses the technology of electric propulsion for use in space missions. The advantages and disadvantages of electric propulsion compared to chemical propulsion, as well as their role in spacecraft control on deep space missions, were analyzed. The paper also considers the possibilities of using nanotechnology to improve the performance of electric motors and search for new energy sources. In conclusion, it was noted that electric motors are the most promising technology for deep space exploration.

Electric propulsion, space missions, electrostatic acceleration, nanotechnology, energy sources.

Введение

Технология ракетных двигателей значительно изменилась с тех пор, как Константин Циолковский впервые предложил использовать ракету для запуска спутника на околоземную орбиту в 1903 году. Сегодня последней

технологией, используемой в ракетных двигателях, является ионный двигатель, в котором используется плазма. Циолковский и Роберт Годдард были первыми теоретиками, работавшими над основами проектирования ракет, и их идеи опередили свое время. Электрическая двигательная установка для космических кораблей была впервые предложена Циолковским в 1911 году [1], а затем была успешно испытана в космосе во время испытательных полетов американских космических ракет в июле 1964 года. Эта технология продолжала развиваться на в конце двадцатого века, становясь все более важной для исследования космоса.

Необходимость использования электрического двигателя

Стоимость создания и запуска космического корабля является важнейшим фактором в космическом полете, и снижение стоимости килограмма груза имеет решающее значение. Для этого учитываются два фактора: уменьшение общего количества запусков и снижение стоимости каждого отдельного запуска [2]. Твердотопливные и жидкостные ракетные двигатели эффективны для достижения орбитальной скорости и вывода грузов на околоземную орбиту из-за их высокой тяги, но они менее подходят для полетов в дальний космос, требующих малую тягу. В то время как для химических ракет требуется больше топлива, более мощные насосы и более крупные ракеты, электрические ракетные двигатели используют электрическую энергию, которая может генерироваться солнечными панелями или компактной бортовой атомной электростанцией.

Типы электрических двигателей

Электрические двигатели можно разделить на две категории: первая — ионные и плазменные двигатели, а вторая группа — неионные двигатели. В свою очередь ионные и плазменные двигатели можно разделить на различные типы электрических двигателей [3]. Электрическая двигательная установка основана на ускорении космических кораблей или спутников с использованием электричества и магнетизма. Существуют три основные группы электрических двигателей: электростатические, электромагнитные и электротермические двигатели, которые обычно используются в различных типах спутников и космических аппаратов. Электростатические двигатели работают за счет ускорения ионов электрическим полем, электротермические двигатели используют электрическую энергию для передачи тепла топливу, а электромагнитные двигатели используют в качестве топлива плазму. В последнее время также исследуются неионные двигатели, такие как фотонные двигатели, электродинамические тросы и

нетрадиционные методы движения. Однако эти двигатели еще полностью не испытаны на практике и носят в основном теоретический характер [4], [5].

Основные характеристики, преимущества и недостатки

В таблице сравниваются шесть различных типов электрических двигательных установок для космических аппаратов на основе их характеристик, включая достижимую тягу, удельный импульс, эффективность, отношение тяги к мощности, время работы, топливо, преимущества и недостатки.

Сосредоточив внимание на удельном импульсе, который является мерой эффективности двигательной установки, мы можем видеть, что ионный двигатель с сеткой имеет самый высокий удельный импульс 1500-10000 секунд, за ним следует магнитоплазодинамический двигатель с удельным импульсом 200 -3200 секунд. Двигатель на эффекте Холла занимает третье место с удельным импульсом 600-3000 секунд.

Электротермические системы, такие как реактивный двигатель и электродуговой реактивный двигатель, имеют более низкие удельные импульсы в пределах 130-2200 секунд и 150-850 секунд соответственно, а электромагнитный импульсно-плазменный двигатель имеет удельный импульс в диапазоне 1400-2700 секунд [6].

Таблица

Характеристики некоторых основных типов двигателей [6]

	Резисто-реактивный двигатель (Resistojet)	Электродуговой двигатель (Arcjet)	Электростатический двигатель (GIE)	Электромагнитный двигатель (HET/HEMPT)	Плазменный двигатель с распылителем твердого топлива (PPT)	Термоэлектронный с электромагнитным нагревом (MPDTE/ECR)
Тип	Электротермический	Электротермический	Электростатический	Электростатический	Электромагнитный	Электромагнитный
Достижимая тяга (мН)	0,5-6000	50-6800	0,01-750	0,01-2000	0,05-10	0,001-2000
Удельный импульс (с)	150-850	130-2200	1500-10000	600-3000	1400-2700	200-3200
КПД η (%)	30-110	25-60	30-90	20-70	30.май	20-70
Отношение тяги к мощности (мН/кВт)	450-700	150-600	20-250	150-300	50-200	150-500
Время работы	Месяцы	Месяцы	Годы	Месяцы	Годы	Недели
Рабочие топлива	NH ₃ , гидразин, H ₂ , Xe и N ₂	NH ₃ , гидразин, H ₂ и N ₂	Xe, Kr, Ar, Bi, I ₂ и H ₂ O	Xe, Kr, Ar и I ₂	политетрафторэтилен	Xe, H ₂ , Ar и Li
Преимущества	Низкий уровень сложности	Высокая тяга	Высокий удельный импульс и высокая эффективность	Высокое отношение мощности к тяге	Простое устройство и твердое топливо	Высокий удельный импульс и высокая плотность тяги
Недостатки	Очень низкий удельный импульс	Низкая эффективность	Низкая плотность тяги и сложные блоки питания	Высокое расхождение пучка и эрозия канала	Низкая эффективность	Короткая длительность работы и высокие требования к эксплуатации

Одним из факторов, делающих электрические двигатели превосходящими их химические аналоги, является их эффективность в космической среде, где их можно использовать в межпланетных и межзвездных миссиях. Также немаловажным фактором является меньший расход топлива и

возможность эксплуатации на дальние расстояния на более высоких скоростях [3], [7].

Использование электрореактивной тяги с меньшим объемом и более точным управлением может снизить объем загрязнения космоса. Ещё одним их преимуществом является реальное использование для корректировки орбиты космических аппаратов, что немаловажно при увеличении количества спутников в космосе [6].

К недостаткам электрических двигателей можно отнести то, что они не имеют возможности отправлять космические аппараты в космос, выводить объекты на орбиту Земли [8]. Также для производства некоторых разновидностей требуются большие затраты, и они достаточно сложны для изготовления.

Нано технологий в разработке электрических двигателей

Внедрение нанотехнологий в космическое двигателестроение может привести к возрождению межпланетных миссий с применением космических аппаратов, и малых беспилотных систем. Использование легких материалов с уникальными механическими и электрическими свойствами, таких как углеродные нано трубки, нано композиты, может помочь производству электродвигателей с новыми свойствами. Использование нано материала позволит решить многие проблемы, которые ранее имелись в конструкции электродвигателей, увеличивая их срок эксплуатации [5].

Перспективы развитие электрических двигателей

Можно отметить, что электрическая силовая установка имеет ограничения с точки зрения дрейфа, которые можно устранить, используя многоступенчатые гибридные силовые установки, сочетающие в себе различные типы электрических и химических двигателей. Развитие гибридных силовых установок рассматривается как многообещающее направление повышения эффективности и снижения расхода топлива [5].

Конструкция двигателей следующего поколения должна быть такой, чтобы в ней можно было использовать все преимущества электрических и химических двигателей. Использование нанотехнологий может привести к значительному повышению производительности, эффективности и долговечности электрических двигательных установок. Тем не менее, необходимы дополнительные исследования и разработки, чтобы понять преимущества нанотехнологий в данной области при создании компактных и эффективных космических аппаратов [9], [10].

Заключение

Электродвигатели обладают перспективным потенциалом для освоения космоса благодаря высокому коэффициенту полезного действия, малому расходу топлива и точному управлению. Хотя у них есть ограничения, такие как максимальная тяга, мощность и сложность производства, ожидается, что непрерывные исследования и разработки приведут к значительным улучшениям и инновациям в будущем. Электродвигатели считаются лучшими кандидатами для движения в дальнем космосе, а использование нанотехнологий и новых источников энергии, таких как солнечные панели и батареи, может повысить их эффективность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Choueiri E.Y.* A critical history of electric propulsion: the first 50 years (1906 – 1956) // *Journal of Propulsion and Power*, 2004, V.20, P.193-203.
2. *Cassady R.J. et al.* The Importance of Electric Propulsion to Future Exploration of the Solar System // *International Electric Propulsion Conference*, Vienna. – 2019. 14p.
3. *O'Reilly D., Herdrich G., Kavanagh D.F.* Electric propulsion methods for small satellites: A review // *Aerospace*. – 2021. – V.8. – №. 1. – P.22.
4. *Camilleri V.* Electric Propulsion and Electric Satellites. University of Colorado, Boulder, CO, 80309 May 2017: 10p.
5. *Levchenko I. et al.* Recent progress and perspectives of space electric propulsion systems based on smart nanomaterials // *Nature communications*. – 2018. – V. 9, – №.1. – P.879-892.
6. *Holste K. et al.* Ion thrusters for electric propulsion: Scientific issues developing a niche technology into a game changer // *Review of Scientific Instruments*. – 2020. – V. 91. – №. 6. – P.061101.
7. *Гусев Ю. Г., Пильников А. В.* Роль и место электроракетных двигателей в Российской космической программе // *Электронный журнал «Труды МАИ»*. 2012. № 60. 20 с. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=35385>
8. *Vavilov I. S. et al.* Review of electric thrusters with low consumption power for corrective propulsion system of small space vehicles // *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing, 2020. – V.1546. – №1. – P.012071.
9. *Salgado M.V., Belderrain M.N., Devezas T.C.* Spacepropulsion: a survey study about actual and future technologies // *J. Aerospace Technology Management*, 2018.10: e1118. doi: 10.5028/jatm.v10.829.

10. Rovey J.L. et al. Review of multimode space propulsion //Progress in Aerospace Sciences. – 2020. – V.118. – P.100627.

Носрати Мехрдад, аспирант кафедры инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Россия, 347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 22, тел.: +7 (8634) 37-17-94, nosrati.mehrdad.7@gmail.com.

Аббасов Ифтихар Балакишиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Россия, 347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 22, тел.: +7 (8634) 37-17-94, iftikhar_abbasov@mail.ru.

Nosrati Mehrdad, PhD student, Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering and Technology Academy of the Southern Federal University, Russia, 347928, Taganrog, ul. Chekhova, 22, tel.: +7 (8634) 37-17-94, nosrati.mehrdad.7@gmail.com.

Abbasov Iftikhar B., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering Technological Academy of the Southern Federal University, Taganrog, Russia, tel.: +7 (8634) 37-17-94.

УДК 551.46.077:529.584

Джаныбеков Руслан Юсуфович, Аббасов Ифтихар Балакишиевич

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ПРОЕКТИРОВАНИИ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Работа посвящена анализу современного состояния и определению проблемных вопросов в конструировании современных морских робототехнических комплексов и выработке направлений решения. Для достижения данной цели, необходимо проследить историю развития морских робототехнических комплексов, рассмотреть их конструкцию, определить основные проблемные вопросы в разработке современных морских робототехнических комплексов. Отмечено, что проекты современных надводных робототехнических комплексов обладают функциональностью и универсальностью. Это стало результатом использования передовых технологий и инновационных решений в конструировании с учетом

опыта других отраслей машиностроения. Данные комплексы могут найти применение в исследованиях прибрежной акватории с целью оценки состояния водной среды.

Морской робототехнический комплекс, морская среда, прибрежная акватория, беспилотный катер, «морской дрон».

Dzhanybekov Ruslan Yusufovich, Abbasov Iftikhar Balakishievich

SOME PROBLEMS IN THE DESIGN OF MARINE ROBOTIC SYSTEMS

The work is devoted to the analysis of the current state and the definition of problematic issues in the design of modern marine robotic systems and the development of solutions. To achieve this goal, it is necessary to trace the history of the development of marine robotic systems, consider their design, identify the main problematic issues in the development of modern marine robotic systems. It is noted that the projects of modern surface robotic systems have functionality and versatility. This was the result of the use of advanced technologies and innovative design solutions, taking into account the experience of other branches of engineering. These complexes can be used in studies of coastal waters in order to assess the state of the aquatic environment.

Marine robotic complex, marine environment, coastal waters, unmanned boat, "marine drone".

Введение

Морские робототехнические комплексы (РТК) стали неотъемлемой частью морской инфраструктуры и находят широкое применение в различных отраслях, таких как исследование морской среды, обеспечение безопасности на море и прибрежных акваторий, выполнение строительных работ. Конструкция морских РТК играет важную роль в обеспечении их функциональности, эффективности и безопасности при выполнении задач в морской среде. В данной работе будут рассмотрены некоторые особенности конструирования РТК, включая основные элементы, которые обеспечивают их работоспособность и условия эксплуатации.

Некоторые исторические этапы

История развития морских робототехнических комплексов имеет более чем полувековую историю. Первые РТК были созданы в 1960-х годах [1] для исследования морской среды и осуществления подводных работ. Они представляли собой достаточно простые устройства, состоящие из плавучих

корпусов с управляемыми двигателями, датчиками и камерами для сбора информации. Эти аппараты позволяли произвести измерения расстояний и высот на море и в воздухе. В 1970-х годах появилась технология, позволяющая создавать более сложные и маневренные РТК, оборудованные сенсорами и системами управления. Они стали использоваться для различных задач, таких как обследование дна моря, поиск и спасение, а также мониторинг морской среды [2].

С развитием компьютерных технологий и искусственного интеллекта появились более сложные автономные РТК, которые могли выполнять задачи без участия человека [2]. Они были оснащены высокоточными датчиками и системами управления, позволяющими им совершать множество различных маневров и выполнить сложные задачи. Сегодня морские РТК продолжают развиваться и находят все более широкое применение в различных областях исследования и мониторинга окружающей среды [3].

Конструкции комплексов

Конструкция морских робототехнических комплексов является одним из важных аспектов их разработки. Одним из основных элементов конструкции РТК является корпус. Он обеспечивает необходимую плавучесть, а также защиту от воздействия внешних факторов. Корпус может иметь различные формы и размеры в зависимости от конкретных требований к РТК [4].

Другим важным элементом комплекса является система управления. Она обеспечивает управление движением РТК и выполнение необходимых задач. Система управления может включать в себя различные компоненты, такие как датчики, электронику, программное обеспечение и другие.

Также важным аспектом конструкции является система энергоснабжения, РТК могут использовать различные источники энергии, такие как батареи, солнечные панели или генераторы. Эффективность системы энергоснабжения напрямую влияет на время работы РТК и его производительность.

Кроме того, конструкция РТК может включать в себя различные дополнительные элементы, такие как механизмы для выполнения специализированных задач, системы связи, оборудование для навигации и другие элементы, обеспечивающие стабильность и маневренность. Эти элементы помогают управлять движением РТК в различных условиях морской среды и повышают его устойчивость.

Важным аспектом конструкции РТК является также учёт особенностей задач, которые он должен выполнять. Например, для РТК, задачей которых

является исследование морской среды, может потребоваться установка дополнительного оборудования, такого как датчики температуры и давления, системы сбора и анализа данных, а также оборудование для забора проб воды. Для РТК, которые должны выполнять задачи по обеспечению безопасности, могут потребоваться специализированные системы обнаружения, распознавания и оценки состояния среды.

В конструкцию морских РТК также могут быть интегрированы системы автоматического управления, которые позволяют РТК выполнять задачи автономно без участия человека. Это позволяет увеличить эффективность работы РТК и уменьшить затраты на персонал. Одним из интересных концептов является разработка устройств с плавающими платформами, оснащенными «дронами» для выполнения задач в воздушном пространстве над водной поверхностью. Эти устройства могут использоваться для мониторинга морской среды, обеспечения безопасности на море и поддержки береговой охраны.

Представителем такого класса морских РТК является экспериментальный проект КБ «Талисман» и НПК «Сетецентрические Платформы» - «Глайдерон» [5]. Аппарат будет осуществлять оперативный мониторинг акваторий и прибрежной территории. Уникальность морского авиационного комплекса «Глайдерон» является совместная работа в составе группы беспилотников различной функциональности. Ученые планируют использовать одновременно технические особенности надводных и подводных глайдеров для решения вопросов гидрологии, гидрографии, гидрофизики. Оригинальная конструкция позволит получать качественный и всесторонний анализ данных. Робот будет полезен для оперативного мониторинга прибрежной инфраструктуры, охраны мостов, гидроэлектростанций [6].

Другой концепт - это создание надводных РТК с возможностью выполнять автономные миссии, не требующие участия человека. Такие устройства могут быть использованы для разведки и инспекции подводных объектов, мониторинга и контроля морской среды, поиска и спасения, а также для проведения ремонтных работ (Рисунок).

Ещё одним концептом является создание модульных надводных РТК, которые могут быть быстро модифицированы и настроены под конкретные задачи. Это позволит операторам быстро реагировать на изменения ситуации и эффективно использовать устройства для различных миссий.

Преимущества и недостатки

В целом, современные дизайн-концепты надводных РТК стремятся к созданию устройств с более широкими возможностями и гибкостью в выполнении задач. Важно отметить, что реализация этих концептов требует не только технологических решений, но и разработку соответствующих методов управления и обработки данных [7].

Современные морские робототехнические комплексы имеют ряд проблем, связанных с дизайном их конструкций и функциональностью:

1. Надежность и безопасность. Робототехнические комплексы, работающие на морской поверхности, подвержены воздействию различных факторов, таких как сильные ветры, высокие волны, морской прибой, соленая вода и другие агрессивные условия. Немаловажную роль играет надежность и безопасность таких устройств [8].

2. Система питания и зарядки. Робототехнические комплексы, работающие на морской поверхности, нуждаются в длительной работе и энергопотреблении. Это требует эффективной системы питания, которая может обеспечить надежную работу устройств и продолжительный период автономной работы. Осуществление зарядки также является одной из главных проблем, которые требуют постоянного контроля и обслуживания.

3. Управление. Управление и управляемость морских РТК являются критически важными проблемами, которые нужно решить. Для того, чтобы устройства могли выполнять задачи в реальных условиях, необходимо разработать эффективные методы управления и контроля, которые позволят решить этим устройствам миссии в сложных непредсказуемых ситуациях.

4. Сбор и обработка данных. Современные морские РТК собирают большое количество данных, которые необходимо обрабатывать для получения полезной информации. Для этого требуются эффективные алгоритмы и программное обеспечение, которые могут обрабатывать данные в режиме реального времени.

5.



Рис. Подводный робот Aquanaut (компания НМІ, США) для проверки морских нефтегазовых сооружений и беспилотный катер Inspektor Mk 2 (компания ECA Group, Франция)

Выводы

В итоге, можно сделать вывод, что современные проекты надводных робототехнических комплексов обладают высокой функциональностью и универсальностью, благодаря использованию передовых технологий и инновационных решений. Однако, проектирование и создание эффективных надводных робототехнических комплексов остается сложной задачей, которая требует учёта многих факторов, включая требования к производительности, защите от внешних факторов и управляемости. Каждый элемент конструкции РТК должен быть тщательно продуман и интегрирован в общую конструкцию, чтобы обеспечить эффективную работу РТК в сложных метеорологических условиях морской среды. Следует также упомянуть о повышении энергоэффективности, улучшении маневренности, увеличении дальности действия. Следовательно, конструкция надводных робототехнических комплексов является перспективным направлением развития современных технологий и может иметь широкое применение в различных областях, включая морскую эксплуатацию, научные исследования, военную и промышленную сферы, экологический контроль и чрезвычайные ситуации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чарушиников Ю. Первые необитаемые подводные аппараты в СССР/ Российская газета/ Спецвыпуск: Армия №135(7893) Русское оружие: [сайт]. 2019. – URL:<https://rg.ru/2019/06/24/pervye-neobitaemye-podvodnye-apparaty-v-sssr-poiavilis-v-1960-h-godah.html> (дата обращения: 22.03.2023)
2. Матвиенко Ю. Третье десятилетие ИПМТ ДВО РАН – от экспериментальных образцов – к серийным изделиям подводной робототехники: [сайт]. 2018. –URL:https://ankulikova.blogspot.com/2018/04/blog-post_3.html (дата обращения: 19.03.2023)

3. Компьютерное моделирование в авиакосмической промышленности/ под ред. И.Б. Аббасова. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 300 с.
4. *Мозолев С.* Скоростные экранопланы «Seaglider»: [сайт]. 2021. – URL:<https://chudo.tech/2021/05/18/ckorostnye-ekranoplany-seaglider> (дата обращения: 24.03.2023)
5. *Бойко А.* Seaglider - Каталог подводных роботов: [сайт]. 2019. – URL:<https://robotrends.ru/robopedia/seaglider> (дата обращения: 20.03.2023)
6. Стратегический проект «Полигон Технологий»: [сайт]. 2018. – URL:<https://su.samgtu.ru/site/view/poligon-tehnologiy> (дата обращения: 28.03.2023)
7. *Анандан Т.М.* Подводный автономный робот Aquanaut компании Houston Mechatronics для исследования и добычи ресурсов: конструкция и возможности: [сайт].2022. – URL:<https://integral-russia.ru/2022/12/02/podvodnyj-avtonomnyj-robot-aquanaut-kompanii-houston-mechatronics-dlya-issledovaniya-i-dobychi-resursov-konstruktsiya-i-vozmozhnosti/> (дата обращения: 23.03.2023)
8. *Алексеев А.* Опасности морских глубин и борьба с ними (Часть 2): [сайт]. 2016. – URL:<https://topwar.ru/98476-opasnosti-morskih-glubin-i-borba-s-nimi-chast-2.html> (дата обращения: 19.03.2023)
9. Добровольский А. В России завершено проектирование нового морского экраноплана А-050: [сайт]. 2021. – URL:<https://fishki.net/1673147-v-rossii-zaversheno-proektirovanie-novogo-morskogo-jekranoplana-a-050.html> (дата обращения: 20.03.2023)
10. *Рябов К.* Безэкипажные подводные аппараты семейства Bayonet (США)/Военное обозрение: [сайт]. 2021. – URL:<https://topwar.ru/213577-bezjkipazhnye-podvodnye-apparaty-semejstva-bayonet-ssha.html> (дата обращения: 21.03.2023)

Джаныбеков Руслан Юсуфович, начальник цикла-старший преподаватель цикла АСУ РТС ПВО кафедры ВКС Военного учебного центра ЮФУ, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, тел.: +7 (918) 584-55-04, email: dzhanybekov@sfedu.ru.

Аббасов Ифтихар Балакишиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Россия, 347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 22, тел.: +7 (8634) 37-17-94, iftikhar_abbasov@mail.ru

Dzhanybekov Ruslan Yusufovich, Head of the cycle-Senior lecturer of the RTS Air Defense Automated Control System cycle of the Department of VKS of the Military Training Center the Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky Lane, phone: +7 (918) 584-55-04, email: dzhanybekov@sfedu.ru.

Abbasov Iftikhar B., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering Technological Academy of the Southern Federal University, Taganrog, Russia, tel.: +7 (8634) 37-17-94.

УДК 621.396

Зарайченков Станислав Максимович

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ БПЛА: ОТ ПЕРВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДО СОВРЕМЕННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ

Эта научная статья исследует историю развития беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) от первых экспериментов до современных достижений. Введение представляет актуальность развития БПЛА и их важность в различных отраслях. Статья рассматривает ключевые этапы и механизмы развития БПЛА, включая ранние эксперименты, прорывные технологии и перспективные направления исследований. Заключение подводит итоги исторического развития и предлагает прогнозы для будущего БПЛА.

БПЛА, летательный аппарат, авиационные системы, эксперименты.

Zaraychenkov Stanislav Maksimovich

THE HISTORY OF UAV DEVELOPMENT: FROM THE FIRST EXPERIMENTS TO MODERN ACHIEVEMENTS

This scientific article explores the history of the development of unmanned aerial vehicles (UAVs) from the first experiments to modern achievements. The introduction presents the relevance of the development of UAVs and their importance in various industries. The article considers the key stages and mechanisms of UAV development, including early experiments, breakthrough technologies and promising areas of research. The conclusion summarizes the historical development and offers predictions for the future of the UAV.

UAV, aircraft, aviation system, experiments.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали одной из самых инновационных областей технологического развития в последние десятилетия. Их способность выполнять различные задачи без присутствия пилота открыла новые горизонты в области разведки, геодезии, доставки грузов и многих других отраслях. Эта статья исследует историю развития БПЛА, начиная с их первых экспериментов и заканчивая современными. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют собой одну из самых инновационных областей технологического развития, которая за последние десятилетия привлекает все большее внимание и интерес. Возможность БПЛА выполнять различные задачи без участия пилота привела к открытию новых горизонтов в таких областях, как разведка, геодезия, доставка грузов и многие другие сферы применения. История развития БПЛА насчитывает десятилетия исследований и разработок, начиная с первых экспериментов.

Ранние эксперименты в области развития БПЛА действительно были связаны с созданием автоматических устройств управления, таких как радиоуправляемые модели самолетов. Однако реальные жизненные примеры также подтверждают эту тенденцию.

Основная

В период с 1915 по 1945 год наблюдались первые шаги в развитии БПЛА. Хотя большая часть этого периода приходится на Вторую мировую войну, некоторые страны начали экспериментировать с беспилотными летательными аппаратами. Вот несколько примеров:

В 1915 году американский изобретатель Никола Тесла представил свою концепцию беспилотного летательного аппарата, названного "телемеханическим воздушным вихрем". Однако из-за технологических ограничений и недостатка финансирования этот проект так и не был реализован на практике.

Американская армия: В 1916 году американская армия начала разработку беспилотных летательных аппаратов. Один из самых известных проектов был связан с Корпусом сигнальных войск армии США, который разрабатывал беспилотные аппараты для использования во время Первой мировой войны.

Великобритания: В 1917 году британский изобретатель Арчибальд Лоу создал беспилотный летательный аппарат, известный как "Аэроплан Кордайте". Этот аппарат использовался для бомбардировки немецких городов.

Германия: Во время Второй мировой войны немецкие научники разрабатывали и использовали беспилотные летательные аппараты, такие как "Физелинг" и "Фихтель". Эти аппараты были применены для разведки и атак на вражеские цели.

В целом, в период с 1915 по 1945 год были сделаны первые шаги в развитии БПЛА. Однако технологические и организационные ограничения того времени не позволяли полностью реализовать потенциал беспилотных летательных аппаратов. Более значительное развитие БПЛА началось после Второй мировой войны.

В период с 1950 по 1980 год активно развивалась милитаризация БПЛА во время холодной войны. Различные страны, включая США и СССР, интенсивно занимались исследованиями, разработкой и испытаниями беспилотных летательных аппаратов с военным назначением.

Примером значимого достижения в этом периоде является создание США "Би-2 Кайо" (Beechcraft Model 2 Kao), который был первым радиоуправляемым беспилотным самолетом, применяемым в военных целях. "Би-2 Кайо" был разработан и впервые использован во время вьетнамской войны в 1959 году. Он выполнял задачи разведки, обнаружения и наведения огня на цели, а также использовался для слежения за вражескими действиями.

В СССР также проводились сходные разработки. Например, компания "Микоян и Гуревич" создала серию беспилотных летательных аппаратов, известных как "МиГР" (Микоян и Гуревич разведывательный). Эти аппараты были предназначены для выполнения разведывательных и боевых задач, включая бомбардировку и наведение ракет на цели.

В целом, в период с 1950 по 1980 год активное развитие милитаризованных БПЛА привело к появлению новых технологий и тактик военного применения. Эти достижения положили основу для дальнейшего развития и применения БПЛА в военных операциях.

С прорывом микроэлектроники и развитием компьютерных технологий в 1970-х годах, БПЛА начали получать новые возможности. Введение микропроцессоров и автоматических систем управления позволило создать автономные БПЛА, способные выполнять сложные миссии без прямого участия пилота. Это был прорывной момент в развитии БПЛА, который открыл путь для широкого применения в различных сферах.

1980-2000: Расширение гражданского применения В 1980-х годах началось активное развитие гражданского применения БПЛА. Они стали использоваться для мониторинга окружающей среды, аэрофотосъемки,

сельского хозяйства и геологического исследования. Компания General Atomics разработала и внедрила в производство MQ-1 Predator - одну из самых известных серийно производимых вооруженных БПЛА.

2000-2010: Развитие многоторных БПЛА В начале 2000-х годов развитие многоторных БПЛА получило новый импульс. Такие аппараты, как DJI Phantom, стали популярными среди любителей и профессиональных операторов. В этот период также развивались технологии автономного полета и датчиков, что существенно повысило возможности БПЛА.

2010-2021: БПЛА вошли во все сферы жизни С начала 2010-х годов БПЛА стали все более доступными и разнообразными. Они нашли применение в таких областях, как доставка товаров (например, проекты Amazon Prime Air), спасательные операции, строительство, мониторинг инфраструктуры и пожаротушение. Кроме того, разработчики продолжали улучшать технологии датчиков, автономного полета и управления БПЛА.

В 2021 году БПЛА стали неотъемлемой частью многих отраслей и обещают продолжить свое развитие в будущем. Современные достижения включают улучшенные системы навигации и стабилизации, повышенную грузоподъемность, более продолжительное время полета и разработку специализированных моделей для конкретных задач.

С развитием компьютерных технологий и миниатюризации электроники БПЛА получили новые возможности и внедрились в различные отрасли. Реальные примеры подтверждают важность этих прорывных технологий в развитии БПЛА.

Например, в области геодезии и картографии, БПЛА с GPS-навигацией и сенсорами высокой точности позволяют создавать детальные и точные карты местности. Они могут сканировать и собирать географические данные с высокой разрешающей способностью, что обеспечивает более точное и эффективное планирование инженерных и строительных проектов. Примером является компания DroneDeploy, которая предоставляет решения для картографии и анализа данных с помощью БПЛА.

В области сельского хозяйства, БПЛА используются для мониторинга и анализа урожайности полей. Они оснащены специализированными сенсорами, способными обнаруживать заболевания растений, недостаток влаги и другие факторы, которые могут повлиять на качество и урожайность. Это позволяет сельскохозяйственным предприятиям принимать своевременные меры для увеличения урожайности и оптимизации использования ресурсов.

Примером является компания PrecisionHawk, которая предлагает решения для сельскохозяйственного мониторинга с помощью БПЛА.

В сфере экологии и природоохраны, БПЛА играют важную роль в мониторинге окружающей среды и контроле за изменениями в биоразнообразии. Они могут использоваться для обнаружения и анализа изменений в лесных покровах, оценки здоровья экосистем и контроля за браконьерством. Беспилотные аппараты позволяют получить доступ к труднодоступным местам и собирать данные, которые помогают в принятии решений в области охраны окружающей среды. Примером является компания FLIR Systems, которая разрабатывает и производит тепловизионное оборудование, включая камеры для БПЛА.

Развитие беспроводной связи и передачи данных значительно усилило возможности удаленного управления и контроля БПЛА. В реальной жизни, многие компании и организации уже внедрили системы управления БПЛА через беспроводные сети. Например, операторы доставки используют БПЛА для автоматической доставки товаров, что позволяет снизить затраты и увеличить эффективность процесса доставки. Примером является компания Amazon Prime Air, которая разрабатывает систему доставки с помощью автономных БПЛА.

Заключение

Таким образом, реальные примеры подтверждают, что развитие компьютерных технологий, миниатюризация электроники, GPS-навигация и беспроводная связь играют ключевую роль в повышении надежности, точности и эффективности БПЛА, открывая новые возможности и перспективы применения в различных отраслях.

В будущем развитие БПЛА, вероятно, будет сосредоточено на нескольких направлениях. Во-первых, улучшение автономных возможностей БПЛА, включая развитие более сложных алгоритмов ИИ и машинного обучения, позволит им выполнять еще более сложные задачи без участия оператора.

Во-вторых, разработка новых материалов и технологий позволит создать более легкие, прочные и энергоэффективные БПЛА. Это увеличит их дальность полета, скорость и грузоподъемность, что расширит их применение в различных отраслях.

В-третьих, безопасность и надежность БПЛА будут одними из главных приоритетов. Разработка систем, предотвращающих аварии и

обеспечивающих защиту от взлома и несанкционированного доступа, будет играть важную роль в будущем развитии БПЛА.

В итоге, историческое развитие БПЛА показывает постоянный прогресс в области авиационных технологий. Они становятся все более автономными, интеллектуальными и приспособленными к различным задачам. Будущее БПЛА видится в более широком применении в различных сферах, включая грузоперевозки, экологическую мониторинг, коммуникации и многое другое. Они будут играть важную роль в повышении эффективности, безопасности и экономической выгоды многих отраслей, их развитие будет продолжаться, открывая новые горизонты для исследований и применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абрамов А.* Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в гражданской авиации. Вестник Российского авиационно-космического университета им. М.Е. Жуковского. 2020.
2. *Иванов В.* Роль беспилотных летательных аппаратов в военных операциях. Военная мысль. 2019.
3. *Петров С.* Беспилотные летательные аппараты в научных исследованиях. Журнал "Наука и Техника". 2021.

Зарайченков Станислав Максимович, студент ПИ (филиала) ДГТУ в г. Таганроге, Россия, город Таганрог, улица Фрунзе 112, 347904, телефон: +7 (952) 602-71-79, email: royultra77@gmail.com.

Zaraychenkov Stanislav Maksimovich, student of the PI (branch) of the DSTU in Taganrog, Russia, Taganrog city, Frunze street 112, 347904, phone: +7 (952) 602-71-79, email: royultra77@gmail.com.

УДК 629.735.015

Асовский Валерий Павлович, Кузьменко Алла Сергеевна,
Асовский Алексей Валериевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОПРЫСКИВАНИЯ СКЛОНОВ БЕСПИЛОТНЫМИ ВОЗДУШНЫМИ СУДАМИ

Рассмотрены вопросы моделирования процессов и показателей опрыскивания с применением беспилотных воздушных судов вертолетного типа. Сформирован и апробирован расчетно-программный комплекс моделирования, с использованием которого получены расчетные данные опрыскивания беспилотным воздушным судном DJI T20 склоновых участков с уклоном до 30° в характерных условиях проведения обработок. Подтверждена возможность выполнения DJI T20 обработок склоновых участков с уклоном до 30°, выявлены основные закономерности влияния на показатели обработок внешних и технологических параметров, сформированы рекомендации по выполнению обработок в условиях ветра.

Моделирование, беспилотное воздушное судно (БВС), внесение веществ, склон, параметры полета, обработка.

Valery Pavlovich Asovsky, Alla Sergeevna Kuzmenko,
Alexey Valeryevich Asovsky

SIMULATION OF PROCESSES AND INDICATORS OF SPRAYING SLOPES BY UNMANNED AIRCRAFT

The article discusses the issues of modeling the processes and indicators of spraying with the use of unmanned helicopter-type aircraft. A calculation and software modeling complex was formed and tested, using which calculated data were obtained for spraying slope areas with a slope of up to 30° by an unmanned DJI T20 aircraft under typical treatment conditions. The possibility of performing DJI T20 treatments of slope areas with a slope of up to 30° has been confirmed. The main regularities of the influence of external and technological parameters on the indicators of processing are revealed, recommendations for performing treatments in wind conditions are formed.

Modeling, unmanned aircraft (UAV), application of substances, slope, flight parameters, treatment.

Введение

Одним из наиболее перспективных направлений развития гражданских беспилотных технологий в настоящее время считается использование беспилотных воздушных судов (БВС) в интересах агропромышленного комплекса. В этой сфере в ближайшие годы может быть задействовано до 80-90 % всех коммерческих БВС, при этом значительная их часть (25 - 40 %) будет использована для внесения пестицидов и агрохимикатов ([1-3]). Такое использование БВС связано с необходимостью, наряду с общим обеспечением летной годности и безопасности полетов, решения многих специальных вопросов, связанных с обеспечением качества, безопасности и эффективности обработок БВС. Анализ проведенных к настоящему времени преимущественно зарубежных исследований некоторых из этих вопросов ([3-5]) показывает, что наиболее острой проблемой в этой области является отсутствие средств моделирования процессов и показателей опрыскивания для разнообразных параметров, условий и режимов полета, свойств применяемых жидкостей и показателей ее выпуска, видов работ и обрабатываемых культур.

Основная часть

В процессе проведенных исследований с учетом ранее полученных результатов ([6-8]) в среде программирования DELPHI был разработан, апробирован и модернизирован для решения специальных задач расчетно-программный комплекс моделирования процессов и показателей внесения рабочих жидкостей (опрыскивания) с применением БВС вертолетного типа. Исходными данными комплекса являются технические характеристики БВС и системы опрыскивания, показатели участка (покрытие, уклоны), внешние условия (параметры атмосферы, включая скорость и направление ветра и стратификацию приземного слоя), свойства рабочих жидкостей (состав, физико-химические параметры компонентов), данные выпуска и диспергирования рабочей жидкости и технологические параметры опрыскивания (норма внесения, схема настройки, рабочая скорость и высота полета). Апробация расчетно-программного комплекса на примере характерных обработок ряда отечественных и зарубежных БВС подтвердила приемлемую достоверность, адекватность и точность результатов моделирования в сравнении с экспериментальными данными, что позволяет использовать разработанный комплекс для решения широкого перечня научно-практических задач, в частности, оценку влияния различных параметров ожидаемых условий применения БВС на показатели его опрыскивания.

Одной из перспективных областей применения БВС является опрыскивание участков на склонах, особенно крутых (уклон до $35-40^\circ$, [9]), где обработка традиционной наземной и авиационной техникой невозможна.

Для оценки влияния уклона участка на процессы и показатели опрыскивания склонов БВС с использованием расчетно-программного комплекса для характерных ожидаемых условий были проведено моделирование обработки распространенным гексакоптером DJI Agras T20 участков с уклонами до 30° при норме внесения водного десятипроцентного раствора типового пестицида 10 л/га с базовой рабочей скорости 5 м/с при варьировании высоты опрыскивания (3 и 5 м), условий стратификации (параметр Тейлора ([10]) в пределах 0,2 – 5,8), скорости (W до 2 м/с) и направлению (вверх ($W_z > 0$) и вниз ($W_z < 0$) по склону) ветра.

Для примера влияния поперечного уклона на формирование вихревого следа БВС на рис.1 показана его расчетная конфигурация (вид спереди) для высоты полета 5 м при сильной неустойчивости атмосферы и безветрии соответственно для горизонтальной поверхности ($Ag = 0$, а)) и склона при $Ag = 15^\circ$ (б)).

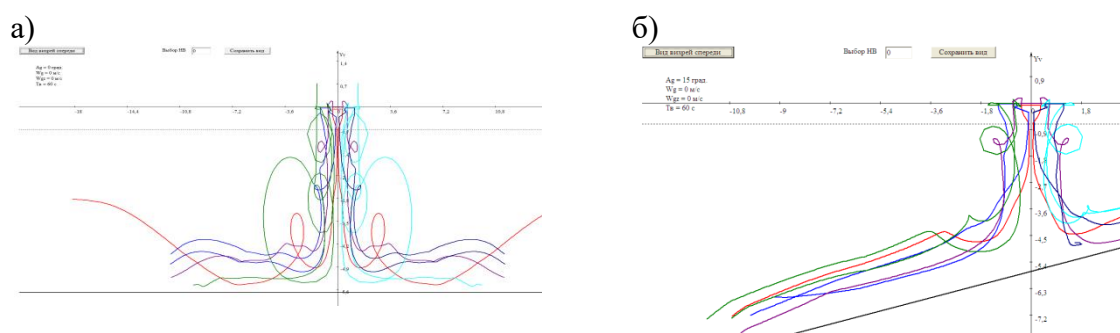


Рис. 1. Расчетная конфигурация вихревого следа гексакоптера DJI Agras T20 при полете на скорости 5 м/с и высоте 5 м в условиях сильной неустойчивости атмосферы (безветрие) над горизонтальной поверхностью (а)) и вдоль склона 15° (б))

Как показывают расчеты, при полете БВС вдоль склона происходит существенная и связанная с уклоном перестройка вихревого следа, при которой обращенная вниз по склону часть свободных вихрей «расползается» в этом направлении, а оставшаяся остается в зоне линии пролета, при этом боковой ветер приводит к дополнительному смещению системы вихрей в направлении ветра.

Перестройка вихревого следа БВС приводит к изменению поля индуктивных скоростей, которое в основном определяет процессы осаждения рабочей жидкости (на рис. 2 для примера представлено поле индуктивных скоростей в поперечной плоскости в 20 м за БВС для рассмотренного выше случая).

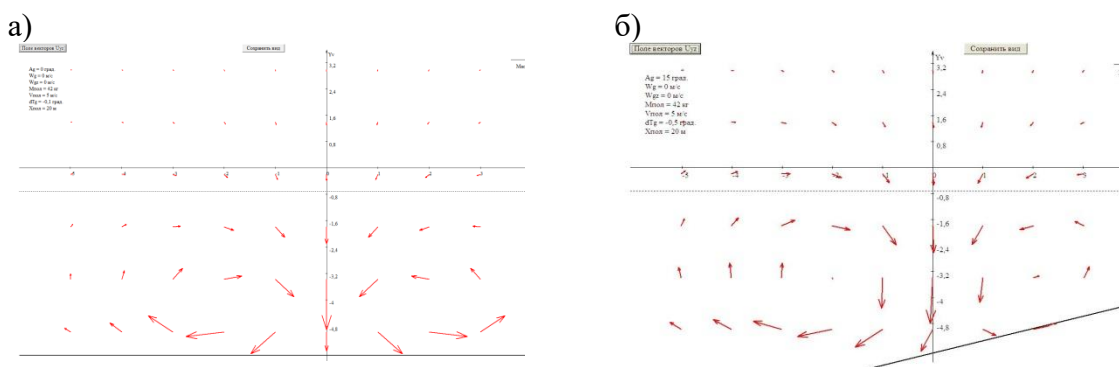


Рис. 2. Расчетное поле индуктивных скоростей гексакоптера DJI Agras T20 при полете на скорости 5 м/с и высоте 5 м в условиях сильной неустойчивости атмосферы (безветрие) над горизонтальной поверхностью (а)) и вдоль склона 15° (б))

Отмеченная асимметрия вихревого следа и поля индуктивных скоростей при полете БВС над склоном очевидно связана с отличиями траекторий движения и показателей осаждения капель рабочей жидкости, выпущенных при опрыскивании с сопоставимыми параметрами вверх и вниз по склону (рис. 3).

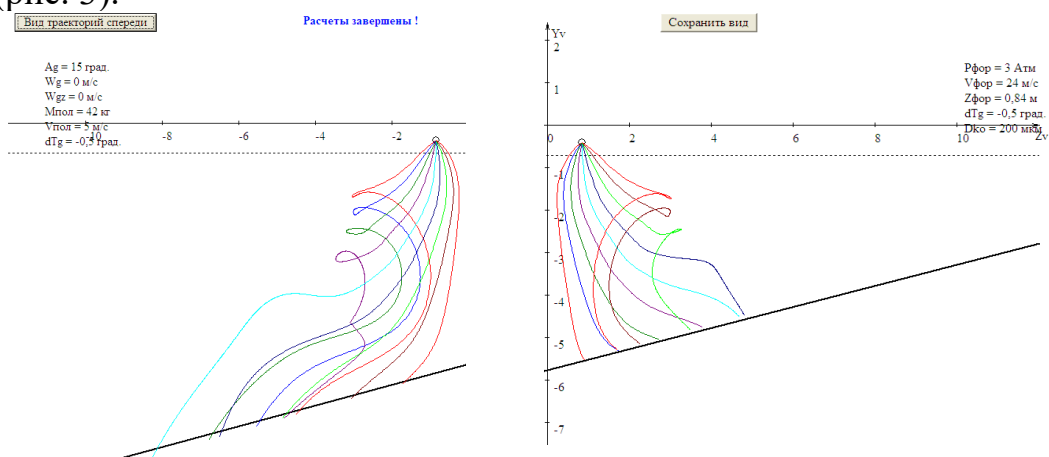


Рис. 3 – Траектории движения (вид спереди) капель с начальным диаметром 200 мкм, выпущенной из внешних задних форсунок XR110-01 гексакоптера DJI Agras T20 при полете вдоль склона 15° на скорости 5 м/с и высоте 5 м в условиях сильной неустойчивости (безветрие)

Реализованные в программном комплексе процедуры численного интегрирования показателей осаждения капель рабочей жидкости по форсункам, углам выпуска и размерам выпущенных капель для заданных условий и параметров обработки БВС позволяют получить эпюры распределения показателей внесения жидкости на обрабатываемом участке в одиночной волне осаждения (на рис. 4 для примера показаны характерные эпюры объемов осевшей жидкости на склоне 15° при опрыскивании гексакоптером DJI Agras T20 с нормой внесения 10 л/га на высоте полета 3 м в условиях ветра вверх и вниз по склону), которые позволяют оценить значимые показатели обработок БВС и влияние на них внешних параметров.

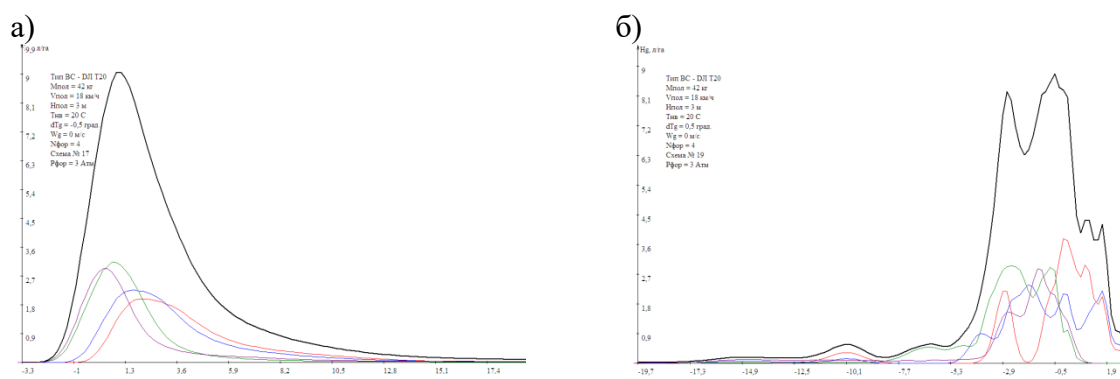


Рис. 4 – Расчетное распределение объемов жидкости на склоне 15° при опрыскивании гексакоптером DJI Agras T20 с нормой внесения 10 л/га на высоте полета 3 м в условиях бокового ветра 2 м/с вверх (а)) и вниз (б)) по склону

Единичные коэффициенты корреляции некоторых значимых интегральных показателей от внешних параметров опрыскивания для полученного в работе массива расчетных данных представлены в табл.1.

Таблица 1

Единичная корреляция показателей и параметров опрыскивания БВС

Показатели	Параметр Тейлора P_t	Уклон A_g , град.	Боковой ветер W_z , м/с	Высота по- лета H_k , м
Одиночная волна осаждения				
Размах волны осаждения Z_{vo} , м	-0,195	-0,224	-0,010	0,289
Доля осевших капель K_k , %	0,065	0,587	-0,241	0,158
Доля осевшей жидкости K_q , %	-0,481	-0,277	-0,075	-0,273

Медианно-объемный диаметр, мкм	-0,525	0,240	0,376	0,375
Максимальное покрытие, шт./см ²	0,817	-0,046	-0,165	-0,258
Обработка участка (рабочая ширина захвата 6 м)				
Средняя норма внесения Н _{ср} , л/га	-0,554	-0,154	0,103	-0,202
Средняя плотность покрытия, шт./см ²	0,119	0,629	-0,214	0,181
Вариация внесения капель K _{vn} ,%	0,852	-0,333	-0,144	-0,561
Вариация внесения жидкости K _{vq} ,%	0,785	-0,101	-0,026	-0,576

Как видно из этой таблицы, все представленные в ней параметры оказывают определенное, хотя в большинстве своем однозначно не определяющее, влияние на интегральные показатели осаждения и обработок БВС, обусловленных комплексом параметров. Примечательно, что при прочих равных условиях при опрыскивании БВС склонов с уклонами до 30° увеличение А_г позитивно сказывается полноте осаждения и плотности покрытия капель и равномерности внесения рабочей жидкости при некотором ухудшении других показателей, т.е. качество обработки в целом сопоставимо с традиционной обработкой горизонтальных участков.

На основании обобщения полученных данных моделирования и их регрессионного анализа с выделением многофакторных статистически значимых моделей описания для рассмотренных вариантов обработки БВС склонов с уклонами до 30° можно выделить следующие положения:

- основные показатели опрыскивания БВС склоновых участков существенно нелинейно и разнонаправлено связаны с величинами уклонов обрабатываемых склонов и параметрами ветровой обстановки на них;

- по мере увеличения уклонов общий размах волн осаждения жидкости с БВС уменьшается до 7-8 % при безветрии и дополнительно примерно на 20 % при ветре силой до 2 м/с вверх по склону, в то время как такой ветер вниз по склону связан с увеличением размаха до 20 %;

- изменение конфигурации и показателей волн осаждения жидкости с ростом уклонов участков в условиях безветрия при практически неизменном дисперсном составе осевшей жидкости (отклонения медианно-

объемных диаметров в пределах 3-4 %) приводит к увеличению доли осевших на склон капель и их объемов, при том, что боковой ветер при общем снижении уровня этих показателей существенно корректирует эту тенденцию, нивелируя такое изменение при ветре вверх по склону и усиливая для противоположного направления;

- средние нормы внесения рабочей жидкости и плотности покрытия каплями при выполнении обработок БВС склонов прямо связаны с показателями количества осевшей жидкости в волне осадения при аналогичном влиянии на них комбинации параметров уклона, скорости и направления ветра;

- характерной особенностью обработки БВС склонов является ощутимое уменьшение неравномерности внесения капель при увеличении углов склонов и скорости ветра, особенно направленного вниз по склону (до 40-60 %), при том, что ветер вверх по склону значительно увеличивает неравномерность внесения объемов рабочей жидкости (до 80-90 %).

Выводы

В процессе исследований разработан и апробирован расчетно-программный комплекс моделирования процессов и показателей опрыскивания БВС вертолетного типа, обеспечивающий решение актуальных специальных научно-практических задач перспективного использования БВС для внесения пестицидов и агрохимикатов. Выполненное с применением комплекса моделирование опрыскивания склонов с уклонами до 30° подтвердило возможность выполнения БВС таких обработок при сопоставимых с традиционными обработками показателями внесения, выявило основные закономерности влияния на них внешних и технологических параметров и определило целесообразность преимущественного проведения БВС обработок таких склонов в условиях направленного вниз по склону ветра силой до 2 м/с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/atlas-dronov-dlya-selskogo-hozyaystva-shbla-i-rynok-2018-2025-gg-20181228115129.
2. *Дашковский И., Шивков И.* Робот над полем. Растущая потребность АПК в беспилотниках подталкивает ученых на разработку специализированных дронов для сельского хозяйства. // Агротехника и технологии, № 6, 2017 (<https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/28926-robot-nad-polem>).

3. State of the Knowledge Literature Review on Unmanned Aerial Spray Systems in Agriculture. OECD Working Party on Pesticides (WPP), OECD Drone Sub-Group Bonds Consulting Group LLC, Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. June 2021. - 34 p.
4. *Chen P, Douzals JP, Lan Y, Cotteux E, Delpuech X, Pouxviel G and Zhan Y.* Characteristics of unmanned aerial spraying systems and related spray drift: A review. *Front. Plant Sci.* 13:870956. doi: 10.3389/fpls.2022.870956.
5. *Zhang H Y, Lan Y B, Shen N W, Wu J Y, Wang T, Han J, Wen S.* Numerical analysis of downwash flow field from quad-rotor unmanned aerial vehicles. *Int J Precis Agric Aviat*, 2020; 3(4): 1–7, doi: 10.33440/j.ijpaa.20200304.138.
6. *Асовский В.П.* Теория и практика авиационного распределения веществ. - М.: Воздушный транспорт, 2008. - 580 с.
7. Использование компьютерного моделирования процессов опрыскивания в задачах повышения эффективности авиационно-химических работ / А.С. Кузьменко // Известия ЮФУ. Технические науки. – № 2 (204), 2019. – С. 89–104.
8. *Асовский В.П., Кузьменко А.С.* Моделирование процессов авиационного опрыскивания с применением беспилотных воздушных судов. // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2022»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2022. - Т. 2. – 377 с. – с. 319-323.
9. *Осинов С.В.* Шкалы уклонов земной поверхности и способы их разработки. / Вестник ВГУ, Серия: География, геоэкология, 2016, № 3, с. 45-50.
10. Методика расчета рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах. Руководящий документ РД 52.18.717-2009. – Обнинск: ООО «Принт-Сервис», 2009. –113 с.

Асовский Валерий Павлович, доктор технических наук, ученый секретарь НПК «ПАНХ», Россия, город Краснодар, ул. Кирова 138, 350000, e-mail: vasov63@mail.ru.

Кузьменко Алла Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры летательных аппаратов Южного федерального университета, 347900 Россия, город Таганрог, переулок Тургеневский, 44, телефон: +7 (8634) 37-16-97, e-mail: akuzm@sfnu.ru.

Асовский Алексей Валериевич, студент группы КТбз5-4 Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета; техник-программист НПК «ПАНХ», Россия, город Краснодар, ул. Кирова 138, 350000, e-mail: asoval@mail.ru.

Asovsky Valery Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, scientific secretary of NPK «PANH», 350000, Russia, Krasnodar, 138 Kirova Str., e-mail: vasov63@mail.ru.

Kuzmenko Alla Sergeevna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of the Department of Aircraft of Radio Engineering Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, trans. Turgenevsky, 44, phone: +7 (8634) 37-16-97, e-mail: akuzm@sfedu.ru.

Asovsky Aleksey Valerievich, student of group KTbz5-4 of the Institute of Computer Technology and Information Security of the Southern Federal University; programmer technician of NPK «PANH», 350000, Russia, Krasnodar, 138 Kirova Str., e-mail: asoval@mail.ru.

Секция – Современные микро- и нанoeлектронные системы и технологии

УДК.621.382

Андрианов Артур Валерьевич, Зикий Анатолий Николаевич,
Кочубей Алексей Сергеевич

**АТТЕНЮАТОР САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С
ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Проводится исследование амплитудно-частотных характеристик управляемого аттенюатора сантиметрового диапазона. Даны принципиальная схема и краткое описание конструкции. Приведена структурная схема экспериментальной установки. В качестве результатов представлены: амплитудно-частотная характеристика при нулевом токе смещения и амплитудно-частотная характеристика закрытого аттенюатора. Достигнуты следующие параметры:

- диапазон рабочих частот от 8 до 18 ГГц;
- затухание в открытом состоянии не более 3 дБ;
- затухание в закрытом состоянии не менее 36 дБ;
- максимальный управляющий ток 20 мА;
- волновое сопротивление 50 Ом.

Аттенюатор с электронным управлением, сантиметровый диапазон волн; ослабление, затухание, амплитудно-частотная характеристика, ток управления.

Andrianov Artur Valeryevich, Zikiy Anatoly Nikolaevich,
Kochubey Alexey Sergeevich

**CENTIMETER RANGE ATTENUATOR WITH ELECTRONIC
CONTROL**

The amplitude-frequency characteristics of a controlled attenuator in the centimeter range are being investigated. A schematic diagram and a brief description of the design are given. A block diagram of the experimental setup is given. The results are: the amplitude-frequency response at zero bias current and the amplitude-frequency response of a closed attenuator. The following parameters have been achieved:

- operating frequency range from 8 to 18 GHz;
- attenuation in the open state is not more than 3 dB;
- attenuation in the closed state of at least 36 dB;

- *maximum control current 20 mA;*
- *Wave resistance of 50 ohms.*

Electronically controlled attenuator, centimeter wave range; attenuation, attenuation, amplitude-frequency response, control current.

Введение

Разработкой, изготовлением и поставкой аттенюаторов СВЧ занимаются многочисленные отечественные и зарубежные предприятия. Среди отечественных предприятий следует отметить АО ННИПИ «Кварц», НПП «Салют», АО НПП «Исток», «МИКРАН», РНИИРС. Среди зарубежных предприятий наибольшей известностью пользуются «Miteq», MA/Com, Analog Devices и другие.

По аттенюаторам имеется обширная литература, в том числе монографии [1 – 5], учебные пособия [6], статьи [7 – 9], изобретения [10 – 12], реклама [13, 14].

Целью данной работы является получение экспериментальных амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) аттенюатора.

К аттенюатору предъявляются следующие требования:

- диапазон рабочих частот от 8 до 18 ГГц;
- начальные потери не более 3 дБ;
- минимальное ослабление в закрытом состоянии не менее 30 дБ;
- КСВН в режиме пропускания не более 2,2;
- управляющий ток не более 20 мА;
- волновое сопротивление 50 Ом.

Имеется целый ряд моделей аттенюаторов, близких к указанным требованиям. Они перечислены в табл. 1.

Таблица 1

Модельный ряд аттенюаторов

Наименование параметра, размерность	2.60.251	2.260.251-01	2.260.162
Диапазон рабочих частот, ГГц	6 – 18	8 – 26	8 – 18
Начальные потери, дБ	2,0	2,5	3,0
Ослабление min, дБ	50	50	30
КСВН в режиме пропускания	2,0	2,0	2,2

Максимальная входная мощность, Вт	0,3	0,3	0,3
Время переключения, мкс	0,5	0,5	0,5
Управляющий ток, мА	50	50	20
Соединители	SMA-F	SMA-F	Тип IX по ГОСТ 13317

Из перечисленных в табл. 1 аттенюаторов наиболее близкой по предъявленным требованиям является модель 2.260.162 [13], поэтому ниже будет исследована эта модель.

Схема и конструкция [15, 16]

Принципиальная схема приведена на рис. 1. Она включает четыре параллельно включённых диода VD1 – VD4 типа 2A540A-5 [17], два из которых имеют регулировку по величине протекающих через них токов (VD1, VD4). Регулировкой тока с помощью резисторов R1, R2 подбирается режим согласования аттенюатора по входу и выходу. Удовлетворительная неравномерность АЧХ достигается благодаря малому количеству диодов и их малой паразитной реактивности.

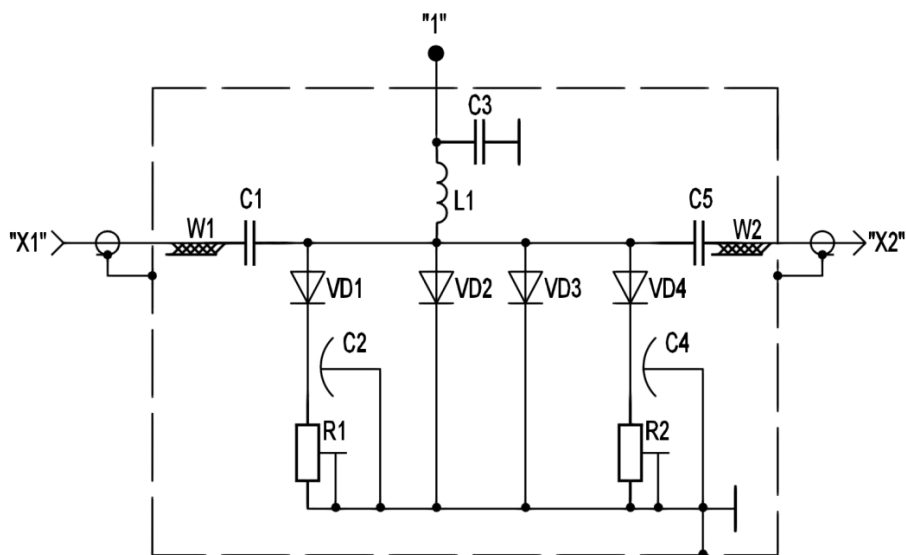


Рис. 1. Принципиальная схема аттенюатора

Подача управляющих токов осуществляется через контакт I и дроссель L1, конденсатор C3 выполняет роль блокировочного по сигналу. Конденсаторы C1, C5 предотвращают попадание постоянного напряжения на соединители X1 и X2. Конденсаторы C2, C4 являются блокировочными, предотвращая попадание СВЧ сигнала на резисторы R1, R2.

Возрастание управляющего тока приводит к возрастанию ослабления аттенюатора. Реализация точного соотношения между величиной управляющего напряжения и вносимым аттенюатором ослабления в децибелах осуществляется функциональным преобразователем. При этом требуется тщательная регулировка функционального преобразователя под каждый конкретный аттенюатор.

Конструктивно аттенюатор выполнен на основе микрополосковой линии на диэлектрике сверхвысокочастотном фольгированном тонком (ДСФТ) и размещены в герметичном металлическом корпусе. Внутренний объём которого заполнен аргоно-гелиевой смесью. В качестве соединителей использованы коаксиально-микрополосковые переходы (вилка и розетка).

На рис. 2 можно видеть фото аттенюатора. Сигнал управления подаётся через стеклянный изолятор.



Рис. 2. Фото аттенюатора

Эксперимент

Эксперимент проводился на установке, структурная схема которой приведена на рис. 3. Основным измерительный прибор – векторный анализатор цепей фирмы Agilent Technologies типа PNA-L. Кроме него использован источник питания типа GPC-73060D, набор кабелей и переходов.

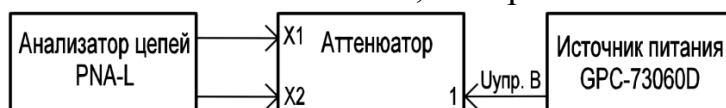


Рис. 3. структурная схема измерительной установки

В первом эксперименте проводилось измерение АЧХ при нулевом токе и напряжении. В результате было установлено, что максимальное

ослабление аттенюатора при таком режиме управления составило не более 2,2 дБ, а неравномерность АЧХ составила 1,14 дБ.

Во втором эксперименте измерялась АЧХ при напряжении на управляющем контакте 644 мВ и токе 1 мА. Здесь наибольшее ослабление составило 20,72 дБ, неравномерность АЧХ 2,02 дБ

В третьем эксперименте проводилось измерение АЧХ при токе управления 5 мА и напряжении 706 мВ. Максимальное ослабление аттенюатора в этом случае составило 38,54 дБ, а неравномерность АЧХ 5,62 дБ.

АЧХ, полученные в результате трех экспериментов, представлены на рис. 4.

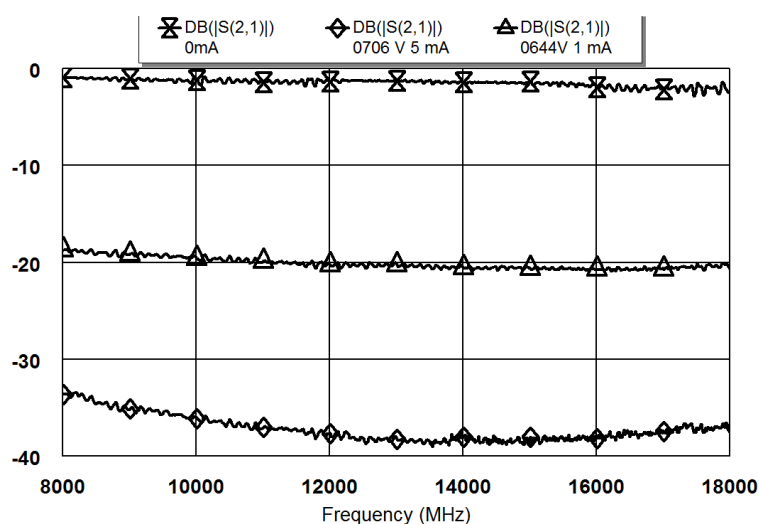


Рис. 4. АЧХ для трёх значений управляющих токов и напряжений

Выводы

Ниже в табл. 2 проводится сравнение заданных и полученных параметров аттенюатора.

Таблица 2

Основные параметры аттенюатора

Наименование параметра, размерность	Задано	Измерено
Диапазон рабочих частот, ГГц	8 – 18	8 – 18
Начальные потери, дБ	3,0	2,2
Ослабление min, дБ	30	38,54
Время переключения, мкс	0,5	0,5
Управляющий ток, мА	20	1
Волновое сопротивление, Ом	50	50
Соединители	Тип IX	Тип IX

Из этой таблицы видно, что все требования к аттенюатору выполняются.

Аттенюатор рекомендуется использовать в широкополосной приёмно-передающей и измерительной аппаратуре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дзехцер Г.Б., Орлов О.С.* PIN-диоды в широкополосных устройствах СВЧ. – М.: Сов. радио, 1970. – 200 с.
2. Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы. Под ред. А. М. Кудрявцева. – М.: Радиотехника, 2006. – 208 с.
3. *Бова Н.Т., Стукало П.А., Храмов В.А.* Управляющие устройства СВЧ. Киев, Техника, 1973. – 164 с.
4. *Шаров Г.А.* Волноводные устройства сантиметровых и миллиметровых волн. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 640 с.
5. Микроэлектронные устройства СВЧ/ Бова Н.Т., Ефремов Ю.Г., Конин В.В. и др. Киев, Техника, 1984. – 184 с.
6. Микроэлектронные устройства СВЧ. Учебное пособие. Под ред. Г.И. Веселова. – М.: Высшая школа, 1988. – 280 с.
7. *Андрианов А.В., Зикий А.Н., Зиновьев С.С., Сальный И.А.* Широкополосные аттенюаторы с электронным управлением. Инженерный вестник Дона, 2017, №3
8. *Богданов Ю.М., Зикий А.Н., Пустовалов А.И.* Аттенюатор с цифровым управлением на базе модуля М44752. Известия ЮФУ, серия Технические науки, 2021, №3 (220), с. 135 – 142.
9. *Андрианов А.В., Зикий А.Н., Пустовит А.А., Сальный И.А.* Моделирование и экспериментальное исследование аттенюатора сантиметрового диапазона. Вопросы специальной радиоэлектроники, Общие вопросы радиоэлектроники, 2020, №1
10. *Анбиндерис Т.Т., Антонов В.А., Чернышов Г.Н., Яковер И.М.* Переменный волноводный аттенюатор. Авт. Свид. СССР №1.478.928. Н01р 1/22.
11. *Резинкин В.П., Перлин Б.Г.* Электрически управляемый аттенюатор. Авт. Свид. СССР №1.775.765. Н01р 1/22.
12. *Прохоров Р.А., Дмитриенко В.А.* Аттенюатор. Авт. Свид. СССР №1.762.349. Н01р 1/22.
13. Диодные регулируемые устройства ВЧ, СВЧ и КВЧ. Каталог. Нижний Новгород, ННИПИ «Кварц», 1990. – 108 с.

14. Коаксиальные, волноводные и оптические устройства. Каталог. Нижний Новгород, НИИПИ «Кварц», 2002. – 81 с.
15. Синтезатор частот РЧ6-03. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ЕЭ2.206.521ТО. Альбом 1. – 406 с.
16. Синтезатор частот РЧ6-03. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ЕЭ2.206.521ТО1. Приложение. Альбом 1. – 215 с.
17. Полупроводниковые приборы. СВЧ диоды. Справочник. Под ред. Б.А. Наливайко. Томск, МГП «РАСКО», 1992 – 222 с.
18. *Джуринский К.Б.* Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. – М.: Техносфера, 2006. – 216 с.

Андрианов Артур Валерьевич, начальник лаборатории Таганрогского научно исследовательского института связи, Россия, город Таганрог, улица Седова 3, 347900, телефон: +79996972926, email: artur_andrianov_1990@mail.ru

Зикий Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Таганрогского научно исследовательского института связи, Россия, город Таганрог, улица Седова 3, 347900, телефон: +79185822295, email: zikiy50@mail.ru

Кочубей Алексей Сергеевич, магистр, инженер-конструктор 2 категории Таганрогского научно исследовательского института связи, Россия, город Таганрог, улица Седова 3, 347900, телефон: +79896270939, email: l.co4ubey@ya.ru

Andrianov Artur Valeryevich, Head of the Laboratory of the Taganrog Scientific Research Institute of Communications, 3 Sedova Street, 347900, Taganrog, Russia, phone: +79996972926, email: artur_andrianov_1990@mail.ru

Zikiy Anatoly Nicolaevich, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Taganrog Scientific Research Institute of Communications, 3 Sedova Street, 347900, Taganrog, Russia, phone: +79185822295, email: zikiy50@mail.ru

Kochubey Alexey Sergeevich, Master's degree, Design Engineer of the 2nd category of the Taganrog Scientific Research Institute of Communications, 3 Sedova Street, 347900, Taganrog, Russia, phone: +79896270939, email: l.co4ubey@ya.ru

УДК.621.382

Андрианов Артур Валерьевич, Зикий Анатолий Николаевич,
Кочубей Алексей Сергеевич

СТУПЕНЧАТЫЙ АТТЕНЮАТОР С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Целью данной работы является экспериментальное исследование **характеристик** ступенчатого аттенюатора.*

Объектом исследования является ступенчатый аттенюатор из состава прибора X1–55.

Представлены результаты экспериментального исследования в диапазоне частот от 200 до 600 МГц. Даны принципиальная схема, краткое описание конструкции, шесть амплитудно-частотных характеристик для разных управляющих кодов.

- *достигнуты следующие электрические параметры:*
- *диапазон рабочих частот от 0,2 до 0,6 ГГц;*
- *диапазон затуханий от 0 до 50 дБ;*
- *шаг изменения затухания 10 дБ;*
- *число разрядов управления 3;*
- *погрешность установки затухания 5,5 дБ;*
- *неравномерность амплитудно-частотной характеристики в диапазоне рабочих частот не более 5 дБ.*

Pin-диоды, диапазон частот, эксперимент, амплитудно-частотная характеристика, код управления.

Andrianov Artur Valeryevich, Zikiy Anatoly Nikolaevich,
Kochubey Alexey Sergeevich

STEP ATTENUATOR WITH ELECTRONIC CONTROL

The purpose of this work is an experimental study of the characteristics of a step attenuator.

The object of the study is a step attenuator from the composition of the device X1–55.

The results of an experimental study in the frequency range from 200 to 600 MHz are presented. A schematic diagram, a brief description of the design, six amplitude-frequency characteristics for different control codes are given.

- *the following electrical parameters have been achieved:*

- *operating frequency range from 0.2 to 0.6 GHz;*
- *attenuation range from 0 to 50 dB;*
- *attenuation change step of 10 dB;*
- *number of control bits 3;*
- *the error of the attenuation setting is 5.5 dB;*
- *uneven amplitude-frequency response in the operating frequency range of no more than 5 dB.*

Pin diodes, frequency range, experiment, amplitude-frequency response, control code.

Введение

Аттенюаторы нашли применение в приемно-передающей и измерительной аппаратуре. Их исследованию и описанию посвящено значительное число публикаций, в том числе монографии [1-3], учебные пособия [4,5], статьи [6-13], реклама [14, 15], диссертации [16-20], однако повышение требований к аппаратуре, появление новых требований и новой элементной базы стимулируют дальнейшие исследования.

Целью данной работы является экспериментальное исследование характеристик ступенчатого аттенюатора, не приведенных в описании [21,22]. Объектом исследования является ступенчатый аттенюатор из состава прибора Х1-55 [21,22].

К нему предъявляются следующие требования:

- диапазон рабочих частот 200-600 МГц;
- минимальное затухание 3 ± 0.5 дБ;
- максимальное затухание 47 ± 2.5 дБ;
- волновое сопротивление 50 Ом;
- шаг установки затухания 10 дБ;
- число звеньев затухания – 3;
- номинальные затухания звеньев, дБ: 10; 20; 30.

Схема и конструкция

Регулятор ступенчатый служит для дискретной регулировки сигнала 328 МГц ступенями через 10 дБ в пределах от 0 до - 60 дБ. Регулятор ступенчатый управляется сигналами, поступающими от схемы управления, расположенного в регуляторе мощности автоматическом 5.157.029. Регулятор ступенчатый содержит коммутаторы на р-і-п диодах, с помощью которых осуществляется подключение в тракт СВЧ резистивных аттенюаторов

с фиксированным ослаблением 10 (R7, R8, R9), 20 (R4, R5, R6) и 30 дБ (R1, R2, R3, R10).

В качестве управляемых элементов используется pin-диоды типа 2A517Б-2. Резисторы для аттенюаторов напылены на подложке из керамики 22ХС.

Принципиальная схема аттенюатора показана на рис. 1. Коды управления аттенюатором приведены в табл. 1. В табл. 2 указаны сопротивления напылённых резисторов.

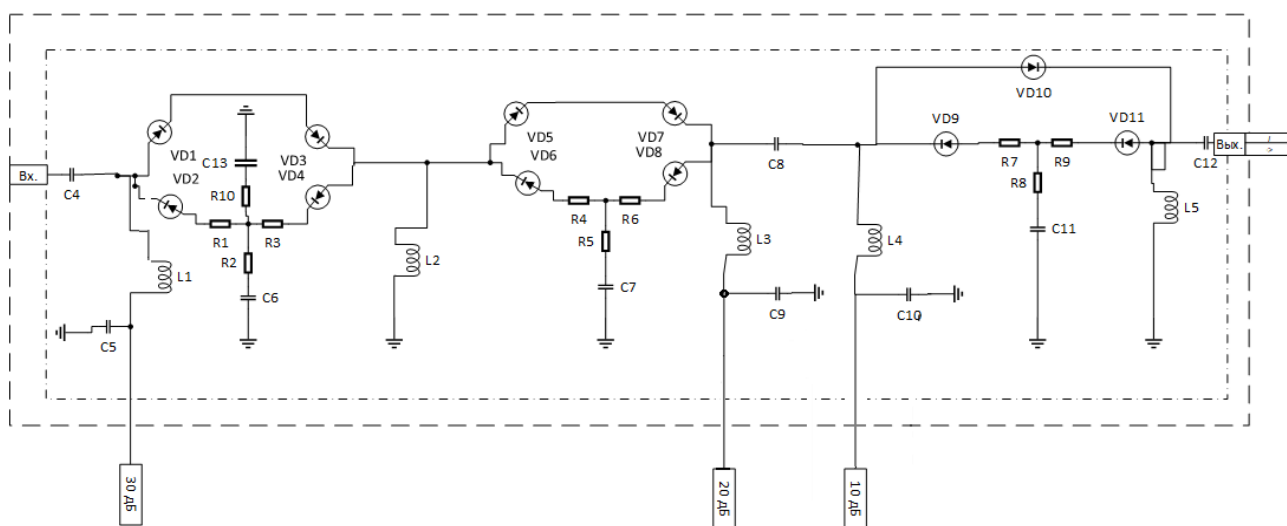


Рис. 1. Принципиальная схема ступенчатого аттенюатора

В качестве блокировочных и развязывающих емкостей используются бескорпусные конденсаторы типа К10-17-2Б. Катушки L1-L5 – бескаркасные.

Печатная плата аттенюатора помещена в корпус рамочного типа с внешними размерами $a \cdot b \cdot c$ мм. После регулировки корпус закрывается двумя герметичными крышками. В качестве соединителей СВЧ использованы гнезда типа IX по ГОСТ 13317-89. Управляющие сигналы подаются через помехоподавляющие конденсаторы C5, C9, C10 типа Б23А емкостью 1000пФ.

Таблица 1

Коды (токи) управления аттенюатором

Затухание, дБ	Вход упр. «10 дБ»	Вход упр. «20 дБ»	Вход упр. «30дБ»
0	+ 0.75 В	+ 1.5 В	+ 1.5 В
10	- 2.8 В	+1.5 В	+ 1.5 В
20	+ 0.75 В	- 2.8 В	+ 1.5 В
30	- 2.8 В	- 2.8 В	+ 1.5 В
40	- 2.8 В	+ 1.5 В	- 2.8 В
50	+ 0.75 В	- 2.8 В	- 2.8 В
60	- 2.8 В	- 2.8 В	- 2.8 В

Таблица 2

Сопротивление напыленных резисторов

Позиционные обозначения	Звено 10 дБ, Ом	Звено 20 дБ, Ом	Звено 30 дБ, Ом
R7, R9, R8	25.5 34.8		
R4, R6, R5		40.7 10	
R1, R3, R2, R10			47 6.34

Эксперимент

Эксперимент проводился на установке, структурная схема которой приведена на рис. 2. В установке использован векторный анализатор цепей типа Обзор-103, два источника питания, набор кабелей и переходов.

Меняя управляющие напряжения в соответствии с табл. 1, были сняты шесть амплитудно-частотных характеристик в полосе от 200 до 600 МГц. Они представлены на рис. 3-8. Эти рисунки позволяют сформулировать количественные выводы о точности установки затухания и неравномерности АЧХ. В табл. 3 приведены эти параметры для диапазона частот от 200 МГц до 600 МГц. Аттенюатор работоспособен и может использоваться до 1100 МГц, однако точность установки затухания и неравномерность будут заметно хуже. Эта неравномерность объясняется паразитной емкостью закрытого pin-диода.



Рис. 2. Структурная схема измерительной установки

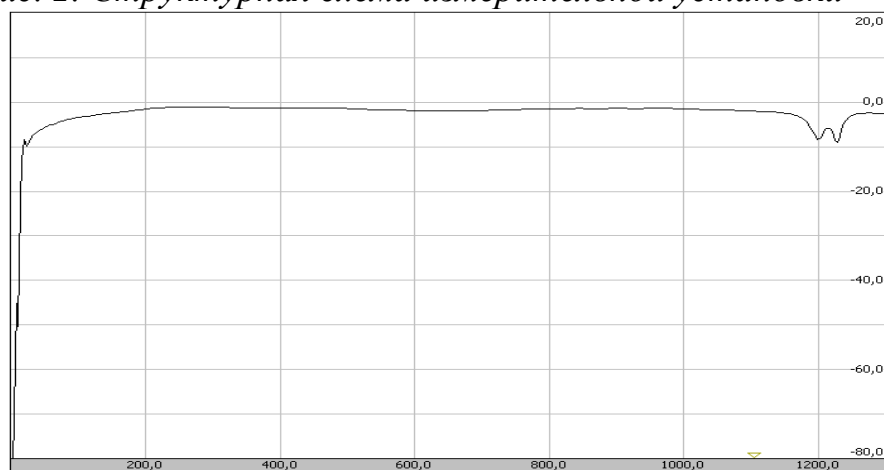


Рис. 3. АЧХ ступенчатого аттенюатора при установленном затухании 0 дБ

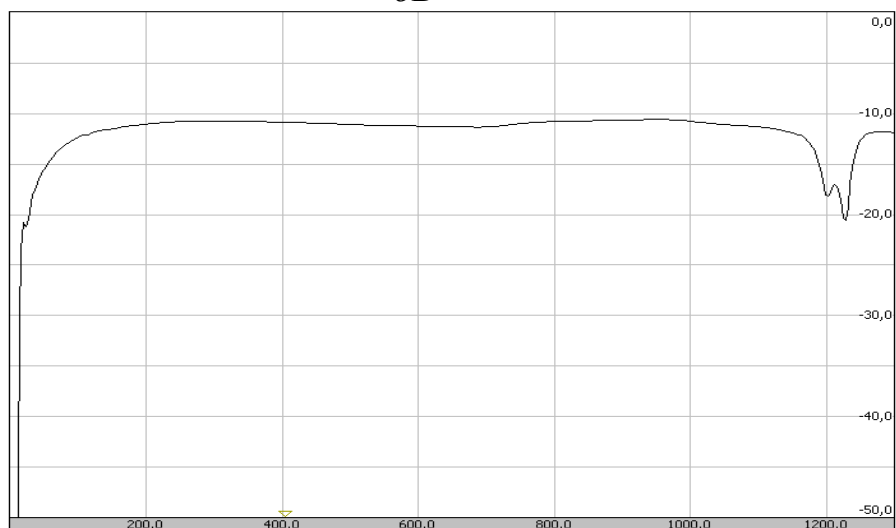
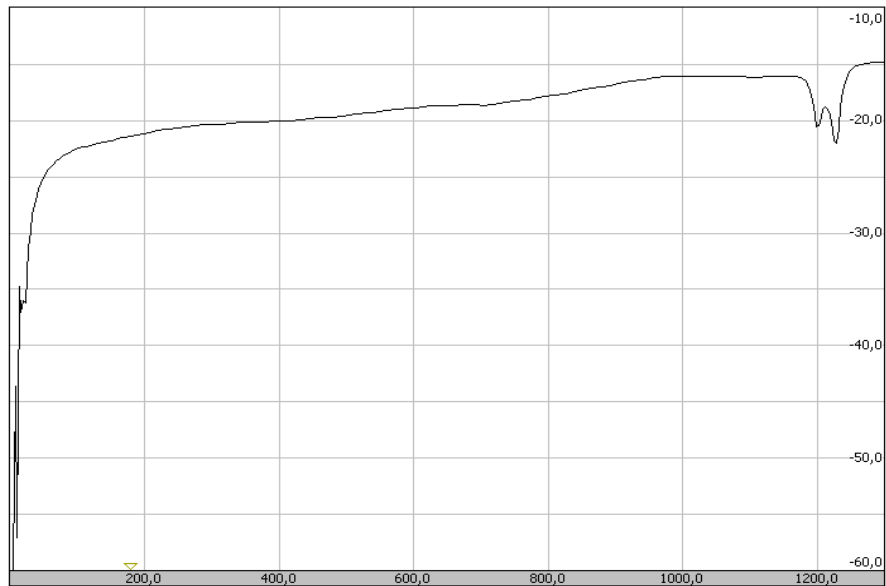
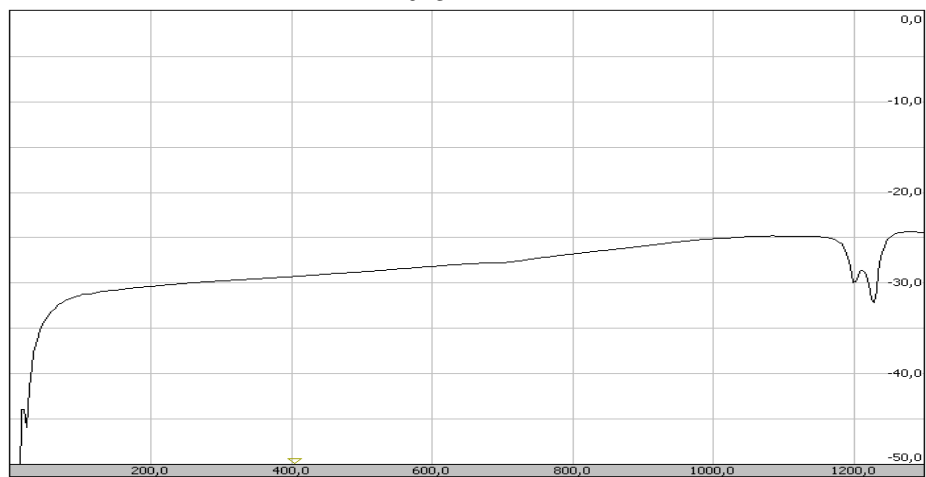


Рис. 4. АЧХ ступенчатого аттенюатора при установленном затухании 10 дБ



*Рис. 5. АЧХ ступенчатого аттенюатора при установленном затухании
20 дБ*



*Рис. 6. АЧХ ступенчатого аттенюатора при установленном затухании
30 дБ*



*Рис.7. АЧХ ступенчатого аттенюатора при установленном затухании 40
дБ*



Рис. 8. АЧХ ступенчатого аттенюатора при установленном затухании 50 дБ

Таблица 3

Измеренные значения затухания аттенюатора

Установленные значения затухания	Измеренные значения затухания в полосе 200 – 600 МГц	Неравномерность АЧХ аттенюатора в полосе 200 – 600 МГц
0	3 ± 0.5	1
10	12.25 ± 0.1	2
20	20 ± 1.5	3
30	29 ± 1.25	2.5
40	38.75 ± 1.25	2.5
50	47 ± 2.5	5

Заключение

Представлены результаты экспериментального исследования в диапазоне частот от 200 до 600 МГц. Даны принципиальная схема, краткое описание конструкции, шесть амплитудно-частотных характеристик для разных управляющих кодов.

Достигнуты следующие электрические параметры:

- диапазон рабочих частот от 0.2 до 0.6 ГГц;
- диапазон затуханий от 0 до 50 дБ;
- шаг изменения затухания 10 дБ;
- число разрядов управления 3;
- погрешность установки затухания 5.5 дБ;

- неравномерность амплитудно-частотной характеристики в диапазоне рабочих частот не более 5 дБ.

В табл. 4 приведены основные параметры аттенюатора.

Таблица 4

Основные параметры аттенюатора

Наименование параметра, размерность	Задано	Измерено
Диапазон рабочих частот, МГц	200-600	200-600
Минимальное затухание при коде управления «+++»	$3 \pm 0,5$	$3 \pm 0,5$
Максимальное затухание при коде управления «---»	$47 \pm 2,5$	$47 \pm 2,5$
Точность установки затухания, дБ	6	5.5
Неравномерность амплитудно-частотной характеристики в диапазоне рабочих частот, дБ	5	<5
Волновое сопротивление аттенюатора, Ом	50	50

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сверхширокополосные микроволновые устройства. / под ред. А.П. Креницкого и В.П. Мещанова. – М.: Радио и связь, 2001. 560 с.
2. Белоус И., Мерданов М.К., Шведов С.В. СВЧ электроника в системах радиолокации и связи. Техническая энциклопедия, В 2х ки. Кн. 2. – М.: Техносфера, 2016. – 728с.
3. Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы / под ред. А.М. Кудрявцева. – М.: Радиотехника, 2006. – 208 с.
4. Зикий А.Н., Помазанов А.В. Устройства формирования сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты: учеб. пособие. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2016. – 113 с.
5. Белов Л.А. Устройства формирования СВЧ сигналов и их компоненты: учеб. пособие. – М.: Изд. дом МЭИ, 2010. – 320 с.
6. Дьяконов В.П. Монолитные СВЧ-микросхемы аттенюаторов и усилителей компании Hittite Microwave // Компоненты и технологии. – 2012. – №2.
7. Зикий А.Н., Зламан П.Н., Горбатенко О.А. Экспериментальное исследование ступенчатого аттенюатора // Матер. 1 Всероссийской научно-практической конференции: «Инфокоммуникации и информационная

- безопасность: состояние, проблемы и пути решения» – Курск, ЮЗГУ, 2014. – С. 39-42.
8. *Абакумова Н.В., Богданов Ю.М., Балыко А.К. и др.* Схемы СВЧ аттенюаторов на полевых транзисторах с барьером Шоттки // Радиотехника. – 2007. – № 3. – С. 79-87.
 9. *Зикий А.Н., Власенко Д.В.* Аттенюатор миллиметрового диапазона // Матер. 4 международной научной конференции «Современные проблемы радиоэлектроники». – Ростов-на-Дону: ЮРГУЭС, 2012. – С. 315-318.
 10. *Карпов Ю.* Отечественные электрически управляемые СВЧ-аттенюаторы // Компоненты и технологии. – 2007. – № 8.
 11. *Белов Л.А.* Аттенюаторы СВЧ сигналов // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2006. – № 2.
 12. *Богданов Ю.М., Зикий А.Н., Пустовалов А.И.* Аттенюатор с цифровым управлением на базе модуля M44752. Известия ЮФУ, серия «Технические науки», 2021, №3, с. 114.
 13. *Баранов А.А., Кондратенко А.В., Хохол Д.С.* GaAs МИС управляемого СВЧ-аттенюатора диапазона 0-20 ГГц // Доклады ТУСУРа. – Декабрь 2010. – № 2 (22). Ч. 2. – С. 187-189.
 14. Digital Attenuator HMC939A. Data Scheet. Analog Devices. – 6p.
 15. Digital Attenuator AT-263. Data Scheet. M/A-COM Technology Solutions Inc. – 5 p. – www.macomtech.com.
 16. *Талышев Н.В.* Синтез дискретных аттенюаторов проходного типа при произвольных иммитансах источника сигнала и нагрузки: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Воронеж: Воронежский институт МВД РФ. 2000. – 16 с.
 17. *Чижов А.И.* Аналитические методы расчета и структурного анализа СВЧ устройств на основе теории цепей: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – Нижний Новгород, НГТУ, 2011. – 17 с.
 18. *Федоров В.Н.* Исследование волновых процессов в связанных полосковых линиях и разработка на их основе быстродействующих аттенюаторов и динамических корректоров: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Томск: ТУСУР, 1999. – 24 с.
 19. *Рубанович М.Г.* Сверхширокополосные поглощающие устройства высокого уровня мощности: автореф. дисс. ... д-ра. техн. наук. – Новосибирск: НГТУ, 2015.

20. *Малышев А.В.* Автоматизация и управление процессом производства пленочных аттенюаторов и резисторов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – СПб.: СЗГТУ, 2001.
21. Прибор для исследования АЧХ Х1-55. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 1.400.293ТО. – 200 с.
22. Прибор для исследования АЧХ Х1-55. Альбом схем. 1.400.293ТО1. – 134 с.

Андрианов Артур Валерьевич, начальник лаборатории Таганрогского научно-исследовательского института связи, Россия, город Таганрог, улица Седова 3, 347900, телефон: +79996972926, email: artur_andrianov_1990@mail.ru

Зикий Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Таганрогского научно-исследовательского института связи, Россия, город Таганрог, улица Седова 3, 347900, телефон: +79185822295, email: zikiy50@mail.ru

Кочубей Алексей Сергеевич, магистр, инженер-конструктор 2 категории Таганрогского научно-исследовательского института связи, Россия, город Таганрог, улица Седова 3, 347900, телефон: +79896270939, email: l.co4ubey@ya.ru

Andrianov Artur Valeryevich, Head of the Laboratory of the Taganrog Scientific Research Institute of Communications, 3 Sedova Street, 347900, Taganrog, Russia, phone: +79996972926, email: artur_andrianov_1990@mail.ru

Zikiy Anatoly Nicolaevich, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Taganrog Scientific Research Institute of Communications, 3 Sedova Street, 347900, Taganrog, Russia, phone: +79185822295, email: zikiy50@mail.ru

Kochubey Alexey Sergeevich, Master's degree, Design Engineer of the 2nd category of the Taganrog Scientific Research Institute of Communications, 3 Sedova Street, 347900, Taganrog, Russia, phone: +79896270939, email: l.co4ubey@ya.ru

УДК 666.655

Мараховский Михаил Алексеевич, Панич Александр Анатольевич,
Дзюба Елена Борисовна

ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ КОНСОЛИДИРОВАННОГО СПЕКАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПАКЕТНЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АКТЮАТОРОВ

Работа посвящена исследованию возможности корректировки свойств и сокращению температур спекания пьезокерамических материалов, предназначенных для использования в многослойных актюаторах. Целью работы была корректировка свойств пьезоэлектрической керамики в процессе изготовления путём изменения технологических параметров при фиксированной химической композиции. В процессе спекания пьезоэлектрической керамики формируется её микроструктура, а также механические свойства – плотность, твёрдость, влияющие на электрофизические свойства. Таким образом, корректируя процесс формирования микроструктуры пьезоэлектрической керамики, можно целенаправленно изменять её электрофизические свойства. Эффективным решением для формирования микроструктуры являются методы консолидированного спекания (горячее прессование и искровое плазменное спекание). Задачей исследования была апробация указанных методов для спекания пьезокерамических материалов, предназначенных для многослойных актюаторов с целью корректировки их параметров и сокращения температур спекания. В результате работы установлено, что, изменение функциональных параметров, а также температуры спекания пьезоэлектрической керамики возможно за счёт применения предлагаемых методов консолидированного спекания.

Пьезокерамика, горячее прессование, искровое плазменное спекание, микроструктура, электрофизические параметры.

Marakhovskiy Mikhail Alekseevich, Panich Alexander Anatolievich,
Dzyuba Elena Borisovna

THE POSSIBILITIES OF CONSOLIDATED SINTERING METHODS FOR THE MANUFACTURE OF MULTILAYER BATCH PI- EZOELECTRIC ACTUATORS

The work is devoted to the study of the possibility of correcting the properties and reducing the sintering temperatures of piezoceramic materials intended for use in multilayer actuators. The aim of the work was to correct the properties of piezoelectric

ceramics in the manufacturing process by changing the technological parameters with a fixed chemical composition. In the process of sintering piezoelectric ceramics, its microstructure is formed, as well as mechanical properties – density, hardness, affecting electrophysical properties. Thus, by correcting the process of forming the microstructure of piezoelectric ceramics, it is possible to purposefully change its electrophysical properties. Consolidated sintering methods (hot pressing and spark plasma sintering) are an effective solution for the formation of microstructure. The objective of the study was to test these methods for sintering piezoceramic materials intended for multilayer actuators in order to adjust their parameters and reduce sintering temperatures. As a result of the work, it was found that changing the functional parameters, as well as the sintering temperature of piezoelectric ceramics, is possible due to the application of the proposed methods of consolidated sintering.

Piezoelectric ceramics, hot pressing, spark plasma sintering, microstructure, and electrical properties.

Введение

В настоящее время большой практический интерес представляют пьезоэлектрические материалы с пониженными температурами спекания для изготовления многослойных актюаторов с низковольтным управляющим напряжением. Основным вопросом при этом является необходимость согласования температур спекания керамических слоёв с температурой вжигания межслойных токопроводящих электродов. Однако, большинство пьезокерамических материалов имеют температуры спекания свыше 1200°C и требуют для формирования электродов применения дорогостоящих высокотемпературных паст на основе Pt–Pd. Снижение температур спекания пьезоматериала $<1100^{\circ}\text{C}$, позволяет использовать менее затратные пасты на основе Ag–Pd, что уменьшает себестоимость продукции. Но известные пьезокерамические материалы с пониженными температурами спекания, как правило, обладают невысокими значениями коэффициента электромеханического преобразования [1].

Пьезоэлектрическая керамика системы цирконат-титаната свинца (ЦТС) послужила основой для большинства пьезокерамических материалов самых различных применений [2-3]. По мере расширения практического применения для достижения требуемых электрофизических свойств химический состав пьезоэлектрической керамики модифицировался и усложнялся переходом к многокомпонентным системам [3-5]. Помимо пьезокерамических материалов системы ЦТС, широкое применение получили пьезоэлектрические составы на основе

$\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$, $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ и их более сложные многокомпонентные модификации [3, 6].

Однако вариация электрофизических параметров пьезокерамики возможна также при корректировке технологических факторов процесса изготовления. Микроструктура, плотность, твёрдость и прочность задаются на этапе спекания пьезокерамики и от условий спекания зависят будущие электрофизические параметры пьезокерамики [2]. Особый интерес представляют методы горячего прессования (ГП) и искрового плазменного спекания (ИПС), оказывающие большое влияние на формирование микроструктуры пьезоэлектрической керамики.

Основная часть

В качестве объекта исследования был выбран релаксорный сегнетоэлектрический материал ПКП-12 на основе системы ЦТС ($0,36\text{PbTiO}_3 - 0,33\text{PbZrO}_3 - 0,17\text{Pb}(\text{MgZn})_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3 - \text{BaTiO}_3 - \text{SrZrO}_3$) характеризующийся повышенными свойствами электромеханического преобразования [7]. Материал ПКП-12 используется в НКТБ «Пьезоприбор» ЮФУ для изготовления многослойных пакетных актюаторов. Однако температура спекания указанного материала составляет 1250°C , что требует применения дорогостоящих паст Pt-Pd для формирования электродов актюатора.

Помимо традиционных пьезоматериалов системы ЦТС также применяются сегнетомягкие пьезоматериалы системы $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - x\text{PbTiO}_3$ (PMN-PT), обладающие повышенными электрофизическими свойствами. Однако при изготовлении пьезоматериалов этой системы возникают проблемы (появление кристаллической структуры пирохлора при синтезе материала и др.) которые можно решить спеканием пьезокерамического материала PMN-PT методами ГП и ИПС.

Ранее авторами работы был разработан многокомпонентный сегнетомягкий пьезоэлектрический материал ЦЛС-80 ($\text{PbTiO}_3 - \text{PbZrO}_3 - \text{Pb}(\text{Ni}_{1/2}\text{W}_{1/2})\text{O}_3 - \text{Pb}(\text{Cd}_{1/2}\text{W}_{1/2})\text{O}_3 - \text{Pb}(\text{Bi}_{2/3}\text{W}_{1/3})\text{O}_3 - \text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - \text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$), с температурой спекания менее 1000°C [8]. Пониженная температура спекания позволяет существенно сократить себестоимость пакетных актюаторов выполненных из материала ЦЛС-80. Однако, функциональные характеристики указанного материала несколько уступают материалу ПКП-12. С целью возможной оптимизации свойств материала ЦЛС-80 были использованы методы консолидированного спекания ГП и ИПС.

Основные характеристики исследуемых в данной работе материалов, полученных различными методами - традиционным спеканием в камерной печи при атмосферном давлении (АТМ), ГП и ИПС, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики пьезокерамических элементов

Пьезокерамический материал	Метод и температура спекания, °С	Плотность, г/см ³	tg σ , %	$\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0$	d_{31} , пКл/Н	d_{33} , пКл/Н
PMN-PT	1250 °С АТМ	7.50	0.5	1643	235	500
	1180 °С ГП	7.77	0.7	1778	241	550
	1150 °С ИПС	7.92	0.4	1789	187	380
ПКП-12	1200 °С АТМ	7.3	0.50	4318	327	720
	1175 °С ГП	7.4	0.70	4378	334	750
	970 °С ИПС	7.7	0.49	3580	322	603
ЦЛС-80	980 °С АТМ	7.81	1.98	2910	227	530
	980 °С ГП	7.76	2.18	2698	182	480
	980 °С ИПС	8.13	2.2	2919	237	560

Пьезокерамические элементы PMN-PT, спеченные методом ИПС, обладали повышенными на 9% значениями электрофизических параметров по сравнению с образцами АТМ. Повышенные параметры можно объяснить формированием бездефектной монодисперсной структуры керамики, при спекании методом ИПС (рис. 1 а – с). Аналогичное поведение микроструктуры, а также показателей плотности было у материалов ЦЛС-80 (рис. 1 d – f) и ПКП-12 (рис. 1 g – i). Спекание пьезокерамики PMN-PT методом ГП также обеспечивает повышение значений пьезоэлектрического модуля d_{33} на 8% по сравнению с АТМ спеканием, при схожем характере микроструктур (рис. 1a – 1b).

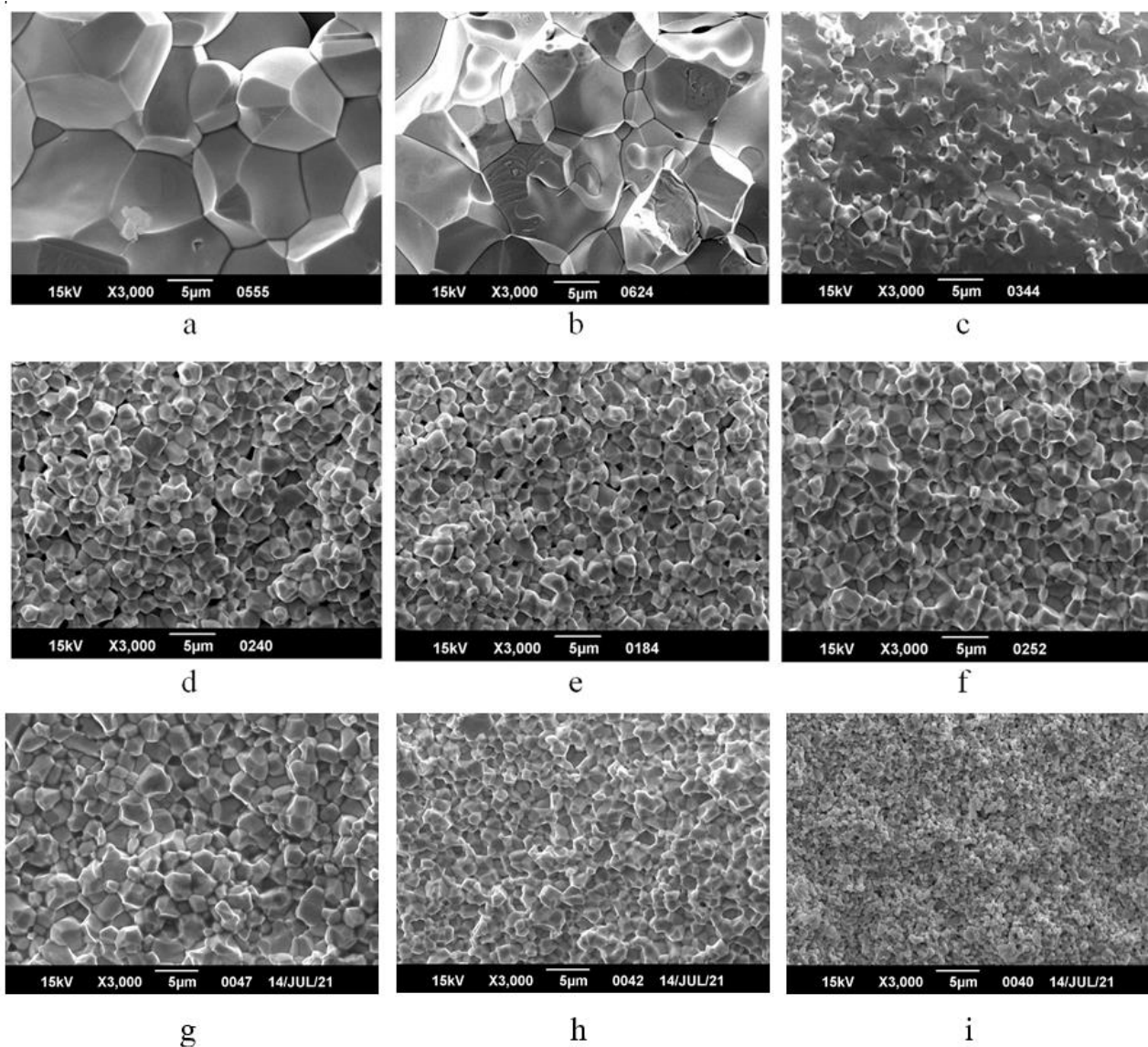


Рис. 1 – Микроструктура пьезокерамических элементов.

PMN-PT: a – АТМ; b – ГП; c – ИПС.

ЦЛС-80: d – АТМ; e – ГП; f – ИПС.

ПКП-12: g – АТМ; h – ГП; i – ИПС

В случае материала ПКП-12 метод ИПС оказал отрицательное воздействие на свойства (таблица 1). Однако, полученные параметры являются вполне приемлемыми для использования в монолитных керамических преобразователях, при изготовлении которых также могут требоваться пониженные температуры спекания (970 °С).

Из пьезоэлектрического материала ЦЛС-80 были изготовлены пакетные многослойные актюаторы методом ИПС. На рис. 2 представлен снимок слоёв актюатора (керамика-электрод-керамика).



Рис. 2 . Структура многослойного актюатора из ЦЛС-80

Полученные экспериментальные актюаторы при управляющем напряжении 100 В демонстрировали перемещение 1,5 мкм.

В результате исследования установлено, что предпочтительным методом спекания пьезокерамики ЦЛС-80 является ИПС. При таком способе температура спекания керамических образцов может быть снижена до 900°С, с сохранением, а иногда и повышением, основных характеристик пьезоэлектрической керамики в сравнении с методом АТМ.

Выводы

Спекание пьезоэлектрических керамик ЦЛС-80 и ПКП-12 методами ГП и ИПС приводит к формированию плотной бездефектной микроструктуры, обеспечивающей повышение основных электрофизических и механических характеристик. Кроме того, методы ГП и ИПС позволяют проводить процессы спекания керамик при пониженных температурах, что в некоторых случаях является приоритетным условием.

Метод ИПС, обладает большим потенциалом и способствует снижению как температур спекания на 150 - 300°С, так и продолжительности изотермической выдержки в 36 раз! Это не только положительно отражается на энергосбережении, но и повышает эффективность пьезоэлектрических керамик различных функциональных групп.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Gromada M., Biglar M., Trzepieciniski T., Stachowicz F.* Application of BaTiO₃ perovskite material for piezoelectric multilayer actuators (2018) Lecture Notes in Electrical Engineering., 428, pp. 29-35.
2. *Куприянов М.Ф., Константинов Г.М., Панич А.Е.* Сегнетоэлектрические морфотропные переходы. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов. ун-та, 1991;
3. *Фесенко Е.Г., Данцигер А.Я., Разумовская О.Н.* Новые пьезокерамические материалы. - Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов. ун-та, 1983;
4. *Тополов В.Ю., Панич А.Е.* Электромеханические свойства сегнетопьезоке-
рамик на основе оксидов семейства перовскита. Электронный научный
журнал «Исследовано в России» 2008г. Рег. N 002.- С.8-26;
5. *Панич А.А., Мараховский М.А., Мотин Д.В.* Кристаллические и керамиче-
ские пьезоэлектрики [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник
Дона», 2011, №1. – Режим до-
ступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/325> (доступ свобод-
ный);
6. *Keramik/Hrsq. H. Schaumburg.-Stuttgart: B.G. Tenbner*, 1994;
7. *Skrylev V., Burkhanov A.I., Akbaeva G.M. & Dykina L.A.* Electrophysical and
mechanical properties of PZT-based soft ferroelectric material in wide range of
temperatures // *Ferroelectrics*. – 2019. – Vol. 538:1. – P. 146-153. – Doi:
10.1080/00150193.2019.1569997;
8. *Мараховский М.А.* Разработка способов повышения эффективности пьезо-
керамических материалов для устройств электронной техники. – Новочер-
касск, автореферат диссертации., 2014. – 22 с.

Мараховский Михаил Алексеевич, кандидат технических наук, начальник сек-
тора, Научное конструкторско-технологическое бюро «Пьезоприбор» Южного
федерального университета, Россия, город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова,
10, 344090, телефон: +7 (904) 501-54-31, email: marmisha@mail.ru

Панич Александр Анатольевич, доктор технических наук, директор, Институт
высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета, Россия,
город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова, 10, 344090, телефон: +7 (903) 488-88-
87, email: rctt.rctt@mail.ru

Дзюба Елена Борисовна, доцент кафедры прикладной информатики и иннова-
тики, Институт высоких технологий и пьезотехники Южного федерального

университета, Россия, город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова, 10, 344090, телефон: +7 (928) 197-79-03, email: ebdzyuba@sfedu.ru

Marakhovskiy Mikhail Alekseevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), team leader, Scientific Design and Technological Bureau "Piezopribor" Southern Federal University, 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10, phone: +7 (904) 501-54-31, email: marmisha@mail.ru

Panich Alexander Anatolievich, doctor of engineering, director, Institute of high technologies and piezotechnics Southern Federal University, 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10, phone: +7 (903) 488-88-87, email: rctt.rctt@mail.ru

Dzyuba Elena Borisovna, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Innovation, Institute of high technologies and piezotechnics Southern Federal University, 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10, phone: +7 (928) 197-79-03, email: ebdzyuba@sfedu.ru

УДК 621.375.9

Прокопенко Николай Николаевич, Клейменкин Дмитрий Владимирович,
Сергеенко Марсель Алексеевич

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ИНВЕРТИРУЮЩИЙ СВJT ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИМИ ЦЕПЯМИ КОРРЕКЦИИ В ОБЩИХ ЭМИТТЕРНЫХ ЦЕПЯХ ВХОДНЫХ КАСКАДОВ

Рассмотрена и исследована схема быстродействующего СВJT операционного усилителя (ОУ) в инвертирующем включении, в котором для повышения максимальной скорости нарастания выходного напряжения (SR) используется нетрадиционное включение дифференцирующих цепей коррекции - в общие эмиттерные цепи входных каскадов вводятся два дифференцирующих конденсатора $C_{к1}$, $C_{к2}$. Компьютерное моделирование ОУ, выполненное на моделях транзисторов базовых матричных кристаллов (МН2ХА031_25.01.21, ОАО «Интеграл», Беларусь), подтверждает эффективность предлагаемого схемотехнического решения – SR ОУ увеличивается с 400 В/мкс до 12631 В/мкс. Данный эффект обеспечивается при сравнительно небольших значениях $C_{к1}=C_{к2}=1\div1$ нФ.

Аналоговая схемотехника, быстродействующий операционный усилитель, дифференцирующая цепь коррекции, максимальная скорость нарастания выходного напряжения.

Prokopenko Nikolay Nikolaevich, Kleimenkin Dmitriy Vladimirovich,
Sergeenko Marsel Alexeyevich

HIGH-SPEED INVERTER CBJT OPERATIONAL AMPLIFIER WITH DIFFERENTIATED CORRECTION CIRCUITS IN COMMON EMITTER CIRCUITS OF INPUT STAGES

A circuit of a high-speed CBJT operational amplifier (op-amp) in an inverting connection is considered and investigated, in which, to increase the maximum slew rate of the output voltage (SR), an unconventional inclusion of differentiating correction circuits is used - two differentiating capacitors C_{k1} , C_{k2} are introduced into the common emitter circuits of the input stages. Computer simulation of the op-amp, performed on models of transistors of basic matrix crystals (MH2XA031_25.01.21, JSC "Integral", Belarus), confirms the effectiveness of the proposed circuit solution - the SR of the op-amp increases from 400V/ μ s to 12631V/ μ s. This effect is provided at relatively small values $C_{k1}=C_{k2}=1\div 1\text{pF}$.

Analog circuitry, fast operational amplifier, differential correction circuit, maximum output voltage slew rate.

Введение

В аналого-цифровых системах автоматического управления сегодня востребованы быстродействующие операционные усилители (ОУ) [1]. Так, для работы в качестве драйверов АЦП необходимы ОУ со скоростью нарастания (SR) порядка 10000 В/мкс [1]. Как следствие, методам повышения SR уделяется большое внимание [1-8].

При этом все существующие ОУ можно условно разделить на два больших класса – универсальные ОУ, которые допускают включение как в неинвертирующих схемах и IP-модулях систем автоматики, так и ОУ только для инвертирующего включения.

Цель статьи – исследовать новую структуру быстродействующего инвертирующего СВJT ОУ с дифференцирующими цепями коррекции в общих эмиттерных цепях входных каскадов.

Постановка задачи

На рис. 1 приведена схема предлагаемого ОУ для инвертирующего включения (то есть с резисторами общей отрицательной обратной связи), который содержит дифференцирующие цепи коррекции (C_{k1} , C_{k2}), способствующие повышению скорости нарастания (SR).

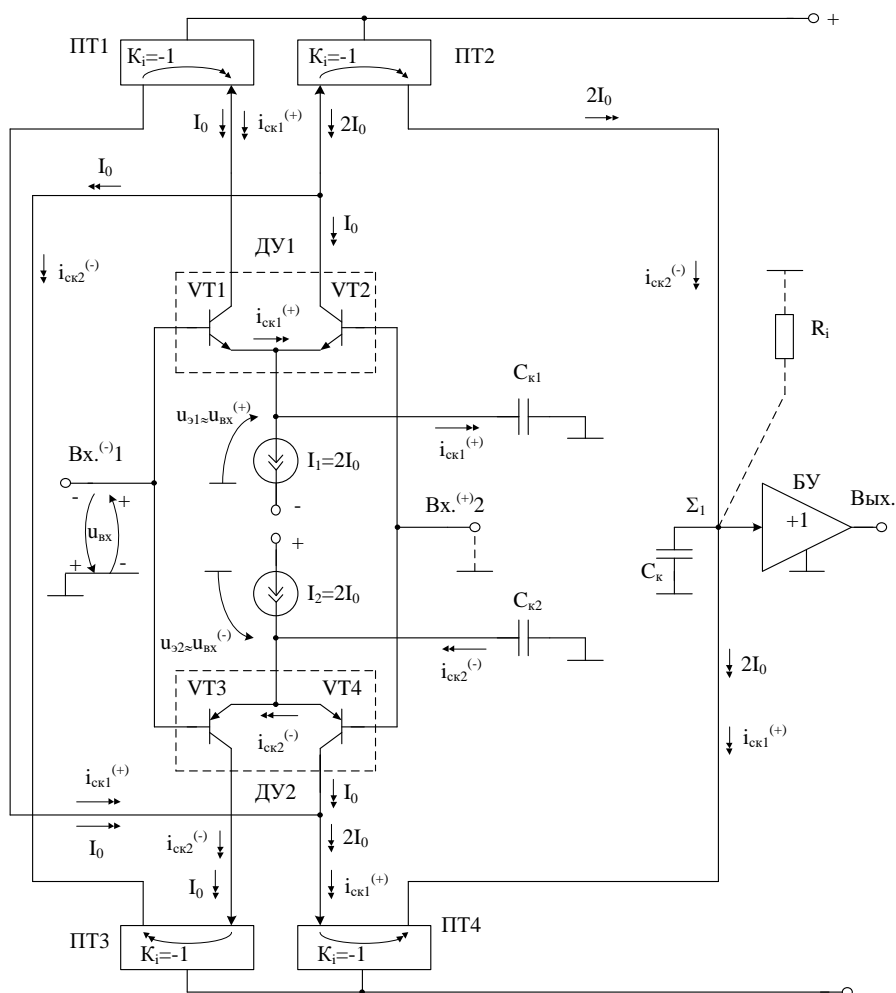


Рис. 1. Быстродействующий инвертирующий СВЯТ ОУ с дифференцирующими цепями коррекции C_{k1} , C_{k2} в общих эмиттерных цепях входных каскадов

Компьютерное моделирование ОУ

На рис. 2 показан статический режим ОУ рис. 1 в среде LTSpice на моделях транзисторов базовых матричных кристаллов МН2ХА031_25.01.21 при 27°C , резисторе $R_1 = 100 \text{ кОм}$, источниках опорного тока $I_1 = I_2 = 200 \text{ мкА}$, напряжениях на шинах питания $V_1 = V_2 = \pm 5 \text{ В}$.

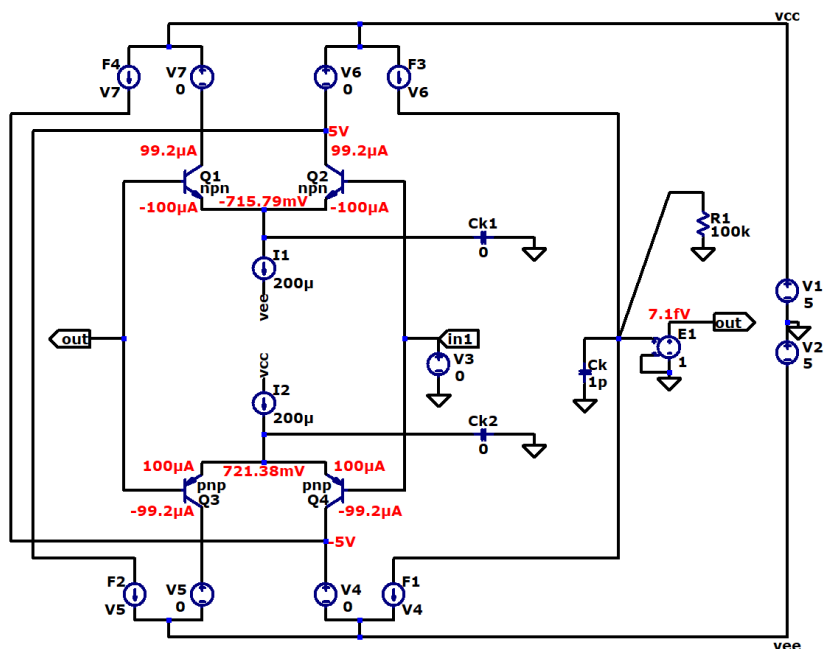


Рис. 2. Статический режим схемы ОУ на рис. 1 в среде LTSpice

На рис. 3 показаны результаты моделирования логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) ОУ на рис. 2.

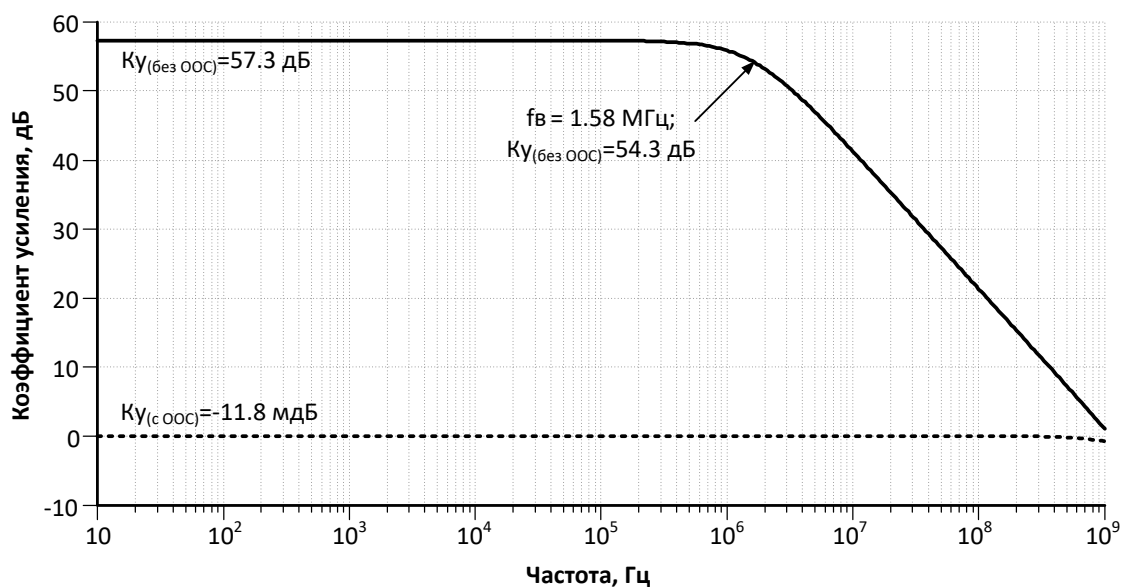


Рис. 3. ЛАЧХ коэффициента усиления ОУ на рис. 2

Передний и задний фронты переходного процесса в ОУ на рис. 2 при разных значениях емкости дифференцирующих конденсаторов $C_{k1}=C_{k2}$ показаны на рисунках 4 и 5 соответственно.

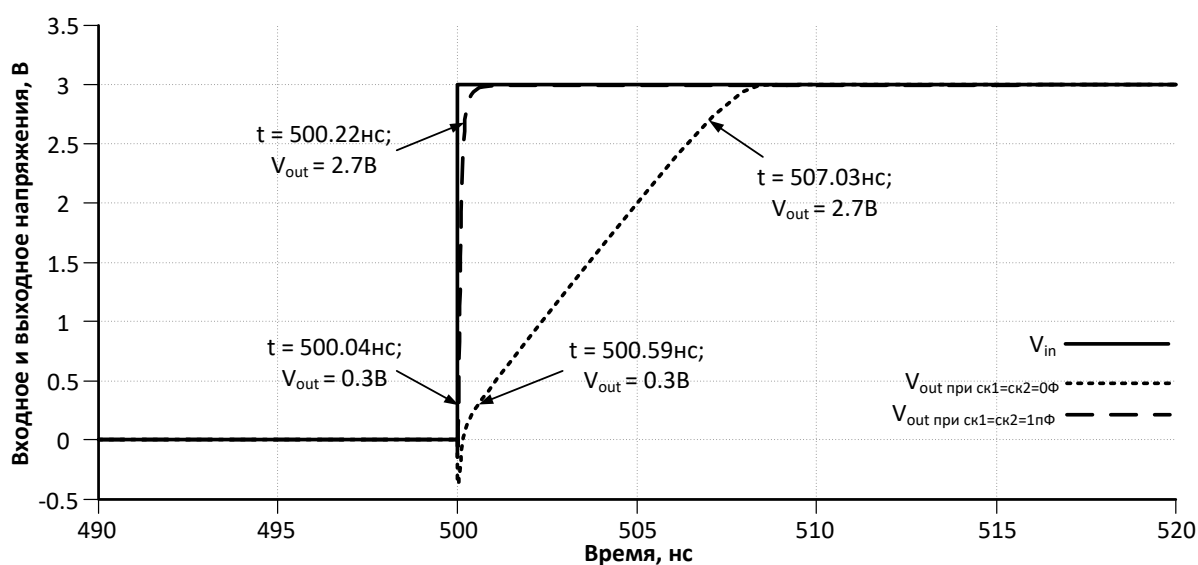


Рис. 4. Передний фронт переходного процесса в ОУ на Рис. 2 при разных значениях емкости дифференцирующих конденсаторов ($C_{к1}=C_{к2}=0\div 1$ нФ)

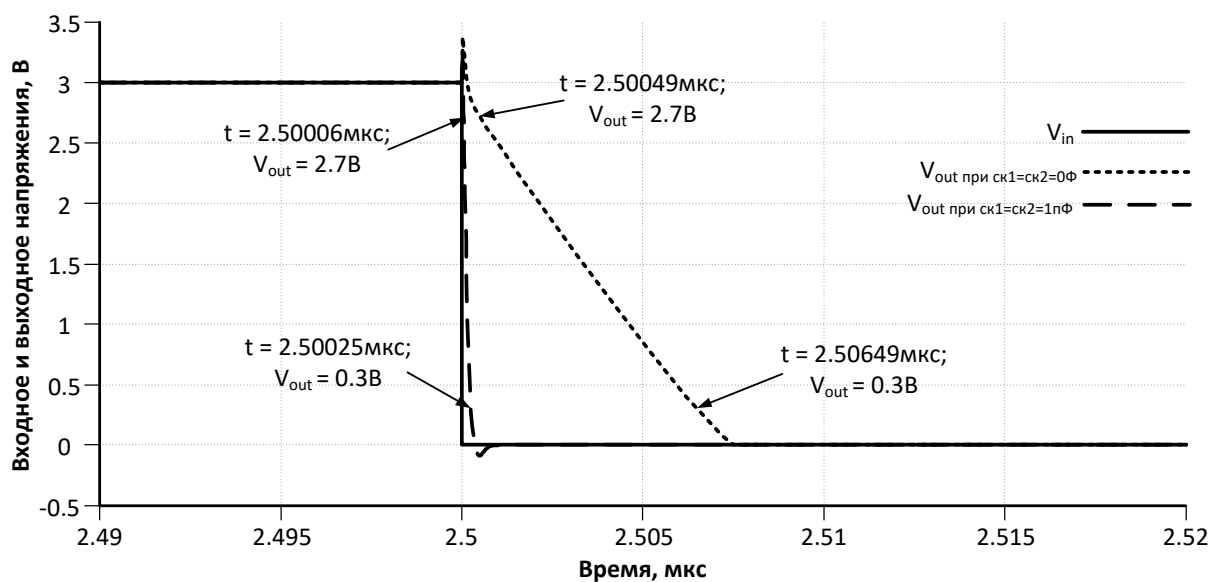


Рис. 5. Задний фронт переходного процесса в ОУ на рис. 2 при $C_{к1}=C_{к2}=0\div 1$ нФ

При отсутствии дифференцирующих конденсаторов $C_{к1}$ и $C_{к2}$ переходным процессам на рис. 4 и рис. 5 соответствуют следующие значения SR : для переднего фронта $SR^{(+)} = 372,7$ В/мкс, для заднего фронта $SR^{(-)} = 400$ В/мкс.

Введение дифференцирующих конденсаторов $C_{k1}=C_{k2}=1\text{пФ}$ обеспечивает повышение предельных значений максимальной скорости нарастания выходного напряжения до уровней: $SR^{(+)}=13333,3\text{ В/мкс}$, $SR^{(-)}=12631,6\text{ В/мкс}$. Данные значения SR получены при идеальных токовых зеркалах ПТ1, ПТ2, ПТ3, ПТ4 и буферном усилителе БУ.

Выводы

Рассмотрена новая схема быстродействующего инвертирующего СВJT ОУ с дифференцирующими цепями коррекции в общих эмиттерных цепях входных каскадов, которая позволяет увеличить максимальную скорость нарастания выходного напряжения ОУ с 400 В/мкс до уровня 12631 В/мкс без ухудшения статического тока потребления.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-29-00637).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Carter B., Mancini R.* Op Amps for Everyone // 5th Edition, Newnes, 2017, 484 p.
2. *Прокопенко Н.Н., Будяков А.С.* Архитектура и схемотехника быстродействующих операционных усилителей: монография. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2006. – 231 с.
3. *Po-Chuan Lin.* Folded cascode amplifier with an enhanced slew rate. Patent US 8604878, 2013-12-10
4. *Marco Corsi et al.* Amplifier slew rate boosting scheme. Patent US 6304143, 2001-10-16
5. *Bowers D. F., Wurcer S. A.* Recent developments in bipolar operational amplifiers. //Proceedings of the 1999 Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting (Cat. No.99CH37024), Minneapolis, MN, USA, 1999, pp. 38-45, doi: 10.1109/BIPOL.1999.803521.
6. *Koen, Smith and Damitio.* A very high speed operational amplifier array // 1993 Proceedings of IEEE Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting, Minneapolis, MN, USA, 1993, pp. 153-156, doi: 10.1109/BIPOL.1993.617488.
7. *Дворников О. В., Чеховский В. А., Прокопенко Н. Н., Галкин Я. Д., Куниц А. В., Чумаков В. Е.* Быстродействующие широкополосные операционные усилители на базовом матричном кристалле // Известия вузов. Электроника – 2023. – №1. – С. 1-16.
8. *Bowers D. F.* A fast precision operational amplifier featuring two separate control loops. //2014 IEEE Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting

(BCTM), Coronado, CA, USA, 2014, pp. 72-75, doi: 10.1109/BCTM.2014.6981288.

Прокопенко Николай Николаевич, д.т.н., заведующий кафедрой «Информационные системы и радиотехника», старший научный сотрудник отдела «Управление научных исследований» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +7 928 120-19-84, email: prokopenko@sssu.ru.

Клейменкин Дмитрий Владимирович, магистрант кафедры «Информационные системы и радиотехника», Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +7 928 197-00-49, email: k-dima-01@mail.ru.

Сергеенко Марсель Алексеевич, студент кафедры «Информационные системы и радиотехника» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +7 918 570-45-19, email: mars1327el@gmail.com.

Prokopenko Nikolai Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department "Information Systems and Radio Engineering", Senior Researcher of the Department "Management of Scientific Research", Don State Technical University, Russia, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1, 344000, phone: +7 928 120-19-84, email: prokopenko@sssu.ru.

Kleimenkin Dmitriy Vladimirovich, master's student of the Department "Information Systems and Radio Engineering", Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1, 344000, phone: +7 928 197-00-49, email: k-dima-01@mail.ru.

Sergeenko Marsel Alexeyevich, student of the Department "Information Systems and Radio Engineering Department", Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1, 344000, phone: +7 918 570-45-19, email: mars1327el@gmail.com.

УДК 621.375.9

Прокопенко Николай Николаевич, Кузнецов Дмитрий Владимирович,
Чумаков Владислав Евгеньевич

ПРЕДЕЛЬНОЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЕ СВJT ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ С ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕЙ ЦЕПЬЮ КОРРЕКЦИИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

Исследуется упрощенная схема СВJT операционного усилителя с дифференцирующими цепями коррекции переходного процесса во входном каскаде на предмет получения в нем предельно возможных значений максимальной скорости нарастания выходного напряжения (SR_{max}). Выполнено компьютерное моделирование ОУ на биполярных транзисторах с тремя идеальными токовыми зеркалами (ТЗ) и идеальным буферным усилителем (БУ), которое показывает, что для СВJT технологического процесса Минского ОАО «Интеграл» численные значения SR_{max} , к которым нужно стремиться за счет рационального построения БУ и ТЗ, могут достигать 20000 В/мкс.

Операционный усилитель, предельно возможная максимальная скорость нарастания выходного напряжения, дифференцирующая цепь коррекции, СВJT технологический процесс.

Prokopenko Nikolay Nikolaevich, Kuznetsov Dmitry Vladimirovich,
Chumakov Vladislav Evgenievich

PERFORMANCE LIMIT OF CBJT OPERATIONAL AMPLIFIER WITH DIFFERENTIATING CORRECTION CIRCUIT OF TRANSIENT

A simplified circuit of a CBJT operational amplifier with differentiating correction circuits of a transient in the input cascade is investigated for the purpose of obtaining in it the extremely possible values of the maximum slew rate of the output voltage (SR_{max}). Computer simulation of Op-Amps on bipolar transistors with three ideal current mirrors (CM) and an ideal buffer amplifier (BA) is performed, which shows that for CBJT process of Minsk JSC «Integral» the numerical values of SR_{max} , which should be sought by rational construction of CM and BA, can reach 20000 V/us.

Operational amplifier, extremely possible slew rate of output voltage, differentiating correction circuit, CBJT process.

Введение

Для повышения быстродействия современных операционных усилителей в режиме большого сигнала в настоящее время применяется несколько схемотехнических приемов [1-7]. Применение дифференцирующих цепей коррекции в операционных усилителях (ОУ) с классической архитектурой [5-7] позволяет достаточно простым схемотехническим методом обеспечить существенное повышение максимальной скорости нарастания выходного напряжения (SR).

Цель и новизна настоящей статьи состоит в исследовании предельно возможных значений SR_{max} в СВJT ОУ данного класса. Для этого в качестве токовых зеркал (ТЗ) и буферного усилителя (БУ) используются идеальные функциональные узлы, не вносящие задержки сигнала и не ухудшающие частотные характеристики ОУ. Такое сравнение позволит определить SR_{max} , к которому необходимо стремиться при выборе и оптимизации конкретных схемотехнических решений – источников опорного тока, токовых зеркал, буферного усилителя и т. п.

Основная часть

Представленная на рис. 1 исходная схема ОУ (без учета дополнительных транзисторов VT3, VT4) содержит входной дифференциальный каскад (VT1, VT2) с источником опорного тока $I_1=2I_0$, устанавливающим статический режим транзисторов, и три идеальных токовых зеркала ПТ1, ПТ2, ПТ3. Заданный запас устойчивости замкнутого ОУ по фазе обеспечивается корректирующим конденсатором C_k . Его численные значения зависят от численных значений эквивалентного сопротивления R_i в высокоимпедансном узле Σ_1 :

$$R_i^{-1} = Y_{ПТ2} + Y_{ПТ3} + Y_{вх.БУ}, \quad (1)$$

где $Y_{ПТ2}$, $Y_{ПТ3}$ – выходные проводимости токовых зеркал ПТ2 и ПТ3; $Y_{вх.БУ}$ – входная проводимость буферного усилителя.

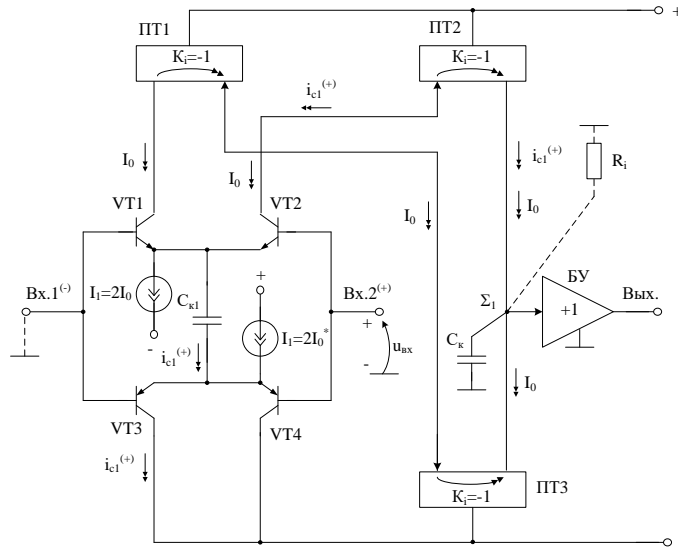


Рис. 1 Быстродействующий ОУ с дифференцирующей цепью коррекции переходного процесса

Разомкнутый коэффициент усиления ОУ (K_0) при единичных коэффициентах передачи по току токовых зеркал ПТ1-ПТ3 зависит от крутизны усиления G_{1-2} входного дифференциального каскада (VT1, VT2) и эквивалентного выходного сопротивления R_i (1) в высокоимпедансном узле Σ_1 :

$$K_0 = R_i G_{1-2},$$

где $G_{1-2} = I_0 / 2 \varphi_m$, $\varphi_m \approx 26$ мВ – температурный потенциал.

Для повышения SR к базовой схеме ОУ подключаются дополнительные транзисторы VT3, VT4 и дифференцирующая цепь коррекции переходного процесса – конденсатор $C_{к1}$. При импульсном входном сигнале с амплитудой $U_{вх}$ максимальные значения тока через корректирующую емкость $C_{к1}$ принимают большое значение:

$$I_{ск. max} = \frac{U_{вх}}{r_{э1} + r_{э4}},$$

где $r_{э1} = r_{э4}$ – сопротивления эмиттерных переходов VT1 и VT4.

Как следствие, SR ОУ существенно увеличивается.

На рис. 2 показан статический режим ОУ рис. 1 в среде LTspice на моделях комплементарных биполярных транзисторов АО «Интеграл» (г. Минск) [8].

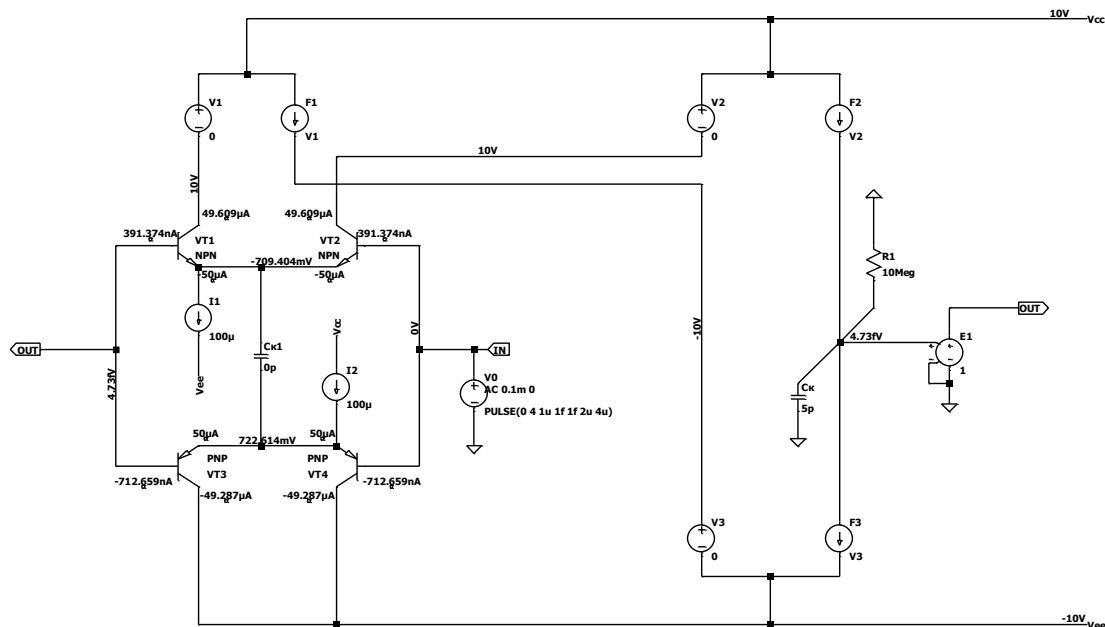


Рис. 2 Статический режим ОУ на рис. 1 в среде LTspice при $t=27^\circ\text{C}$, $V_{cc}=10\text{ В}$, $V_{ee}=-10\text{ В}$, $I_1 \div I_2=100\text{ мкА}$, $C_K=5\text{ нФ}$, $C_{KI}=0\text{ нФ}$, $R_I=10\text{ МОм}$

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) ОУ на рис. 2 приведена на рис. 3.

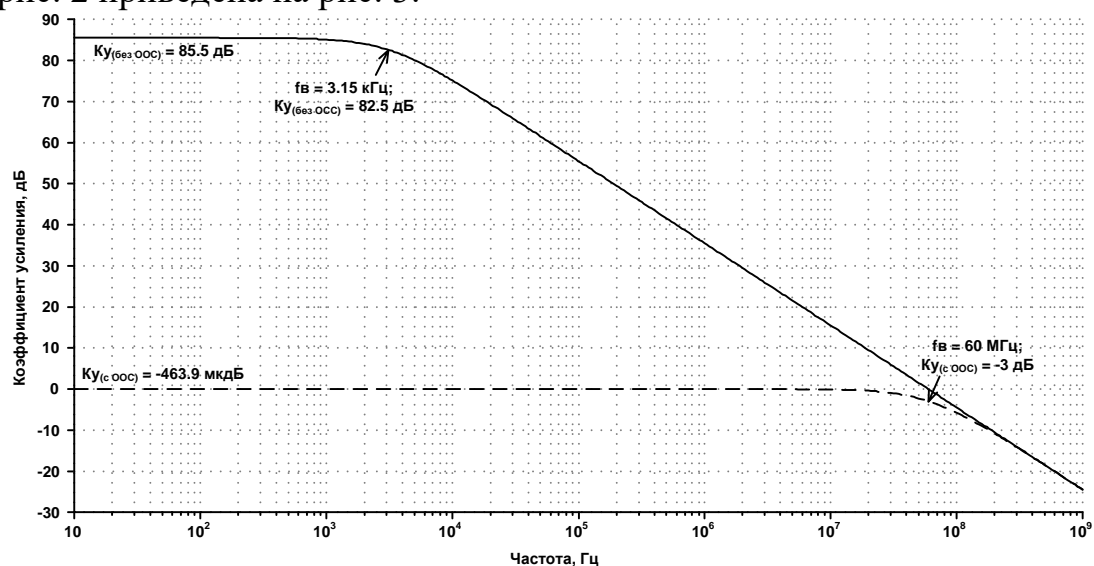


Рис. 3 ЛАЧХ быстродействующего ОУ на рис. 2 в среде LTspice

Таким образом, разомкнутый коэффициент усиления ОУ по напряжению при $R_I=10\text{ МОм}$ превышает 85 дБ, что достаточно для многих применений.

Влияние емкости дифференцирующего конденсатора C_{KI} на переходные процессы в ОУ (рис. 2) показано на графиках рис. 4 и рис. 5.

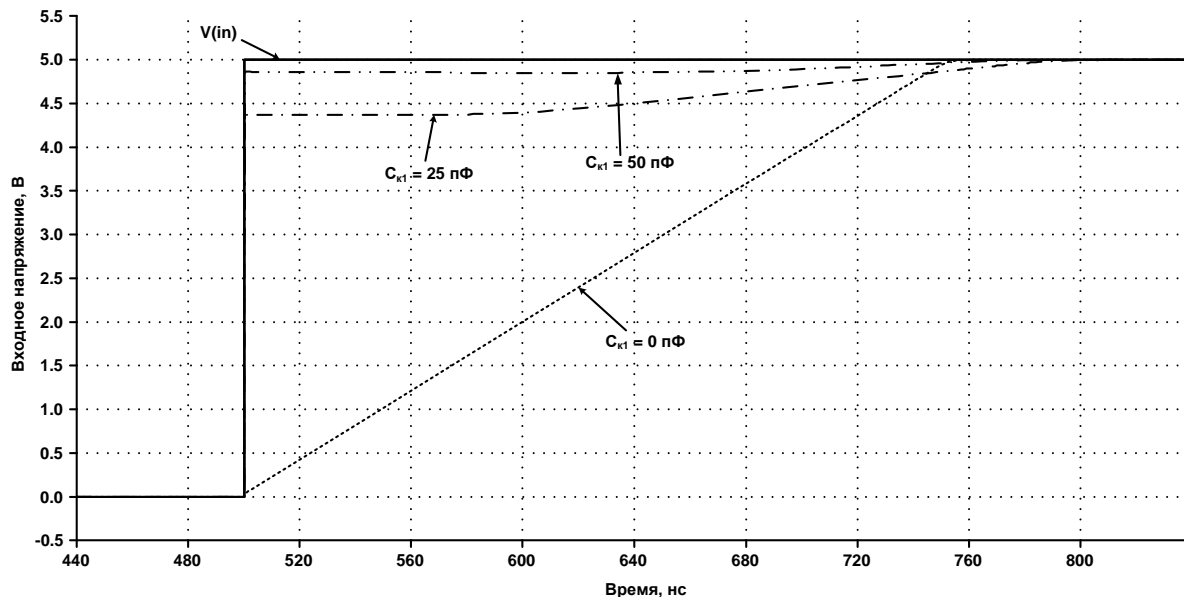


Рис. 4 Переходный процесс переднего фронта быстродействующего ОУ на рис. 2 в среде LTspice при разных значениях емкости дифференцирующего конденсатора $C_{кл}=0/25/50$ пФ

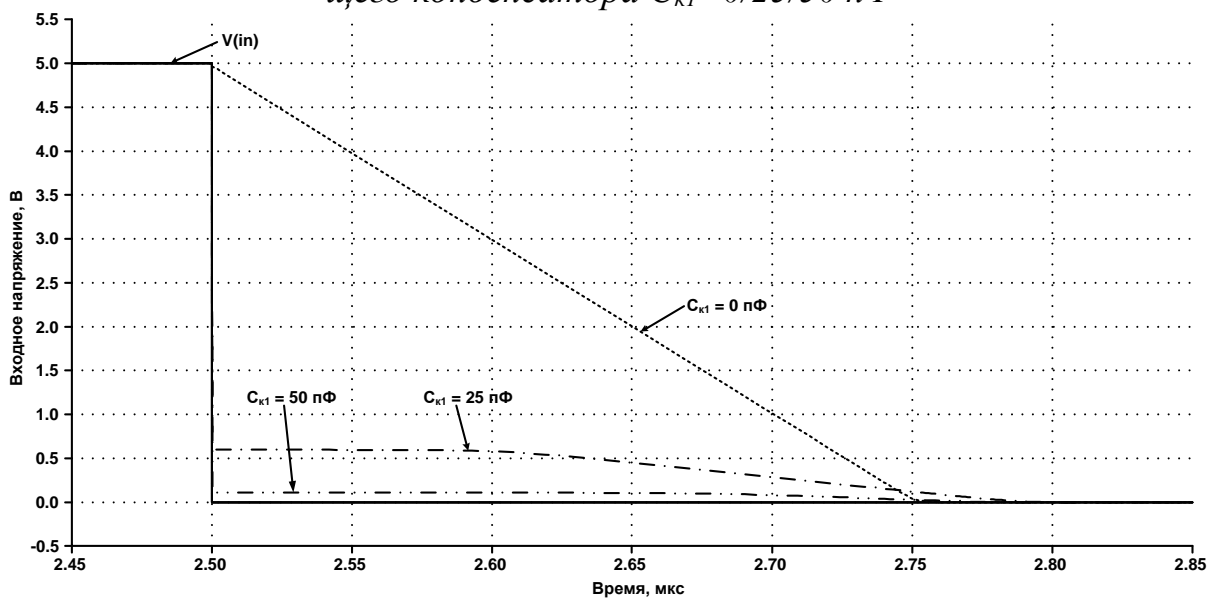


Рис. 5 Переходный процесс заднего фронта быстродействующего ОУ на рис. 2 в среде LTspice при разных значениях емкости дифференцирующего конденсатора $C_{кл}=0/25/50$ пФ

Из графиков на рис. 4 и рис. 5, а также таблицы 1 следует, что введение дифференцирующей цепи коррекции ($C_{кл}$) существенно увеличивает быстродействие ОУ в режиме большого сигнала.

Таблица 1

Предельные значения максимальной скорости нарастания выходного напряжения в ОУ на рис. 2 при разных $C_{к1}$

Значение емкости $C_{к1}$	Скорость нарастания переднего фронта ОУ, $SR_{max}^{(+)}$, В/мкс	Скорость нарастания заднего фронта ОУ, $SR_{max}^{(-)}$, В/мкс
0 пФ	19,6693	19,7771
25 пФ	17372	17408,2
50 пФ	20454,4	20066,4

Таким образом, дифференцирующая цепь коррекции $C_{к1}$ позволяет получить существенное увеличение SR_{max} , к которому необходимо стремиться при выборе и оптимизации конкретных схемотехнических решений токовых зеркал ОУ, источников опорного тока, буферного усилителя.

Выводы

Предельная максимальная скорость нарастания выходного напряжения $SR_{max}^{(+)}$ переднего и заднего $SR_{max}^{(-)}$ фронтов предлагаемого СВЛТ ОУ с одним высокоимпедансным узлом при емкости дифференцирующего конденсатора $C_{к1} = 50$ пФ увеличивается более чем в 900 раз с 19,7 В/мкс до 20000 В/мкс.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-29-00637).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полонников Д.Е. Операционные усилители: Принципы построения, теория, схемотехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.
2. Матавкин В.В. Быстродействующие операционные усилители. – М.: Радио и связь, 1989. – 128 с.
3. Прокопенко Н.Н., Будяков А.С. Архитектура и схемотехника быстродействующих операционных усилителей: монография. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2006. – 230 с.
4. Sauer Don Roy. Linearized class AB biased differential input stage : пат. 7463094 США. – 2008.
5. Prokopenko N. N., Dvornikov O. V., Zhuk A. A. High-Speed Operational Amplifier with Differentiating Transient Correction Circuits // 2022 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). – IEEE, 2022. – С. 1-4.

6. *Бугакова А. В., Серебряков А.И., Титов А.Е.* Особенности проектирования низкотемпературных быстродействующих ОУ с дифференцирующими цепями коррекции // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники. – 2019. – С. 301-302.
7. *Бугакова А.В. и др.* Нелинейная дифференцирующая цепь коррекции в промежуточных каскадах быстродействующих операционных усилителей // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники. – 2019. – С. 297-300.
8. *Прокопенко Н.Н.* Проектирование низкотемпературных и радиационно-стойких аналоговых микросхем для обработки сигналов датчиков / Н. Н. Прокопенко, О. В. Дворников, А. В. Бугакова. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "СОЛОН-Пресс", 2021. – 200 с.

Прокопенко Николай Николаевич, д.т.н., заведующий кафедрой «Информационные системы и радиотехника», старший научный сотрудник отдела «Управление научных исследований» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +79281201984, email: prokopenko@sssu.ru.

Кузнецов Дмитрий Владимирович, магистрант кафедры «Информационные системы и радиотехника» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +79525816170, email: dkuznetsov2000@mail.ru.

Чумаков Владислав Евгеньевич, аспирант кафедры «Информационные системы и радиотехника» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +79895020032, email: chumakov.dssa@mail.ru.

Prokopenko Nikolay Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department "Information Systems and Radio Engineering", Senior Researcher of the Department "Management of Scientific Research", Don State Technical University, Russia, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1, 344000, phone: +79281201984, email: prokopenko@sssu.ru.

Kuznetsov Dmitry Vladimirovich, master student of the Department of "Information Systems and Radio Engineering" of Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, 1 Gagarin sq., 344000, phone: +79525816170, email: dkuznetsov2000@mail.ru.

Chumakov Vladislav Evgenievich, PhD student of the Department "Information Systems and Radio Engineering", Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1, 344000, phone: +79895020032, email: chumakov.dssa@mail.ru.

УДК 621.396.677

Занин Константин Михайлович

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ПРОФИЛИРОВАННОГО РЕФЛЕКТОРА ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ
С КОНТУРНОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ**

Рассмотрены вопросы повышения технологической эффективности изготовления профилированных рефлекторов зеркальных антенн, формирующих контурные диаграммы направленности. Разработан алгоритм сглаживания формы рефлектора, позволяющий упростить форму его поверхности при сохранении характеристик направленности зеркальной антенны. Упрощение формы поверхности заключается в уменьшении относительной площади дислокаций элементов профилированного рефлектора.

Контурная диаграмма направленности, зеркальная антенна, профилированный рефлектор.

Zanin Konstantin Mikhailovich

**TECHNOLOGICAL SOLUTION FOR CREATING A PROFILED
REFLECTOR OF A REFLECTOR ANTENNA WITH A CONTOURED
BEAM**

The questions of increasing the technological efficiency of crating profiled reflectors of reflector antennas which formed contour beam are considered. An algorithm of smoothing the shape of reflector has been developed, which makes it possible to simplify the shape of surface while maintaining the directional pattern of reflector antenna. Simplification of surface consists in minimization the dislocations area of the profiled reflector elements.

Contoured beam, reflector antenna, profiled reflector.

Введение

Во многих случаях при построении комплексов спутниковой связи требуется обеспечение заданного ее качества в строго определенной области покрытия [1-3]. Граница области покрытия при этом может иметь сложную, но неизменную в течение всего периода эксплуатации форму. Следствием этого является требование к реализации диаграммы направленности (ДН) с

соответствующим контуром сечения главного лепестка [4-8]. Одним из возможных вариантов построения антенной системы является использование зеркальной антенны (ЗА) с одиночным облучателем и рефлектором с профилированной поверхностью, закон профилирования которой определяется формой границы обслуживаемой территории [9, 10]. Профилирование поверхности рефлектора заключается в разделении его поверхности на локально-параболические участки и в смещении их в направлении оси вращения исходной фигуры для формирования требуемого фазового распределения поля (ФР) на апертуре.

Пример профилированного рефлектора ЗА, формирующей контурную ДН, приведен на рис. 1. Недостатком данного варианта профилирования рефлектора является необходимость обработки 100 % его поверхности с сохранением дислокаций элементов, что приводит к усложнению технологического процесса изготовления.

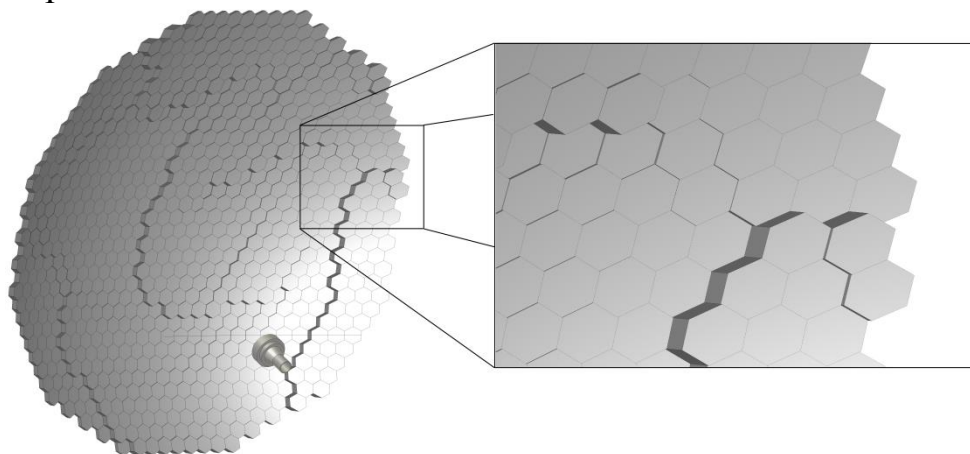


Рис. 1. Объемное цифровое изображение ЗА с профилированным рефлектором

Большое количество спутников систем связи и разнообразие границ поверхностей обслуживаемых территорий обуславливают необходимость повышения технологической эффективности их изготовления. Технологическая эффективность связана с упрощением форм профилированных рефлекторов ЗА, заключающимся в уменьшении относительной площади дислокаций его элементов.

Поскольку форму профилированного рефлектора сложно описать аналитическим выражением, в качестве исходных данных для разработки конструкторской и технологической документации необходимо иметь его объемное цифровое изображение, на основе которого разрабатывается управляющая программа обработки.

Исходя из вышесказанного, актуальной является задача построения объемного цифрового изображения рефлектора ЗА с уменьшенной площадью дислокаций его элементов. При этом уменьшение площади дислокаций не должно искажать характеристик направленности ЗА.

Цель работы

Повышение технологической эффективности изготовления профилированных рефлекторов ЗА.

Для достижения данной цели решается задача разработки алгоритма сглаживания поверхности профилированного рефлектора ЗА.

Синтез объемного цифрового изображения профилированного рефлектора ЗА

В настоящей работе для построения объемного цифрового изображения рефлектора установлены следующие исходные данные:

- задана Декартова система координат, связанная с рефлектором ЗА, у которой ось z направлена в сторону его геометрической оси;
- заданы координаты вершин шестиугольников, образующих поверхность рефлектора;
- задан порог, при превышении которого выступающая грань сохраняется в формируемом цифровом изображении.

Предлагаемый алгоритм сглаживания поверхности рефлектора может быть представлен блок-схемой, приведенной на рис. 2.

На основании исходных данных к объемному цифровому изображению ЗА ее параболический рефлектор разбивается на шестиугольники аналогично тому, как показано на рис. 1. В зависимости от формы главного максимума ДН и от условия отсутствия дифракционных максимумов в рабочем секторе углов период расположения шестиугольников, а, следовательно, и их количество, может быть разным. В рамках настоящей работы предлагается при проектировании ЗА задавать период расположения шестиугольников как можно меньшим (от $\lambda/8$ до $\lambda/2$), что позволит уменьшить площадь дислокаций элементов профилированного рефлектора на этапе синтеза ФР.

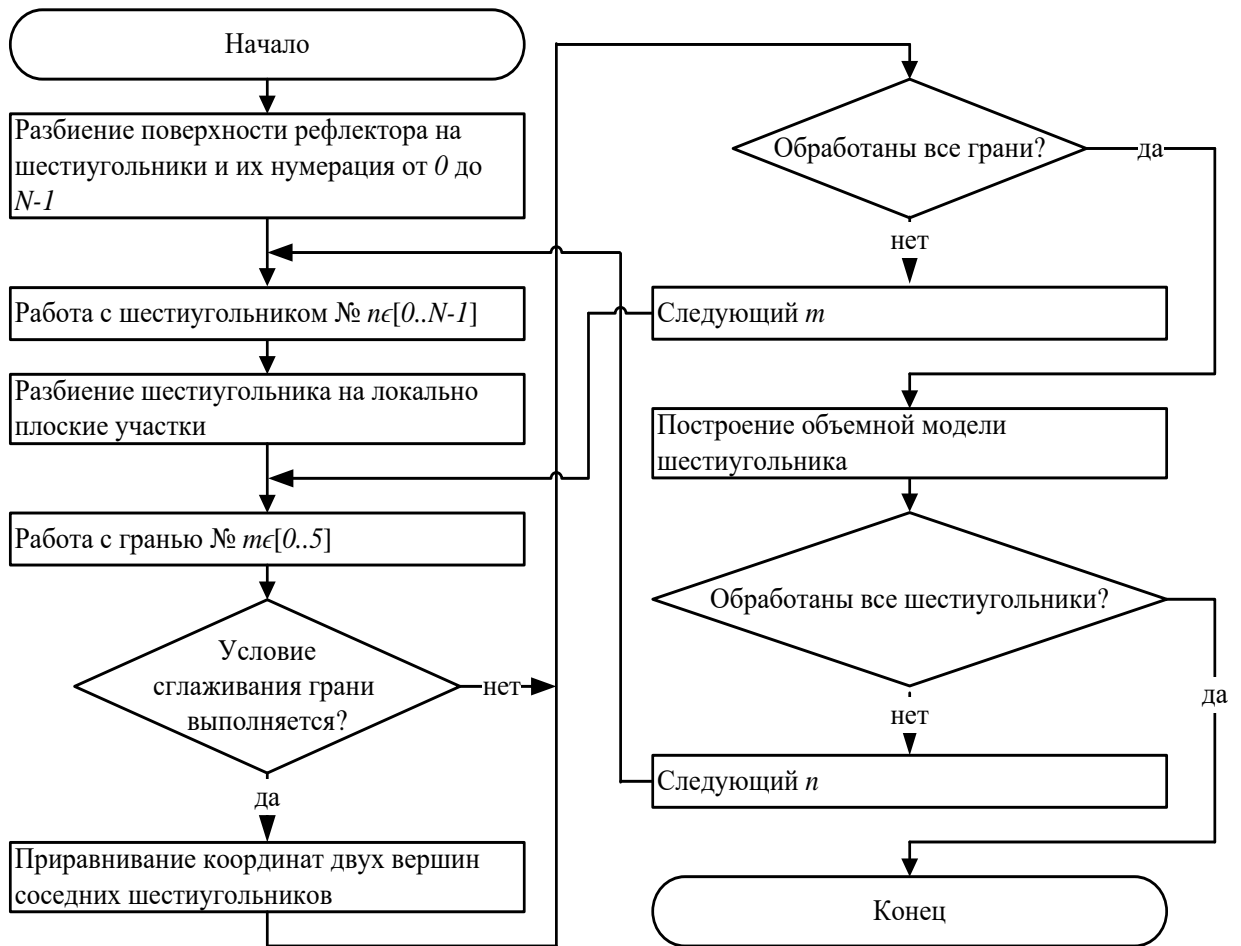


Рис. 2. Блок-схема алгоритма сглаживания поверхности рефлектора 3А

Совокупность большого количества параболических поверхностей сложна в машинной обработке при построении цифрового изображения и сложна в производстве. На основании вышесказанного предлагается разделить поверхность шестиугольника на локально плоские участки путем замощения треугольниками. Как будет показано далее, такая поверхность имеет больше степеней свободы для редактирования в сравнении с параболической поверхностью. Согласно установленным исходным данным к настоящей работе задан порог, при превышении которого поверхность рефлектора будет сохранять выступающую грань. Грани, показанные на рис. 1, имеют распределение высот дислокаций не более $\lambda/10$ для большинства элементов и порядка $4\lambda/10$ для элементов, в окрестности которых ФР на апертуре изменяется на значение, близкое к 2π . Порог выбирается из данного интервала, исключая границы. В случае если высота дислокации меньше заданного порога, выполняется объединение вершин образующих его шестиугольников путем приравнивания их координаты z среднему

арифметическому. Примеры шестиугольников с разделенными и объединенными вершинами приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

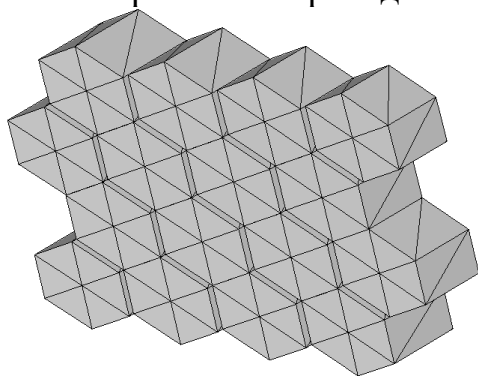


Рис. 3. Шестиугольники с разделенными вершинами

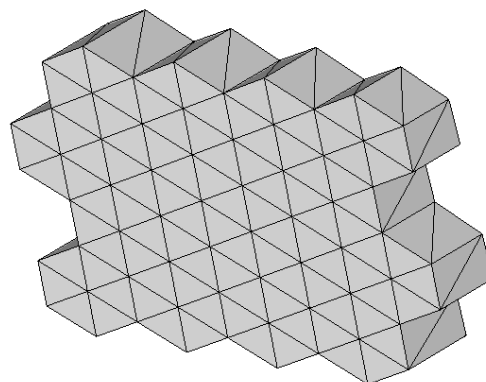


Рис. 4. Шестиугольники с объединенными вершинами

Применяя данный подход ко всей поверхности рефлектора, получено его объемное изображение, которое показано на рис. 5.

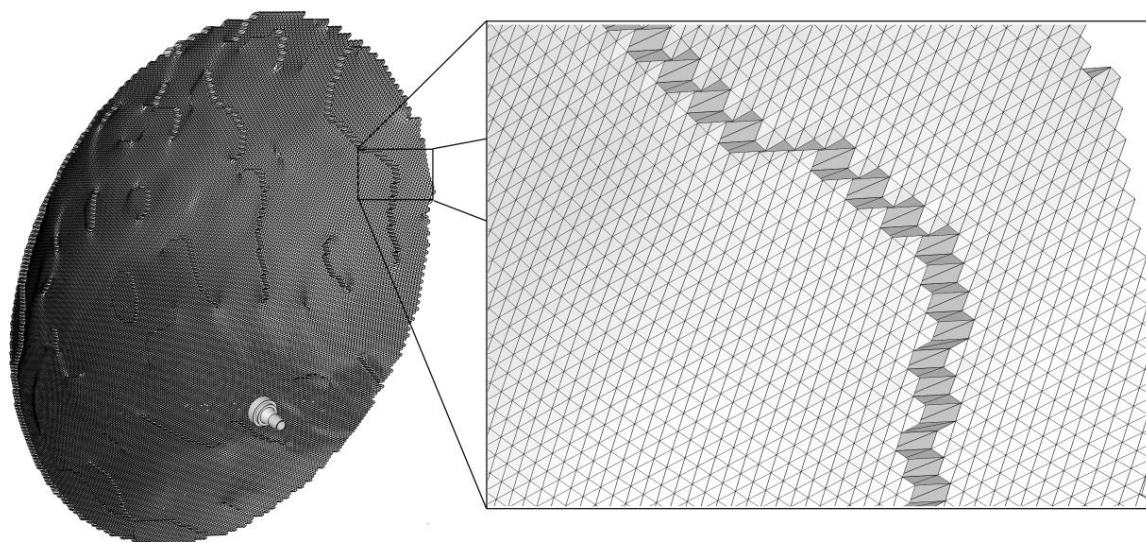


Рис. 5. Объемное цифровое изображение ЗА со сглаженным рефлектором

Объемное цифровое изображение ЗА, показанное на рис. 5, имеет на 93% меньшую площадь дислокаций элементов рефлектора по сравнению с исходной. Полное устранение дислокаций элементов рефлектора приводит к существенному искажению требуемого ФР и, соответственно, к ухудшению характеристик направленности.

Для ЗА, показанных на рис. 1, 5, методами электродинамического моделирования рассчитаны ДН. Результаты расчетов приведены на рис. 6, 7.

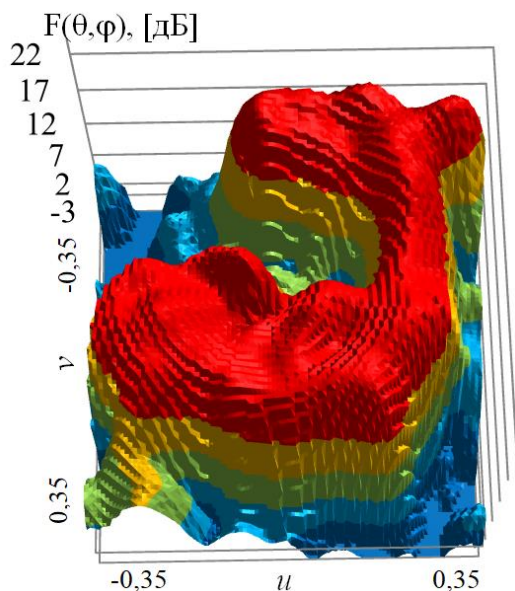


Рис. 6. ДН ЗА с рефлектором, дополнительные преобразования над которым не проводились

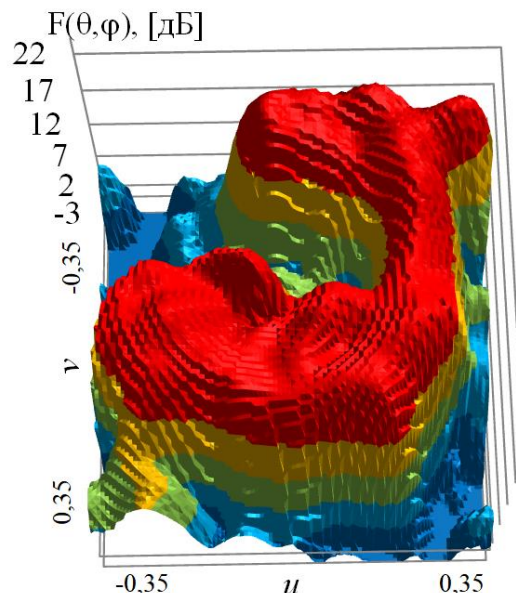


Рис. 7. ДН ЗА со сглаженным рефлектором

На рис. 6, 7 θ, φ - углы в сферической системе координат; $u = \cos(\theta) \sin(\varphi)$, $v = \sin(\theta) \sin(\varphi)$. ДН, показанные на данных рисунках, не имеют значительных отличий ни по максимуму коэффициента усиления, ни по форме сечения главного лепестка.

Повышение технологической эффективности

Повышение технологической эффективности, основанное на разработанном алгоритме, заключается в следующем:

1. Выбор очередного шестиугольника.
2. Замощение его поверхности треугольниками.
3. Проверка условия сглаживания грани, и, в случае если условие выполняется, объединение вершин образующих шестиугольников.

Выводы

Представленное в данной работе технологическое решение позволяет повысить технологическую эффективность изготовления профилированных рефлекторов ЗА при сохранении формируемой контурной ДН. Технологическое решение основывается на использовании алгоритма сглаживания поверхности профилированного рефлектора. Сглаживание профиля состоит в приравнивании координат вершин соседних шестиугольников среднему значению при величине дислокации менее $\lambda/8$, что позволяет уменьшить относительную площадь дислокаций элементов рефлектора со 100 % до 7 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Галимов Г.К.* Антенны и спутниковая связь. Т.5. Земля и борт // М. «Авансд Солюшнз». 2013. 504 с.
2. *Кулк К.И.* Спутниковая связь: прошлое, настоящее, будущее // М. Горячая линия – Телеком. 2015. 256 с.
3. *Сомов А.М., Волгаткин К.М.* Расчет зон покрытия на земной поверхности с использованием внеосевой зеркальной многолучевой антенны СВЧ диапазона // Труды НИИР. №2. 2010. С.39-43.
4. *JiXiang Wan, Tao Yan, Feng Wang.* A Hybrid Reflector Antenna for Two Contoured Beams With Different Shapes // IEEE Antennas and wireless propagation letters. 2018. V.17. №7. P.1171-1175. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2018.2836927>
5. *Zhenqin Zheng, Long Zhang, Xianting Xie, Qingwei Ji, Hui Chen, Chunxu Mao.* Single-Feed Reflectarray Antenna with Eight Beams for Satellite Communications // IEEE 4th International Conference on Electronic Information and Communication Technology. 2021. P.658-661. <https://doi.org/10.1109/ICEICT53123.2021.9531087>.
6. *R. Florencio, J.A. Encinar, R.R. Boix, V. Losada, and G. Toso.* Reflectarray antennas for dual polarization and broadband telecom satellite applications // IEEE Transactions on antennas and propagation. 2015. V.63. № 4. [P.1234-1246. https://doi.org/10.1109/TAP.2015.2391279](https://doi.org/10.1109/TAP.2015.2391279).
7. *Daniel R. Prado, Manuel Arrebola, Marcos R. Pino, George Goussetis.* Contoured-Beam Dual-Band Dual-Linear Polarized Reflectarray Design Using a Multiobjective Multistage Optimization // IEEE Transactions on antennas and propagation. 2020. V.11. №68. P.7682-7687. <https://doi.org/10.1109/TAP.2020.2993014>.
8. *Aline R. Assis, Fernando J. S. Moreira, José R. Bergmann.* GO Synthesis of offset dual reflector antennas using local axis-displaced confocal quadrics // Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications. 2020. V.19. № 2. P.177-190. <https://doi.org/10.1590/2179-10742020v19i2813>.
9. *G.T. Poulton, S.G. Hay.* Shaped reflector synthesis by successive projections // IEEE Antennas and propagation Society International Symposium 1992 Digest. P.363-366. <https://doi.org/10.1109/APS.1992.221924>.
10. *Шишлов А.В.* Зеркальные антенны с контурными диаграммами направленности – эффективность и предельные возможности // Радиотехника. 2006. №4. С.45-50.

Занин Константин Михайлович, руководитель группы, Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи, Россия, город Ростов-на-Дону, улица Нансена 130, 344038, телефон: +7 (8632) 01-84-63, email: konstantinznin@rambler.ru.

Zanin Konstantin Mikhailovich, group manager, Rostov-on-Don research institute of radio communication, 344038, Russia, Rostov-on-Don, 130 Nansena street, phone +7 (8632) 01-84-63, email: konstantinzanin@rambler.ru.

УДК 621.396

Орехов Вячеслав Валентинович, Русин Дмитрий Иванович

ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЖИЛОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

В данной работе представлена разработка дизайна и технология изготовления жилого модуля. В проекте была разработана технология изготовления жилого модуля. Разработана планировка, в соответствии с нормами безопасности и экологичности для данного типа производства. Приведен краткий исторический обзор мобильных и стационарных жилых модулей. Описан процесс разработки дизайна и изготовления оригинального жилого модуля. Уникальность, удобство, технологичность изготовления и практичность в условиях низких температур.

Дизайн, технология изготовления, жилой модуль, экстремальные условия эксплуатации.

Orekhov Vyacheslav Valentinovich, Rusin Dmitry Ivanovich

DESIGN AND MANUFACTURING TECHNOLOGY OF A RESIDENTIAL MODULE FOR EXTREME CONDITIONS

This paper presents the design development and manufacturing technology of the residential module. In the project, the technology of manufacturing a residential module was developed. The layout has been developed in accordance with safety and environmental standards for this type of production. A brief historical overview of mobile and stationary residential modules is given. The process of designing and manufacturing the original residential module is described. Uniqueness, convenience, manufacturability and practicality at low temperatures.

Design, manufacturing technology, residential module, extreme operating conditions.

Введение. На сегодняшний день стационарные, модули те, которые можно перемещать шасси или же воздушным способом на вертолетах или самолетах до места их установки, чаще всего используются в

промышленной сфере, строительной или исследовательской, в редких случаях в качестве баз отдыха или даже отелей.

Цель исследования состоит в разработке универсального мобильного жилого модуля для использования в суровых климатических условиях.

Задачи:

- поиск и анализ существующих, сегодня и в прошлом аналогов;
- разработка компоновочных решений, с учетом эргономики;
- проработка внешнего вида корпуса оболочки, визуализация;
- конструктивное решение с учетом возможных материалов.

Главное преимущество модуля заключается в возможности его перемещения и, следовательно, главное назначение модуля заключается в установке его в местах, которые не освоены человеком, но на которых осуществляется какая-либо деятельность человеком и где человеку для его деятельности нужно комфортно проживать. По сути, мы имеем объект, относительно небольших размеров, который можно свободно перемещать и который может удовлетворить потребности человека для комфортного проживания.

Основными климатическими условиями были выбраны условия низких температур, следовательно, модуль должен обладать свойствами сопротивления низким температурам, повышенной теплоизоляции внутренних помещений.

Жилой модуль является конструкцией для временного проживания. Они бывают как больших размеров, оборудованные всем необходимым для обеспечения комфортного проживания, так и небольших размеров с минимальным набором функционала по типу кровати, стола, пары полок для хранения вещей и мини кухней. В случае комфортного проживания жилые модули больших размеров, несомненно, выигрывают у небольших, так как оборудованы спальней, ванной комнатой, кухней, залом отдыха и другими важными функциями, но у них есть и свои недостатки. Прежде всего это, конечно же, размеры, что усложняет их транспортировку и стоимость, ведь чем больше конструкция и больше в ней функционала, тем она дороже. Изготавливаются жилые модули подготовленными к различным климатическим условиям, отвечают пожарным и санитарным нормам.

Жилые модули можно разделить на 3 основных вида:

- 1) автодом;
- 2) прицеп-кемпер;
- 3) блок-контейнер.

Первые полноценные автодома были сконструированы ненамного позже того, как автомобили стали обычным явлением на американских дорогах [1].

Первые кемперы конструировались на колесах по простым чертежам и изготавливались из дерева. Прицепы имели небольшие размеры и чаще округлой формы, имеющие всего одну ось [3].

Если, все вышеперечисленные типы жилых модулей больше принято использовать для путешествия, то вот блок-контейнеры больше подходят для статичного размещения в какой-либо местности и транспортировки в другую местность по необходимости.

Существует огромное количество способов применения жилых модулей. Их можно использовать в качестве постоянного места проживания. Жилые модули часто используют строительные, рудодобывающие или нефтяные компании. В строительной сфере их также, как и в кино, используют в качестве лагерей для проживания рабочих, если строительство ведется в дали от города, также применяются при инспекции объектов, которая занимает немалое количество времени. Если говорить о добыче полезных ископаемых, то большинство ресурсов находится в далеких от городов территориях и для работы на таких объектах необходимо обосновывать лагеря для рабочих [4].

Главным прародителем таких модулей можно считать мобильный дом, предназначенный для служебной деятельности, которая проходит в экстремальных условиях (температура -65° и ветер 60 м/с), получает название «Цилиндрический унифицированный блок» (ЦУБ).

В 1978-м году на базе ЦУБов выпускается первый мобильный жилой комплекс.

Учитывая суровый климат и сильные морозы, главная сложность состояла в обеспечении людей, работающих в регионе, теплыми и безопасными домами. Также жилища полярников должно было быть прочным и мобильным.

Конструкция ЦУБа схожа с принципом функционирования термоса. Когда на улице мороз, внутри тепло, а когда жарко, что бывает редко, то внутри сохраняется прохлада.

Также хорошим укрытием от холода ЦУБ является и в особо экстремальных условиях: при -65° и шквальных порывах ветра. Снежные заряды любой плотности и силы легко обтекают металлический цилиндр и толстые тройные окна, которые с легкостью выдерживали подобные нагрузки.

В процессе поиска формы сечения, прежде всего, руководствовались практичностью. Это симметричные формы простых фигур, был принят компромисс – что-то между квадратной и круглой.

Внутренняя компоновка представляет собой ряд бытовых приборов, мебели тепло вырабатывающего оборудования, вырабатывающего электричество оборудования и так далее (рис. 1).

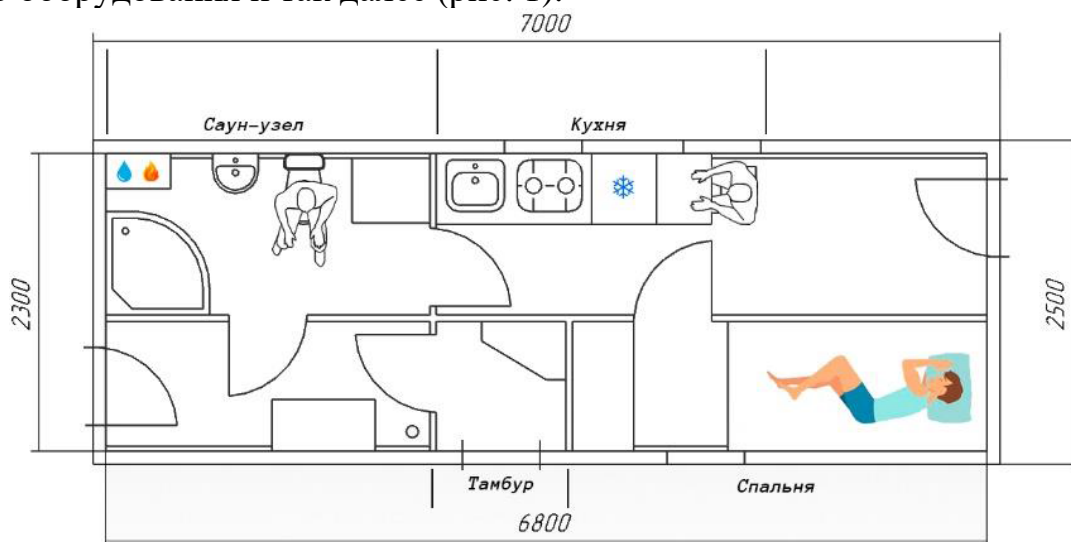


Рис. 1. Внутренняя компоновка модуля

Далее представлен внешний вид оболочки модуля. Кроме это проработаны компоновочные решения для формирования массивов из модулей, для стыковки модулей между собой был предложен специальный переходной модуль, образующий пространственную структуру с осями на три стороны (рис. 2) .

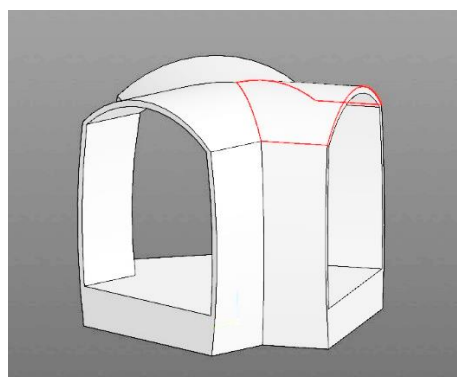
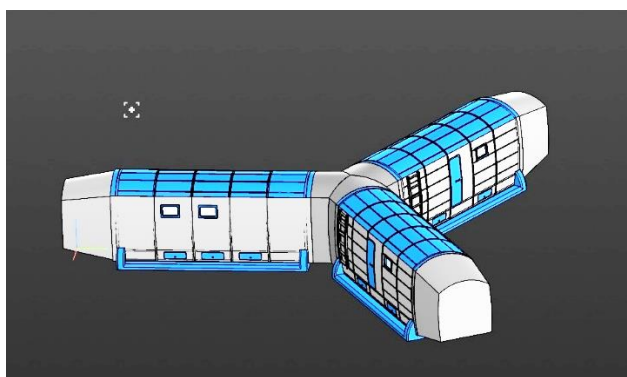


Рис. 2. Компоновка и переходной модуль

После анализа нормативных документов и форм, был создан эскиз основной формы (рис. 3). По ним были разработаны чертежи и проработана конструкция жилого модуля.

За основу определения размеров модуля, был взят ГОСТ Р 58760-2019 размеров контейнерных зданий [10].

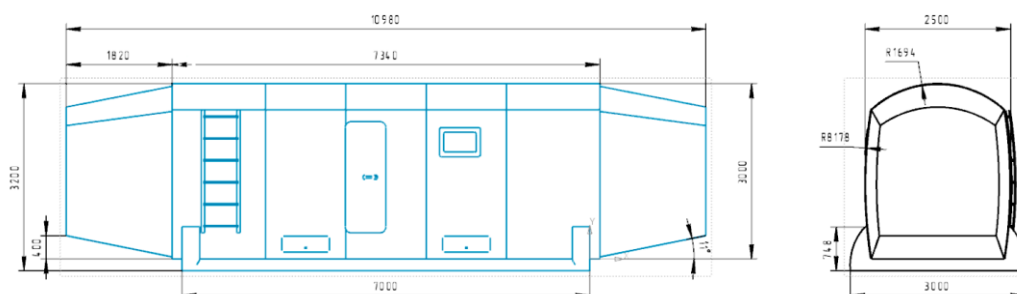


Рис. 3. Эскиз основной формы жилого модуля

Технология. Сегодня основным материалом в автомобильной, авиационной промышленности и в судостроении являются алюминиевые сплавы. И несмотря на то, что сейчас в промышленности все чаще начинают применять углеволокно, стекловолокно, алюминий занимает главное место [5].

Алюминий широко применяется как конструкторский материал. Главные достоинства алюминия заключаются в этих свойствах — легкость, податливость штамповке, коррозионная стойкость.

В промышленности алюминий редко используют в чистом виде. В основном применяют сплавы алюминия. Так в авиастроении и автомобилестроении самыми распространенными марками алюминия являются марки 6061 Т4/Т6 и 7075 Т6 [7].

Проанализировав механические свойства материалов, было решено выбрать в качестве материала каркаса алюминиевый сплав 7075. Использование данного сплава обусловлено его высокими прочностными характеристиками. В качестве материала обшивки применен алюминиевый сплав 6061 [7]. Использование данного сплава обусловлено его свойствами деформации и коррозионной стойкости.

По цели назначения каркас модуля должен быть прочным, устойчивым к низким температурам, а также удобным в использовании [8].

Для достижения шумо и тепло изоляции, за основу была, взята, технология изготовления каркаса и обшивки самолетов, технологии утепления автодомов, прицепов-кемперов и жилых модулей. Изготовление каркасных

деталей можно добиться технологией штамповки, а наполнение стен – многослойный пирог изоляционных материалов. В процессе производства в конструкторской части изделие меняться не будет, а именно каркас, стены, двери и так далее, будут оставаться неизменными, они всегда будут одной формы, неизменных размеров, с одинаковыми местами выреза для дверных проемов, люков и так далее.

Модуль может быть собран под конкретные задачи: внутри будет оборудован только кроватями; может оборудован кухней и столами для приема пищи; лабораторный или технический блок.

Из деталей каркаса (шпангоутов и стрингеров) собирают каркас (рисунок 5) [6]. Шпангоуты и стрингеры закрепляют между собой с помощью заклепок. Сборка производится на специальной установке УКПРГ30, а в сложных местах, где установка не справляется, детали крепятся вручную [9].

Анализ показал, что самым распространенным материалом в промышленности является алюминий, который не заменим во всех отраслях. Художественно-конструкторский поиск начался с поиска формы будущего модуля, его оформления и цветового решения. Были разработаны компоновочные планы модуля. Найдена идея соединения модулей между собой и разработаны способы реализации данной идеи. С учетом проведенной работы были подобраны материалы и технологии, применяемые при изготовлении модуля. Форма модуля была подобрана под климатические условия с низкими температурами, в которых предполагается использовать модуль. В процессе исследования было проведено трехмерное моделирование, настройка освещения 3d сцены и визуализация объекта (рис. 4).



Рис. 4. Визуализация

Выводы. В результате проведенного аналитического поиска было выявлено что большие северные территории нашей страны рожают и спрос на мобильные модули, которые в разы облегчают освоение тяжело осваиваемых территорий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. История автодомов. URL: <http://www.avtodom.shikarus.ru/istoriyaavtodomov>. (дата обращения: 15.04.2022). - Текст : электронный.
2. Кто при советском союзе жил в домах-цистернах. URL: <https://masterok.livejournal.com/6241149.html> (дата обращения: 15.04.2022). - Текст : электронный.
3. Цилиндрический унифицированный блок. Мобильный дом для
4. жизни в экстремальных условиях: URL: <https://ardexpert.ru/article/6227> (дата обращения: 15.04.2023). - Текст : электронный.
5. Конструкцию фюзеляжа самолета. URL: <https://allrefrs.ru/3-10497.html> (дата обращения: 15.01.2023). - Текст : электронный
6. Алюминиевый каркас для кемпера. URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5f1192dfe43dc80aa463afe4/aliuminievyi> (дата обращения: 15.04.2022). - Текст : электронный
7. Физические и химические свойства алюминия: URL: <https://stankiexpert.ru/spravochnik/materialovedenie/svoystvaaluminii.html> (дата обращения: 15.04.2022). - Текст : электронный
8. Прочность алюминия при низких температурах. Конструкционный материал для низких температур. URL: <https://aluminiumguide.com/prochnost-alyuminiya-pri-nizkix-temperaturax/> (дата обращения: 15.01.2023). - Текст : электронный
9. Авиационный алюминий. Производство и область применения. URL: <https://1nerudnyi.ru/aviatsionnyj-alyuminij-01/> (дата обращения: 15.01.2023). - Текст : электронный
10. ГОСТ Р 58760-2019 [Национальный стандарт Российской Федерации. Здания мобильные (ИНВЕНТАРНЫЕ) Общие технические условия. Mobile (inventory) buildings. General specifications Дата введения – 2020, 0901. 1

Орехов Вячеслав Валентинович, старший преподаватель кафедры ИГ и КД. Южный федеральный университет. 347928, Ростовская область, г. Таганрог, ул. Чехова 22. +7 988 583 20 49, Orechovvv@sfedu.ru

Русин Дмитрий Иванович, студент гр. РТбо4-88 кафедры ИГ и КД. Южный федеральный университет. 347928, Ростовская область, г. Таганрог, ул. Чехова 22. email: igkd@sfedu.ru

Orekhov Vyacheslav Valentinovich, Senior Lecturer of the Department of IG and CD. South Federal University. 347928, Rostov region, Taganrog, st. Chekhov 22. +7 988 583 20 49, Orechovvv@sfedu.ru

Rusin Dmitry Ivanovich, student gr. RTbo4-88 of the Department of IG and KD. South Federal University. 347928, Rostov region, Taganrog, st. Chekhov 22. email: igkd@sfedu.ru

УДК 712.256

Симонова Наталья Андреевна, Орехов Вячеслав Валентинович, Аббасов
Ифтихар Балакишиевич

ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭТНИЧЕСКОЙ ДЕТСКОЙ ПЛОЩАДКИ «ХОЛОЛО»

В данной работе представлены этапы разработки дизайна и технологического процесса изготовления изделия промышленного дизайна – этнической детской игровой площадки «Хололо». Создание дизайна детской игровой площадки велась в соответствии с правилами колористики, с учётом культурных и национальных особенностей, для разработки были изучены традиционные материалы, орнаменты и мифология дальневосточной народности - коряков. Разработан дизайн изделия, проведён выбор оборудования, оснастки для изготовления детской игровой площадки.

Детская площадка, промышленный дизайн, этнический дизайн, коряки, моделирование, проектирование, технология изготовления.

Simonova A. Natalya, Orekhov Vyacheslav V., Abbasov Iftikhar B.

DESIGN AND TECHNOLOGY OF MANUFACTURING THE ETHNIC PLAYGROUND "HOLOLO"

This paper presents the stages of design development and the technological process of manufacturing an industrial design product - an ethnic children's playground "Hololo". The creation of the design of the children's playground was carried out in accordance with the rules of color, taking into account cultural and national

characteristics, traditional materials, ornaments and mythology of the Far Eastern people - the Koryaks were studied for development. The design of the product was developed, the selection of equipment, equipment for the manufacture of a children's playground was carried out.

Playground, industrial design, ethnic design, Koryak, modeling, design, manufacturing technology.

Введение

Детские игровые площадки являются важным местом в жизни ребёнка, позволяя ему получить как социальное, так и физическое развитие. Ребёнку, как развивающемуся организму нужно было место, на котором он сможет безопасно проводить время, знакомиться со сверстниками. Так как ребёнок при этом должен был оставаться в поле зрения родителей, основным местом для постройки детской игровой площадки становились дворовые территории, расположенные между многоэтажными домами, пустыри улиц, отделённые от проезжих частей, скверы и парки, где родители часто гуляли с детьми и могли наблюдать за ними сидя на скамейках и в беседках.

С момента появления первой детской игровой площадки, её формы и наполнения претерпели множество изменений, стали появляться специальные оборудования, правила их разработок и размещения компонентов, а также свои виды дизайнов и тематик исполнения объектов детского досуга. Дизайн детской площадки в современном мире является не маловажной частью её. Он может стать визитной карточкой, привлекающей детей, а также помочь ребёнку познакомиться с культурой, рассказать свою собственную историю и раскрыть фантазии ребёнка, и поделиться ими с другими людьми.

Аналитический обзор

Детская игровая площадка – зона, назначение которой, организация детского досуга, физического развития ребёнка, его социальных качеств, а также творческих способностей. На территории которой располагается игровое оборудование, выполненное в соответствии с требованиями безопасности ГОСТ. Основными пользователями которой являются дети дошкольного возраста.

Начало изготовления первой детской площадки было положено в Англии в Манчестере, однако сама идея создать зону для детского досуга появилась в Германии. Начало истории детских игровых площадок в России датируется 1894 годом, в Санкт-Петербурге. До периода революций пристройкой и оборудованием детских площадок занимались инициативные

граждане, власти города лишь предоставляли место, саму постройку осуществляли инициаторские сообщества и спонсоры. В Петербурге в 1910 году была установлена первая детская площадка, проспонсированная императорской семьёй, в Москве в начале XX века также стали появляться детские площадки [1].

Однако привычные нам детские площадки на территориях детских учреждений стали появляться лишь с 1930-х годов. До этого периода у детских садов и школ не было собственной земельной территории для дворов, где дети могли бы играть. Считалось, что логичнее обустраивать такие территории возле домов, мест жительства бедных семей. В последствии детские площадки ещё не раз претерпевали изменения, с появлением новых требований безопасности и образования ГОСТ, которые привели их к тому виду, что мы имеем в современном мире.

Изучив и проанализировав историю появления детских игровых площадок от первых учебных территорий с игрушками до площадок современности с игровыми комплексами, горками и качелями, можно сделать выводы о том, что детские игровые площадки остаются актуальными и по сей день. Цикл жизни человечества ежегодно сменяет поколения новых пользователей игровыми зонами, что поддерживает спрос на специально отведённые безопасные и в тоже же время интересные территории для детского досуга.

В результате проведённого анализа был выбран перечень игровых изделий и конструкций проекта, он включает в себя такие элементы как: домик с горкой, песочница, качели-балансир, качалка на пружине, тамареска.

Поиск художественного образа детской игровой площадки, коряки – коренное население Камчатки

При художественном поиске образов для детской игровой площадки было принято решение остановиться на этнической тематике. За основу был взят этнос малого коренного народа северной части полуострова Камчатка – коряки. Данный выбор был основан на личном опыте проживания автора-студентки на Камчатке в течение шести лет и близком знакомстве с культурой Коряков [2].

Коряки, они же – нымыланы, чавчувены, алюторцы – коренной народ, внесённый в Перечень коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации, по сей день сохраняют традиционный образ жизни и свою культуру. Коренной язык данного народа – корякский, письменность которого была образована в 1931 году на латинской

основе, а с 1936 годы была переведена на русскую кириллицу.

Их религиозные взгляды основаны на шаманизме, анимизме, духах и близостью с природой. Главным божеством у коряков считается ворон Кутх, по легенде именно он спустил со звёзд людей, по своим расправленным крыльям, на тело большой рыбы Камчи, из которой образовался полуостров Камчатка. Его образ можно встретить вырезанным на костях животных, в виде деревянных фигурок пелекенов – приносящих счастье берегов. А также в виде рисунков с вороном.

Традиционным одеянием коряков является кухлянка – верхняя меховая рубаха, которую чаще всего шьют из шкур оленей мехом наружу. Свою одежду коряки украшают традиционными орнаментом «опуван», а также вышивкой оленьим волосом, украшениями и розетками из бисера и меха. Орнаменты коряков состоят из повторяющихся геометрических фигур и символических природных мотивов. Коряки делились на кочевых, тундровых (чавчувены) – занимающие крупнотабунным оленеводством с численностью стада от 400 до 2000 голов. Оседлые коряки (нымыланы) – занимаются рыболовным промыслом, охотой, собирательством. Одним из используемых видов лодок у коряков является «бат», дублённое судно. Жилища коряков называются – чум, яранга, различающиеся лишь формой и размером. Основным материалом домов являются шкуры оленей, настеленные на каркас их веток деревьев, и перевязанные на верху оленьей кишкой [2].

Ещё один вид строений коряков – юкольник. Предназначен для вяления рыбы, так как коряки живут близко к природе, они придумали хранить свои заготовки в постройке, расположенной над землей, чтобы животные не могли добраться до пищи и оставить коряков без еды.

Кроме того, дополнительно хочется выделить традиционный корякский осенний праздник – Хололо. В этот день коряки благодарят природу за её щедрые, лесные, морские и речные дары, а также провожают нерпу «домой». На протяжении всего праздника рядом с людьми присутствуют животные, их осыпают снегом и поят водой, что им не было жарко. На рис. 1, слева представлен традиционное жилище чум, и празднование «Хололо», рис.1, справа.

Обоснование выбора названия детской площадки

В ходе анализа культуры коряков было решено назвать этническую детскую игровую площадку – «Хололо», так как это название соответствует важному празднику у камчадалов, который проходит с традиционными песнями и танцами. В этот день коряки проводят разные игры и соревнования.

Само слово «Хололо» звучит весело и оригинально, а на рынке детских площадок такого незнания обнаружено не было. Элементы детской площадки «Хололо» названы в соответствии с выбранными образами, для популяризации культуры и быта коряков.



Рис. 1. Традиционно жилище чум и празднование «Хололо»

Эскизирование на основе собранных этнических образов

После проведения аналитического обзора и анализа культуры коряков, для выбранного ранее перечня игровых элементов, проектируемой детской площадки, был произведён поиск форм. Отталкиваясь от существующих форм корякской культуры и от форм существующих игровых элементов, было произведено эскизирование, концептуальные поиски представлены на рис. 2.

Разработка 3D – моделей детской площадки «Хололо»

Первой разрабатываемой моделью стал детский игровой домик «Чум». При расчёте габаритов этой и последующих конструкций были учтены требования ГОСТ Р 52169–2012 «Оборудования и покрытия детских игровых площадок» и сопутствующих документов, а также эргономика детей [3], [4]. Сам домик повторяет образ жилища коряков – чума, и для его украшения, используются декоративные наклейки в виде орнамента. На рис. 4 представлены эргономические параметры ребенка и трехмерная модель домика «Чум» [5].

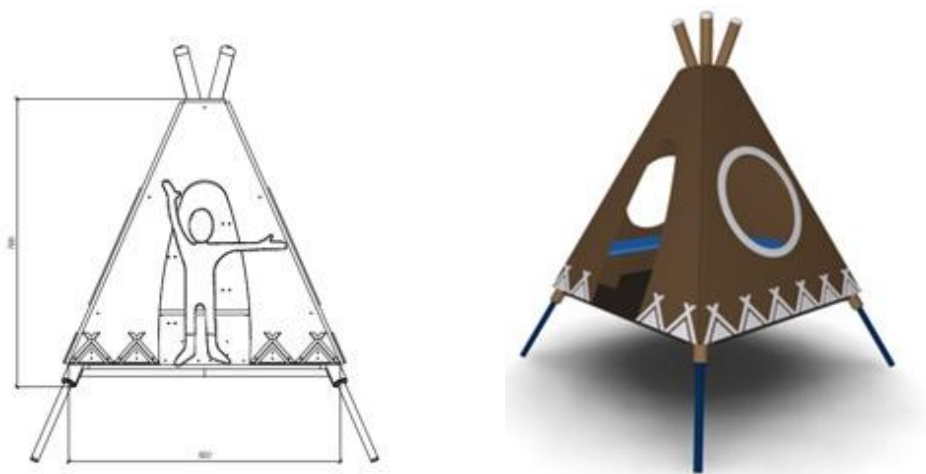


Рис. 4. Эргономические параметры и трехмерная модель игрового домика «Чум»

Внутри домик может быть дополнен скамейками, или вовсе оставаться пустым, оставляя больше пространства для детского пользования.

Комплекс с горкой «Юкольник»

Данная конструкция выполнена по образу корякского юкольника дополненного горкой. Верхняя часть которого выполнена с использованием конструкции домика «Чум», что является решением компоновки элементов заготовок между собой. Для безопасности ребёнка в зоне второго этажа, окно юкольника закрывается специальным пластиковым иллюминатором. Два дверных проёма дополняются горкой и лестницей с орнаментом – море и рыбы. Опоры, на которые установлен второй этаж украшены геометрическим орнаментом. На лестнице помимо орнамента с морем и рыбами присутствует соединительный элемент – солнце, который является как функциональным, так и декоративным. Трёхмерная модель данного домика и последующих элементов детской площадки представлены на рис.5.

Качалка на пружине «Курана»

Курана в переводе с корякского – олень. Это животное тесно связано с жизнью коряков, поэтому было решено дополнить разработанные элементы качалкой на пружине в виде этого животного.

Песочница «Бат»

Для песочницы была выбрана форма лодки, её рекомендуется располагать рядом с комплексом «Юкольник» для создания общей рыбацкой композиции. При этом следует учитывать зоны безопасности данных объектов.

Качели – балансир «Кутх»

Божественный ворон Кутх, изображения которого коряки используют в предметах своего творчества. Именно с использованием его образа было

решено выполнить дизайн качелей – балансира. Сам Кутх по легенде любил кататься на санках, создавая флору и фауну вокруг себя, крылья его служили мостом для людей в этот мир.

Тамареска «Кухлянка»

Данный элемент является больше декоративным, чем игровым. Тамареска выполнена в виде традиционного корякского костюма – кухлянки. Она должна дополнять сцену быта коряков и знакомить ребёнка с культурными особенностями данного этноса.



Рис. 5. Трехмерные модели: комплекс с горкой «Юкольник», качалка на пружине в виде оленя «Курана», качели – балансир «Кутх», тамареска «Кухлянка»

Обоснование выбора материалов

Важным этапом в производстве любого изделия является подбор материалов, из которых оно будет сделано. Основываясь на аналитическом обзоре, изучении аналогов и проведённом патентном поиске, были выбраны следующие материалы: фанера, древесина, металл, пластик.

Фанера является основным материалом для производства большинства элементов детских площадок, из неё делают перегородки, декоративные

детали, удобством такого материала является то, что на неё хорошо ложится краска, а хорошо подобранная и обработанная фанера способна прослужить на площадке долгие годы. Для детских игровых площадок применяют разные виды фанеры, но наиболее популярной является влагостойкая ФСФ фанера из берёзы. При должной обработке она не уступает по качеству фанерам из других пород древесины, попадая при этом в доступную ценовую категорию.

Одним из самых важных видов фанер относится и ламинированная, её преимущество в специальном покрытии, которое снижает скольжение по ней за счёт увеличения силы трения. Её применяют для пола и ступеней на детских игровых площадках, чтобы снизить риск ребёнка поскользнуться и упасть, особенно в дождливую погоду [6].

Дерево – природный материал, от вида и породы которого на прямую зависит качество изделия. Техники обработки данного материала отличаются в зависимости от заданного изделия. Дерево проходит цикл обработок, от резки и шлифовки, до покрытия его защитными и декоративными лакокрасочными материалами. В постройке детских игровых площадок преимущественно применяют древесину из сосны, кедра и секвойи, из-за их декоративных свойств и характеристик.

Металл так же применяется для детских площадок, как в мебели, так и в конструкции используется много каркасов из металла, преимущественно из стали. Для этого металлические профили, полосы и трубы разных размеров и диаметров нарезают на нужные детали и сваривают между собой, таким образом, например, получают подпятники, которые устанавливаются на брусках конструкций снизу и после подпятники погружают в цемент в земле, чтобы закрепить их и образовать стойкую и прочную конструкцию.

Для предотвращения травм у детей от строительной мебели, она должна быть закрыта пластмассовыми заглушками, края которых должны быть скруглены. В свою очередь деревянные брусья закрываются специальными пластиковыми колпаками, которые защищают их от погодных условий, а детей от заноз и ран [6].

Для придания нужного цвета изделию и защиты его от воздействия среды используют лакокрасочные покрытия. В случае с фанерой на детских игровых площадках зачастую используется акриловая эмаль на водной основе, либо водно-дисперсионная, так как этот вид красок характерен повышенной укрывистостью, низким уровнем удержанием грязи и

водоотталкивающими свойствами.

Заключение

В ходе выполнения данного проекта был проведён ряд исследований в области создания детских игровых площадок, выполнен аналитический обзор и патентный поиск, позволяющие оценить актуальность разработки безопасных зон и элементов для детского досуга. Был обоснован выбор тематики будущего изделия, изучена этническая часть проекта, основанная на культуре малого народа коряков, проведено эскизирование уникального дизайна для изделия, цветовой поиск с применением традиционных материалов.

Для моделирования были выбраны основные элементы детской площадки: игровой домик «Чум», домик с горкой «Юкольник», песочница – лодка «Бат», качели балансир «Кутх», качалка на пружине «Курана–олень», тамареска «Кухлянка». Проектирование было осуществлено в среде САПР «Компас 3D» в соответствии с нормами безопасности оборудования детских игровых площадок. Результатом данной работы является детская этнической игровая площадка с оригинальным дизайном. Культурное наполнение, безопасность и уникальность данной разработки, указывает на эффективность проведённой работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Грашин А.А.* Дизайн детской предметной развивающей среды, М.: Архитектура-С, - 2008, 307 с.
2. *Антропова В. В.* В Культура и быт коряков. Л: - 1971, -185 с.
3. ГОСТ Р 52169–2012. Оборудование и покрытия детских игровых площадок. Безопасность конструкции и методы испытаний. Общие требования., - 2012. – 42с.
4. ГОСТ Р 52301–2004. Оборудование детских игровых площадок. Безопасность при эксплуатации., - 2004. – 26с.
5. *Аббасов И.Б., Барвенко В.И., Волощенко В.Ю., Гривцов В.В., Дорошенко С.А., Земляная Т.Н., Калашикова Т.Г., Корецкая С.С., Красновская Н.В., Ли В.Г., Орехов В.В.* Дизайн-проекты: от идеи до воплощения. Под ред. Аббасова И.Б. – М.: ДМК Пресс, 2021. –358 с.
6. *Фролов А.В.* Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда: учеб. пособие для вузов / А.В. Фролов, Т.Н. Бакаева; под. общ. ред. А. В. Фролова. – Изд. 4-е, доп. и перераб. — Ростов н/Д.: Феникс, 2013. -750 с.

Симонова Наталья Андреевна, студентка гр. РТбо4-88, кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Таганрог, Россия, тел.: +7 (8634) 37-17-94.

Орехов Вячеслав Валентинович, старший преподаватель кафедры инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Таганрог, Россия, тел.: +7 (8634) 37-17-94.

Аббасов Ифтихар Балакишиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Таганрог, Россия, тел.: +7 (8634) 37-17-94, iftikhar_abbasov@mail.ru.

Simonova Natalya Andreevna, student gr. RTbo4-88, Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering and Technology Academy of the Southern Federal University, Taganrog, Russia, tel.: +7 (8634) 37-17-94.

Orekhov Vyacheslav V., senior Lecturer, Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering Technological Academy of the Southern Federal University, Taganrog, Russia, tel.: +7 (8634) 37-17-94.

Abbasov Iftikhar B., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering Technological Academy of the Southern Federal University, Taganrog, Russia, tel.: +7 (8634) 37-17-94 .

УДК 725.2

Калашникова Татьяна Григорьевна, Каспшакова Виктория Олеговна,
Подгорная Анастасия Константиновна, Суслина Олеся Марковна,
Чернобривец Анастасия Алексеевна

ДИЗАЙН И 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ИТ-КОМПАНИИ

Описывается проект по разработке дизайна рабочего пространства для ИТ-компании. Командой были проанализированы особенности технологических процессов, выполняемых сотрудниками компании, и требования администрации к рабочим зонам. В процессе работы создан комплексный дизайн-проект рабочего пространства ИТ-компании, учитывающий специфику рабочих мест

специалистов, правила проектирования и пожелания заказчика о просторной и комфортной среде. Выполнена 3D-визуализация предложенных интерьеров офиса.

Дизайн, интерьер, офисное пространство, планировочное решение, 3D-визуализация.

Kalashnikova Tatiana, Kaspshakova Victoria, Podgornaya Anastasia,
Suslina Olesya, Chernobrivets Anastasia

DESIGN AND 3D VISUALIZATION OF THE WORKSPACE FOR IT COMPANY

Describes a project to develop a workspace design for an IT company. The project team analyzed the features of the technological processes performed by the company's employees and the administration's requirements for workspaces. The complex design project of the IT company's workspace was created, taking into account the specifics of specialists' workplaces, design rules and the customer's requirements for a spacious and comfortable environment. A 3D visualization of the proposed office interiors was completed.

Design, interior, office space, planning solution, visualization.

Введение

Компания-заказчик увеличила свои производственные и офисные площади, возник вопрос перемещения отделов и формирования оптимального рабочего пространства для ряда отделов с учетом особенностей их работы и взаимосвязи между отделами. Также для повышения производительности, организации грамотного режима труда и отдыха коллектива должны быть предусмотрены места для отдыха сотрудников и приема пищи.

По результатам опроса сотрудников офисов можно выделить следующие проблемы, вызывающие большинство жалоб: плохая вентиляция и неприятные запахи, плотная рассадка, шум, нехватка переговорных комнат, плохое освещение, неудачно подобранная и часто ломающаяся мебель, отсутствие зон отдыха, отсутствие гардероба.

Концепция офиса open space может решить часть проблем [1–3]. На одной площади можно свободно рассадить большое число сотрудников, что исключает высокую плотность рассадки и духоту. При необходимости планировку можно менять. Среди плюсов также можно выделить легкость коммуникации между сотрудниками, не придется перемещаться из кабинета в

кабинет. Также осуществление рабочего процесса в таком офисе может происходить в виде коллективного обсуждения и решения бизнес-задач.

Разработка дизайн-проекта

На первом этапе проектной деятельности были проанализированы требования заказчика, проведен опрос сотрудников компании, проведен осмотр помещения, выполнены необходимые замеры (рис. 1). В процессе проектной деятельности проводились консультации с профильными экспертами.

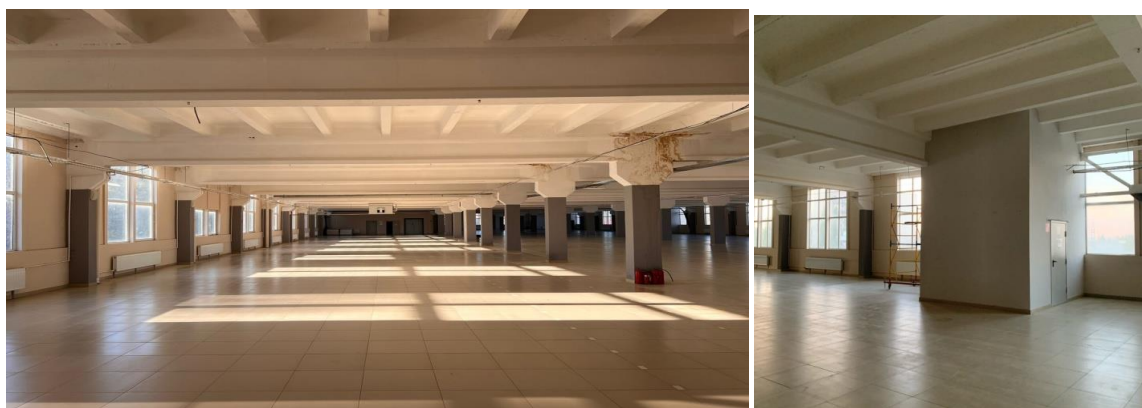


Рис. 1. Осмотр помещения для рабочего пространства

Далее осуществлялся поиск, систематизация и анализ существующих решений в области дизайна офиса (рис. 2).

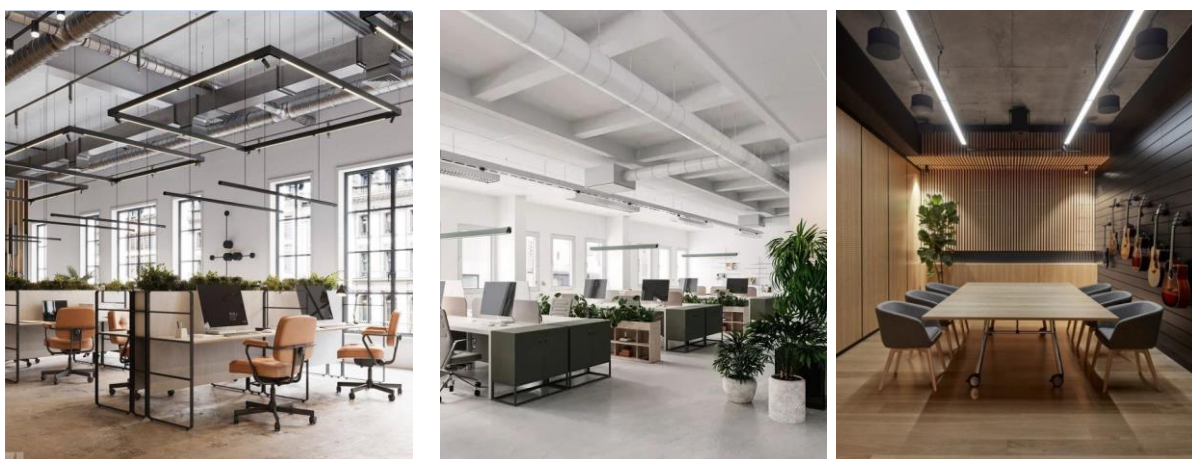


Рис. 2. Аналоги

Для удобства организации командной работы над проектом рассматриваемые аналоги и их описание, все материалы по проекту размещались на онлайн-доске Miro, а планирование задач для рабочей группы проводилось с помощью Trello [4].

Следующим этапом стало изучение нормативно-правовой документации, современных технологий и интерьеров, а также оценка возможностей реализации проекта, анализ рынка (варианты закупки мебели, материалов и т.п.) [5–8]. В соответствии с полученной информацией был сформулирован и проверен ряд гипотез по алгоритму HADI-циклов. Таким образом, выяснилось, что длина рабочего стола может варьироваться от 1,2 м до 2,0 м, а глубина от 0,6 м до 0,8 м, в зависимости от специфики оборудования рабочих мест каждого отдела. Перегородки, разграничивающие пространство, могут быть стеклянные и декоративные из деревянных реек. В связи с большими габаритами помещения и положительной оценкой его состояния напольные покрытия монтироваться не будут, что значительно экономит затраты.

295

В отделе менеджеров и маркетологов столы имеют форму буквы «Г», что позволяет расположить тумбу под столом, не теряя рабочего пространства на столе. Столы в отделе проектировщиков, схемотехников, программистов имеют размеры 2000x800 мм, благодаря этому на поверхности стола можно располагать до 3 мониторов или различные рабочие инструменты.

Офис несколько удален от городской инфраструктуры, поэтому сотрудники зачастую обедают в столовой на работе. Поэтому в планировке офиса предусмотрено просторное помещение, в котором помимо обеденных групп расположен кухонный гарнитур. Двухуровневая зона отдыха в буферной зоне между «шумным» и «тихим» отделами, позволит переключиться, выпить кофе в тишине, поиграть в настольный теннис и приставку или выйти позвонить, не мешая коллегам (рис. 4).

По периметру помещения расположены радиаторы, обеспечивающие комфортную температуру в период отопительного сезона, а для жаркого сезона следует предусмотреть мульти-сплит-системы настенного типа. К одному внешнему блоку такого кондиционера можно подключить два или три внутренних, каждый из которых имеет индивидуальную настройку с пульта управления в каждом отделе.



Рис. 4. Зона отдыха

Помимо планировочного решения, разработаны план расположения осветительных приборов и план электрики. Над рабочей зоной каждого сотрудника расположена подвесная люстра, а в проходах – трековое освещение. Также предусмотрены 3–4 розетки и розетка для интернета на каждого сотрудника. Благодаря этому пространство не будет захламлено большим количеством удлинителей. Техническая часть данного дизайн-проекта выполнялась в программе AutoCAD.

После разработки всех необходимых чертежей были созданы 3D-визуализации интерьера с использованием программ ArchiCad, SketchUp и 3DsMax (рис. 5). В светлом интерьере использован синий цвет в качестве акцента – фирменный цвет компании. Стены окрашены в белый, серый и синий цвета. Некоторые зоны выделены декоративными перегородками из реек или металла. Коммуникации на потолке не закрыты, частично выкрашены в синий. Напольное покрытие – широкоформатная серая плитка. В качестве декора использованы неоновые надписи с логотипом компании, современные подвесные полки, частично металлические вставки, подвесные объекты.



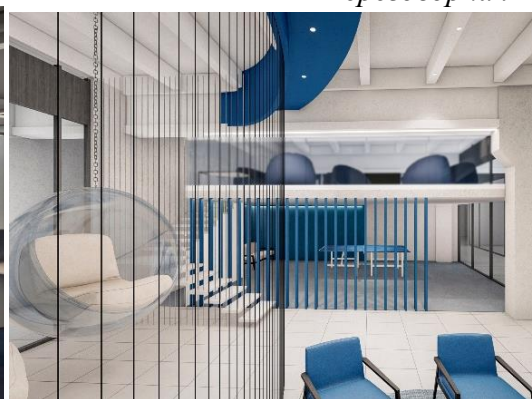
Входная зона



Переговорная



Отдел программистов



Зона отдыха



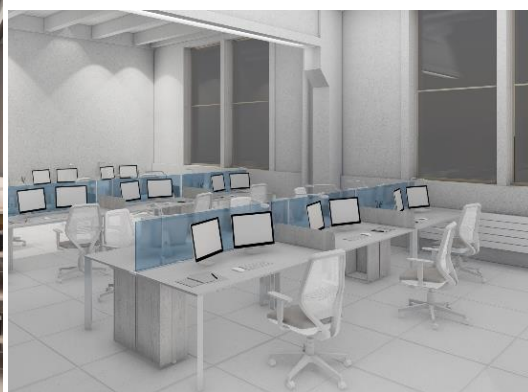
Медиа-класс



Столовая



Отдел программистов



Отдел схемотехников

Рис. 5. 3D-визуализация интерьера

Заключение

В процессе создания проекта был разработан ориентированный на сотрудников компании-заказчика комплексный дизайн-проект офиса формата open space, отвечающий требованиям к проектированию офисных помещений, имеющий возможность перепланировки и современный индивидуальный дизайн. Проект получил положительную оценку от заказчика, а также подтверждение, что предложенные решения будут использованы при планировании и оформлении офисных помещений компании. Также проект высокие экспертные оценки и занял первое место в рейтинге проектно-образовательного интенсива ЮФУ SfeduNet среди проектов заказного трека. Команда с данным проектом приняла участие в Международном научно-исследовательском конкурсе WORLD OF SCIENCE 2022 (г. Пенза), диплом 1 степени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дизайн продуктов, дизайн интерьеров, дизайн среды – дизайн мышления/ В.А. Хорохордин, Т.Ю. Фальковская – 2021. – 353 с.

2. Проектирование зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения/ Под ред. Маиляна Д.Р. – Рн/Д: Феникс, 2017. – 109 с.
3. *Крундышев Б.Л.* Архитектурное проектирование жилых зданий, адаптированных к специфическим потребностям маломобильной группы населения/ Б.Л. Крундышев. – СПб.: Лань, 2012. – 208 с.
4. *Калашникова Т.Г.* Особенности реализации проектно-образовательного интенсива ЮФУ в онлайн-формате// «Цифровизация инженерного образования»: сборник материалов международной онлайн-конференции. – Ижевск: Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2021. – С. 90-96.
5. *Митина Н.* Дизайн интерьера/ Н. Митина. – М.:Альпина Пабли., 2013.–302 с.
6. *Рунге В.Ф.* Архитектурно-дизайнерское проектирование интерьера (проблемы и тенденции)/ В.Ф. Рунге. – М.: Архитектура-С, 2011. – 256 с.
7. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003
8. СП 118.13330.2012*. Свод правил. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06- 2009

Калашникова Татьяна Григорьевна, к.т.н., доцент кафедры инженерной графики и компьютерного дизайна Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, ул. Чехова, 22, корп. «Б», 347900, телефон: +7 (8634) 37-17-94, e-mail: kalashnikovatg@sfedu.ru

Tatiana Kalashnikova, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, Department of engineering graphics and computer design, Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 22 Chekhov street, 22, building «B», 347900, phone: +7 (8634) 37-17-94, e-mail: kalashnikovatg@sfedu.ru

УДК 515.2+655.1

Пилевина Яна Борисовна, Гривцов Владимир Владиславович,
Литюк Леонид Викторович

ДИЗАЙН СБОРНИКА СТИХОВ ОМАРА ХАЙЯМА «РУБАИ»

Данная работа посвящена разработке дизайна подарочного издания сборника стихов Омара Хайяма «Рубаи». Проведен анализ некоторых аналогов иллюстрированных публикаций, изданных в разное время, выбран и

обоснован стиль иллюстраций. Формат издания был выбран стандартным, легко вписывается в общую картину на книжной полке и удобен для чтения. Для создания книги были нарисованы 12 авторских иллюстраций к выбранным четверостишиям, которые отражают ключевые моменты произведения. Иллюстрации выполнены в смешанной технике. Разработан ее оригинал-макет. Новизна работы заключается в свежем взгляде на оформление данного произведения, в выборе материала для обложки и в более современной интерпретации иллюстраций.

Ключевые слова: дизайн книги, иллюстрирование, обложка, шрифт, модульная сетка, верстка книги.

Pilevina Yana Borisovna, Grivtsov Vladimir Vladislavovich,
Leonid Viktorovich Lityuk

DESIGN OF THE COLLECTION OF POEMS BY OMAR KHAYYAM "RUBAI"

This work is devoted to the development of the design of the gift edition of the collection of poems by Omar Khayyam "Rubai." The analysis of some analogues of illustrated publications published at different times was carried out, the style of illustrations was selected and substantiated. The format of the publication was chosen as standard, easily fits into the overall picture on the bookshelf and is easy to read. To create the book, 12 author illustrations were drawn for the selected quatrains, which reflect the key moments of the work. The illustrations are made in mixed media. Its original layout has been developed. The novelty of the work lies in a fresh look at the design of this work, in the choice of material for the cover and in a more modern interpretation of the illustrations.

Keywords: book design, illustration, cover, font, modular grid, book layout.

Введение.

Имя персидского и таджикского поэта Омара Хайяма (1048–1131) хорошо известно каждому. Автор прославивших его рубаев (четверостиший-афоризмов), а также рассказов, притч, во всем мире воспринимается как истинный восточный мудрец, которому присущи широта взглядов, умение точно и изящно выразить мысль, заставить читателя задуматься над якобы прописными истинами. В России переводы его произведений появились лишь в XIX веке, и с тех пор внимание к творчеству и личности Омара Хайяма не угасает [1].

Цель работы – создание оригинального образа сборника, разработка дизайна и оригинал макета, создание иллюстраций.

Основная часть

Основная задача проекта – реализовать дизайн-проектирование оригинал-макета сборника стихов Омара Хайяма «Рубаи», со следующими этапами работы: обзор и анализ исторически зарекомендовавших себя аналогов; выбор формата книги; определение объема издания; разработка авторского иллюстративного материала; подбор шрифтов. Творческий поиск и практическая реализация проекта должны базироваться на широком применении компьютерных графических технологий [2-4].

В разработке дизайна книги основополагающий элемент – это дизайн обложки. Правильно созданный дизайн – обложка и внутреннее художественное оформление придают книге оригинальный, эстетичный внешний вид.

Сравнительный анализ.

Для разработки своего оригинального стиля дизайна сборника стихов Омара Хайяма «Рубаи».», проведен сравнительный анализ существующих аналогичных изданий. Проанализировав оформление сборников стихов других дизайнеров, выявив, все достоинства и недостатки, проведен выбор со стилевым направлением сборника и его содержанием. В качестве аналогов из многочисленных изданий поэта выберем несколько сборников стихов с различными иллюстрациями.

Иллюстрации Ирины Степановой к сборнику стихов – подарочной книги в кожаном переплете «Хайям Рубаи», Москва, 2012г., количество страниц 352с. Техника исполнения: высококачественная полиграфия, печать офсетная, кожаный переплет ручной работы; дизайн прекрасно сочетает в себе различное тиснение, крашенный обрез; мелованная бумага. Размер 28х20х7 см.

В данной книге использованы качественные и дорогие материалы, что характерно для подарочного издания.

Данные иллюстрации являются наиболее часто используемые. Местами персонажи нарисованы дробно, выглядят незакончено, а иногда достаточно откровенны [5] (рис. 1).

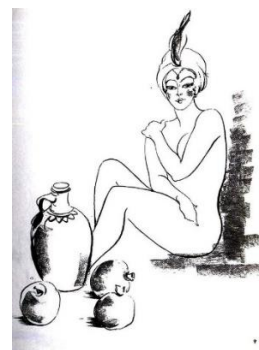


Рис. 1. Иллюстрации Ирины Степановой

Иллюстрации к сборнику стихов О. Хайяма «Рубаи» О. Дроздова:
Страниц: 256 стр. Формат: 120х165. Тираж: 5000 экз. Переплет твердый, бумага мелованная, особенности - иллюстрации черно-белые (рис. 2).

Обложка данного издания оформлена очень красиво. Иллюстрации данного автора просты, и не вызывают должных эмоций, они не призывают задуматься, на них не останавливается внимание читателя. Данный стиль исполнения иллюстраций подходит для менее серьезной литературы.



Не одерживал смертный над небом побед.
Всех подряд пожирает земля-любое.
Ты пока еще цел? И бахвалишься этим?
Погоди: попадешь муравьям на обед!



До рождения ты не нуждался ни в чем,
А родившись, нуждаться во всем обречен.
Только сбросивши гнет ненасытного тела,
Снова станешь свободным, как бог, богачом.



Рис. 2. О. Хайям «Рубаи» с иллюстрациями О. Дроздова

Иллюстрации к сборнику стихов О. Хайяма «Рубаи» Химапан Нирут:
Страниц: 400 стр. Формат: 125х170. Тип упаковки: коробка. Переплет кожаный, бумага мелованная, иллюстрации цветные (рис.3).

Существенным дополнением к подарочному изданию является коробка, что подчеркивает значимость книги и ее подарочный вариант.

Данные иллюстрации красивы, детальные, использованы натуральные оттенки цветов. Работы выполнены в акварельной технике.



Рис. 3. О. Хайям «Рубаи» с иллюстрациями Химапан Нирут

Сборник стихов О. Хайяма «Рубайят. Иллюстрации Эдмунда Дюлака (в шелке)». Издательство: ОлмаМедиаГрупп/Просвещение, 2014г.

Роскошное издание "Рубаи" с великолепными работами одного из крупнейших французских и английских художников-иллюстраторов начала XX века Эдмона Дюлака, принадлежащего к так называемому «Золотому веку иллюстрации» (первая четверть XX в.). Традиционные для Востока орнаментальные мотивы в сочетании с изяществом ар-нуво, переносят нас в волшебный мир поэзии великого Хайяма.

Его рисунки выразительны и в то же время лаконичны, с удивительной точностью художник передает как картины природы, так и характеры людей (рис. 4).

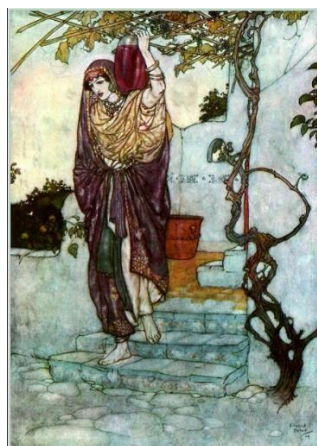
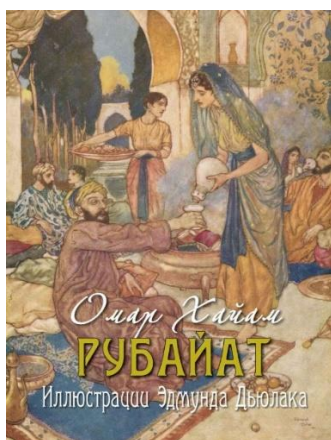


Рис. 4. Иллюстрации Э. Дюлака

Из всех аналогов, представленных для сравнения, последний, является самым удачным иллюстрированием сборника стихов. Очень эмоционально переданы сцены, интересная композиция, проработанные персонажи (рис. 4).

Как и работы Химапан Нирут иллюстрации Эдмунда Дюлака могут служить вдохновением для создания новых интересных работ.

На основе проделанного анализа был сделан вывод, что иллюстрации должны быть детальными, глубокими, как и содержание книги. Исполнены в смешанной технике с использованием натуральных оттенков. Должны иметь определенную эмоциональную окраску, но существенно отличаться от классических иллюстраций этого сборника.

Разработка оригинал-макета книги

Подготовка книги к изданию очень трудоемкий процесс [6]. И для достижения результата в положенные сроки целесообразно разбить его на планы.

Этапы подготовки макета: макетирование; подготовка текста; подготовка иллюстраций; выбор шрифтов; верстка; печать оригинал-макета. В свою очередь макетирование включает: выбор формата, полей; элементы дизайна, модульной сетки [7, 8].

Для оригинальности издания материалом обложки было выбрано дерево. В аналогах до этого не встречается использование такого материала.

Исходя из этого, можно смело отнести данное издание к ряду подарочных.

Особенностью книги является современный взгляд на оформление и иллюстрирование, поэтому для декорирования обложки была применена лазерная гравировка. Лазерная гравировка по дереву является одной из самых эффектных. За счет свойств материала, гравированный рисунок приобретает рельеф и оригинальный цвет. В процессе гравировки лазер выжигает изображение на дереве. В зависимости от породы и плотности дерева цвет гравировки варьируется от бледно-желтого до темно-коричневого, почти черного.

Для оформления обложки был создан стилизованный арабо-мусульманский орнамент, что подчеркивает дух востока. В середину были помещены название и имя автора. Сначала был отрисован макет в кривых в графическом редакторе Corel Draw. Гравировальное оборудование распознает именно это формат и лазером выжигает необходимые элементы, следуя четко нарисованным линиям. Окончательное оформление обложки приведено на рис. 5.

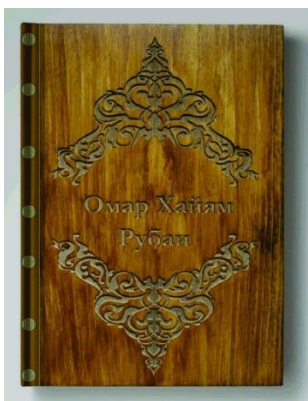


Рис. 5. Макет готовой книги



Рис. 6. Иллюстрации к сборнику стихов

Создание каждой иллюстрации разделялось на три этапа: определение одного конкретного четверостишия, возникновение образа и отрисовка его от руки, затем обработка в графическом редакторе и окончательная верстка (рис. 6).

Допечатная подготовка оригинал-макета книги

Формат был выбран стандартный 250x176 мм. Такой формат удобнее для чтения, чем альбомный. Тем более иллюстрации хорошо вписываются в разворот. И, конечно, такой формат рассчитан на то, он будет органично смотреться среди других книг на полке (рис. 7).

Подготовка текста сначала производилась в программе Microsoft Word, а затем весь текст был скопирован в Adobe Design CS3, где уже происходила дальнейшая верстка [9] (рис. 8). Были созданы стили для основного текста, номеров страниц.

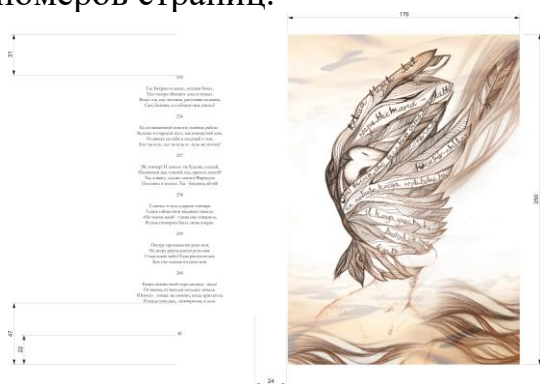


Рис. 7. Поля и формат страницы

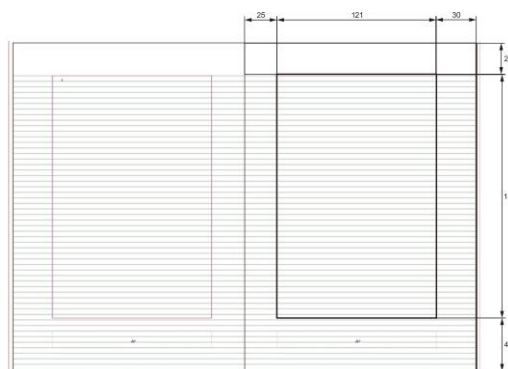


Рис. 8. Модульная сетка в Adobe Design

Фирменный шрифт - Garamond: Аа, Бб, Вв, Гг, Дд, ... 123456789, (*!/?»)
[10].

Формат обложки 176x250мм, без учета подворота (25мм). Бумага для обложки PRINT GLOSS 150 г/м². Печать офсетная, полноцветная 4+0. Мелованная бумага наклеивалась на картон, после чего наклеивалась деревянная обложка с гравировкой. Лазерная гравировка на деревянных сувенирах или элементах декора выглядит весьма привлекательно и уникально. Изображения и узоры с ювелирной точностью выжигаются на любой породе дерева тончайшими лазерными лучами.

При подготовке макетного экземпляра книги все графические файлы были переведены в цветовую модель CMYK, которая соответствует требованиям офсетной печати.

Способ крепления книжного блока был выбран шитье в прострочку – скрепление нитками через корешковый сгиб с использованием ниткошвейки.

Для книжного блока выбрана мелованная бумага 120 г/м². Печать офсетная.

Выводы

В результате проделанной работы получилось оригинальное издание, предназначенное для чтения читателями различных возрастных категорий. Необычное художественное исполнение иллюстраций и обложки будет способствовать привлечению внимания покупателей и поклонников творчества О. Хайяма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Велаяти А. А.* Мудрец Омар Хайям – М.: Вече, 2011 г. – 136 с.
2. *Сологубова С. В., Гривцов В.В.* Дизайн книги Стивена Кинга «11/22/63» В сборнике: Культурные институции и медиации художественной жизни: творчество художника в социальных координатах. Материалы VIII Международной научно-практической конференции. Отв. редактор Д.В. Сергеев. – Чита, Издательство ЧГУ, 2020. С. 78–86.
3. *Аббасов И.Б., Гривцов В.В., Маренчева Т.М.* Фирменный стиль студии дизайна «Home Planner» В сборнике: Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2020). Материалы Всероссийской научно-технической конференции. 2020. С. 240–245.
4. *Астанкова Ю.С., Гривцов В.В.* Дизайн сборника стихов В. Маяковского «Избранная лирика». Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием Компьютерные и информационные

- технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2022»: в 2 т. / ЮФУ. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2022. Т.1. – 358с.
5. Рубаи Омара Хайяма в 30 иллюстрациях Ирины Степановой [Электронный ресурс] – URL:
(<https://kolybanov.livejournal.com/16460962.html?ysclid=liuc1fosai529560593>
(дата обращения: 23.05.2023г.)
 6. *Пикок Дж.* Издательское дело. Книга от замысла до упаковки. – М.: ЭКОМ, 2002. – 401 с.
 7. *Лисицкий Э.* Конструктор книги. – М.: Фортуна ЭЛ, 2006. – 110 с.
 8. *Элам К.* Графический дизайн. Принцип сетки. – Санкт-Петербург: Питер, 2014. – 120 с.
 9. *Лантев В.* Модульная сетка. Проектирование. – М.: Аватар, 2009. – 208 с.
 10. *Феличи Д.* Типографика: шрифт, верстка, дизайн. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2014. – 496 с.

Пилевина Яна Борисовна, студентка, кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна, Института радиотехнических систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347928, телефон: +7(8634)37-17-94, email: ikg@sfedu.ru.

Гривцов Владимир Владиславович, кандидат технических наук, доцент Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347928, телефон: +7(8634)37-17-94, email: gvv@sfedu.ru

Литюк Леонид Викторович, кандидат технических наук, доцент Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347928, телефон: +7(904)-346-26-24, email: lvlityuk@sfedu.ru.

Pilevina Yana Borisovna, student, Department of Engineering Graphics and Computer Design, Institute of Radio Engineering Systems, Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 22 Chekhov Street, phone: +7(8634)37-17-94, email: ikg@sfedu.ru.

Gritsov Vladimir Vladislavovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 22 Chekhov Street, phone: +7(8634)37-17-94, email: gvv@sfedu.ru.

Lityuk Leonid Viktorovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 22 Chekhov Street, phone: +7(904)346-26-24, email: lvlityuk@sfedu.ru.

Научное издание

**Компьютерные и информационные
технологии
в науке, инженерии и управлении
«КомТех-2023»**

В двух томах
Том 1

Отв. за выпуск Клевцов С. И.
Оригинал-макет подготовила Замай Н. А.

Подписано в печать 11.09.2023 г.
Бумага офсетная. Формат 60×84 ¹/₁₆. Тираж 20 экз.
Усл. печ. лист. 17,96. Уч.-изд. л. 14,12. Заказ № 9140.

Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции
Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ.
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел (863) 243-41-66.