МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»

АРЗАМАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)

АРЗАМАССКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННИКОВ И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЕЙ

АССОЦИАЦИЯ УЧЕНЫХ г. АРЗАМАС

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И НАУКА: СИНЕРГИЯ УСТОЙЧИВОГО РОСТА

Сборник статей по материалам
XII Всероссийской научно-практической конференции

© Нижегородский государственный
технический университет
им. Р.Е. Алексеева, 2026

Нижний Новгород 2026

УДК 338: 316: 34
ББК 65+60+67

Промышленность и наука: синергия устойчивого роста: сборник статей по материалам XII Всероссийской научно-практической конференции / Электрон. дан. – Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2026. – 1 электрон. диск (CD-ROM): зв., цв., 12 см. – Систем. требования: ПК с процессором 486; ОЗУ 8 Мб.; операц/ система Windows 95; CD-ROM дисковод; мышь. – Загл. с экрана. – 200 экз.

Настоящий сборник включает в себя статьи студентов, магистрантов, аспирантов, преподавателей высших учебных заведений, руководителей и специалистов промышленных предприятий, основанные на докладах XII Всероссийской научно-практической конференции «Промышленность и наука: синергия устойчивого роста», прошедшей 14-15 апреля 2026 г. в г. Арзамасе. Среди авторов – ученые из городов Арзамас, Нижний Новгород, Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Саранск, Саров, Красный Сулин и др. Статьи отражают актуальные проблемы исторического, социально-экономического и технического развития промышленных предприятий Российской Федерации.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
канд. экон. наук, доц. Е.Г. Моисеева (отв. редактор),
канд. ист. наук, доц. И.В. Филипчук,
канд. тех. наук, доцент М.В.Кангин

Редактор О.В. Пугина
Электронное издание подготовлено ЦДОТ НГТУ им. Р.Е. Алексеева, компьютерная верстка – С.А. Сенина

ISBN 978-5-502-02062-6

Адрес издающей организации:
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.
603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

© Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

1 секция. ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ: ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ……. 9
РОССИЙСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В ГОДЫ СЕВЕРНОЙ ВОЙНЫ 1700-1721 ГГ. *Р.Д. Елдашов* ……..…… 9
РАЗВИТИЕ СОВЕТСКОЙ РАДИОЛОКАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГЕНЕРАЛ-ЛЕЙТЕНАНТА М.М. ЛОБАНОВА. *П.С. Маслов, К.М. Щепетинщиков* …… 14
ПЕРЕВОД ВАРШАВСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА В НИЖНИЙ НОВГОРОД. ПРЕДЫСТОРИЯ В ЛИЦАХ. *Н.А. Пакшина* ….. 19
СТРОИТЕЛЬСТВО ГЛАВНОГО КОРПУСА НГТУ ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА. *Н.А. Пакшина* …… 24
ПРОИЗВОДСТВО ТОВАРОВ ШИРОКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ В ПЕРВЫЕ ПОСЛЕВОЕННЫЕ ГОДЫ. *И.В. Филипчук* …… 29
РАЗВИТИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ. *А.В. Архипова, П.М. Щербакова* …….. 34
БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ (БПЛА): АКТУАЛЬНОСТЬ, ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ В РОССИИ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ. *С.Н. Гришин* …… 39
СИСТЕМА СТРАТЕГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛИНГА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ. *И.Б. Гусева* ……. 44
СТРАТЕГИЯ «ДИВЕРСИФИКАЦИЯ 2.0»: СИСТЕМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ ОБОРОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ К ГРАЖДАНСКИМ РЫНКАМ. *Д.Б. Давыдов, Д.Ю. Файков, Д.Ю. Байдаров* …… 49
АНАЛИЗ СЧЕТЧИКОВ ГАЗА АО «АПЗ» ИМ. П. И ПЛАНДИНА. *А.С. Дудин, Т.В. Карасева* …… 53
ИНСТРУМЕНТЫ ЦИФРОВОГО АНАЛИЗА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: КОМПЛЕКСНАЯ И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА. *А.В. Курбаков* ……. 58
ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА КАК ИНСТРУМЕНТ УКРЕПЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. *М.Р. Лихачев, Д.Ю. Файков, Д.Ю. Байдаров* ……. 62
РОЛЬ ФИНАНСОВОЙ СТРАТЕГИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ. *Е.Г. Моисеева* ……... 66
2 секция. РАЗВИТИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ……. 71
ДЕЛОВАЯ ИГРА «РАБОТА В ПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ» НА ЗАНЯТИЯХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ. *О.В. Волгина, Е.В. Баронова, А.Н. Трутнева* ……. 71

ВОЗМОЖНОСТИ STEAM-ПОДХОДА В ОБУЧЕНИИ РОБОТОТЕХНИКЕ. *Д.А. Маслова* ……. 75
СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОГО ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ ПО ФИЗИКЕ: ТЕОРИЯ, ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ И ПРОВЕРКА ЗНАНИЙ. *Е.Н. Мякишева, О.В.Гришина* …… 80
TRAINING IN MACHINE TRANSLATION ANALYSIS AND POST-EDITING. *В. П. Полозова, М.В. Правдина* …… 86
ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ МЛАДШИХ ПОДРОСТКОВ К ОБУЧЕНИЮ В ИНЖЕНЕРНЫХ КАССАХ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ. *О.А. Субботина, Н.Т. Ота, И.А. Субботина, Д.Т. Ота* ……. 90
РАЗВИТИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОМЫШЛЕННОСТИ КРАСНОСУЛИНСКОГО РАЙОНА: ОПЫТ ЛИДЕРОВ («ТЕХНОНИКОЛЬ» И «ГАРДИАН»). *Н.В. Суворова* …… 94
ПРИМЕНЕНИЕ УПРАЖНЕНИЙ КОМПЛЕКСА ГТО И АТЛЕТИЧЕСКОЙ ГИМНАСТИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ К СИСТЕМАТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ. *Н.А.Тишкина, А.В. Шлыков* …….. 97
ЭЛЕКТРОННОЕ СРЕДСТВО ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ». *Л.Е. Тютерева* ……... 101
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ «ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ». *А.С. Царьков* …….. 106
3 секция. ИННОВАЦИИ И ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ …… 112
ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЛОКА РАЗГОНА ДВИГАТЕЛЯ ДИНАМИЧЕСКИ НАСТРАИВАЕМОГО ГИРОСКОПА УНИФИЦИРОВАННОГО. АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПУЛЬТА ПРОВЕРКИ. *Р.А. Бугаенко* …….. 112
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПРИЕМНИКОВ. *А.В. Букин* …….. 117
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАЗОВЫХ ЗАПАЗДЫВАНИЙ В АНАЛОГО-ЦИФРОВОМ ТРАКТЕ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА. *И.Д. Виноградов* …….. 122
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА НА КВАРЦЕВОМ РЕЗОНАТОРЕ. *М.А. Гольцов* …… 127
МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЛЕРА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО ПРИБОРА. *В.А. Гроздов* …….. 133
ИНФОРМАЦИОННАЯ И СТРУКТУРНАЯ ИЗБЫТОЧНОСТЬ В НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ. *К.О. Гущин, А.А. Гуськов* ……. 137
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАНАЛА АУДИОСИСТЕМЫ. *А.Т. Живечкова* ……. 143
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СУББЛОКА ФОРМИРОВАТЕЛЯ КОДОВ УПРАВЛЕНИЯ СИНТЕЗАТОРОМ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ. *С.С. Жолоб* ……. 146
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ. *П.Р. Завгородний, Р.В. Свердлов* ……..... 153

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ 3Д-МОДЕЛЕЙ В СРЕДЕ BLENDER ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ В СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ. *С.М. Зотов, М.А. Кожевяткина* …… 158
ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ. *Н.В. Зубков* 162
ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ. *Е.М. Кангин, В.В. Глебов* …….. 166
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ ИЛИ КОНСТРУКЦИЙ НА НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ. *Е.М. Кангин, В.В.Глебов* ……... 168
МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ ИЛИ КОНСТРУКЦИЙ НА НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ. *Е.М. Кангин, В.В. Глебов* …… 171
СПОСОБ ВИБРОИСПЫТАНИЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВНЫХ ПРИБОРОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ. *И.И. Клоков, Е.О. Кокуленко* 175
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ЗЕРКАЛ НА ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА. *Т.В. Карасева, М.А. Коннова* …….. 181
МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ПУЛЬТ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК. *С.А.Кожаков* …… 186
ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА МАССИВА ОТСЧЕТОВ НА ПАРАМЕТРЫ КИХ-ФИЛЬТРА. *А.С. Корнишин, Н.П. Ямпурин* …….. 191
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ СЕМЕЙСТВА STM32 И МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА. ВЫБОР ОТЕЧЕСТВЕННОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА. *А. С. Косякова* …… 196
ПЕРЕРАБОТКА ПЭТ-БУТЫЛОК В ФИЛАМЕНТ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ МЕТОДОМ ПРОТЯЖКИ ПОЛОСЫ. *А.Н. Куклин, Я.А. Раскаткин* …….. 202
ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ. *А.Д. Лаптев, О.В. Егоркин* ……. 206
ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗИСТОРОВ. *Б.А. Миркин* …….. 210
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОЙ СПЕЦИФИКАЦИИ В СОСТАВЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ. *Н.В. Назарова, О.В. Егоркин* ……. 217
МОДЕРНИЗАЦИЯ ВХОДНОГО БЛОКА ШЛЕЙФА СИГНАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ. *И.Д. Назыков* ……... 221
ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДОСТУПОМ К ОХРАНЯЕМЫМ ОБЪЕКТАМ НА ОСНОВЕ GSM-КОНТРОЛЛЕРА. *Я.А. Никитина* ……. 226
РАЗРАБОТКА ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ АССИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ. *Р.И. Никишков* ……. 230
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛИ «ОТРАЖАТЕЛЬ» ИЗ МЕТАЛЛА. *А.А. Осминкина, Н.М. Прис* …… 235
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ АНТЕНН. *А.С. Пимков, Н.П. Ямпурин* ……. 241

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО АУДИОЭКВАЛАЙЗЕРА. *М.И. Прахов* …….. 246
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПРОВЕРКИ ПЛАТ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ВИБРОСТЕНДА. *Е.И. Рыжов* ……... 250
МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ. *А.Ю. Соловов* ……... 255
КОНЦЕПЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПРИБЛИЖЕНИЙ. *Н.Е. Румянцев, Е.С. Шишов, В.П. Морозов* ……. 261
ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ ПЕРЕМЕННОГО СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ. *А.И. Рыбаков* ……. 267
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА MATLAB SIMULINK. *К.С. Сычев* ……. 271
ИНЖЕНЕРНЫЙ РАСЧЕТ ПЛАСТИНЧАТОГО РЕКУПЕРАТОРА ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ МАСТЕРСКИХ И МАЛЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ. *Н.А. Тихонов, А. А. Авдеева* …….. 278
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТАЙМЕРА С ПАМЯТЬЮ ДЛЯ УФ-ЛАМПЫ. *А.А. Хорьков, Е.И. Лазарева* 284
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И СТРУКТУРЫ ОБТЕКАНИЯ КРЫЛА С ПРОФИЛЕМ NACA 64(1)A412. *Е.С. Шишов* …….. 289
РАЗРАБОТКА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ВРАЩЕНИЯ ТРУБ ПРИ СВАРКЕ ОПЫТНЫХ КАРДАННЫХ ВАЛОВ. *А.В. Платонов, К.А. Щеглетов, И.А. Платонов, А.Д. Корнеев* …….. 295
ИСПЫТАНИЕ РОЛИКОВЫХ ОПОР ПРИ ВРАЩЕНИИ ТРУБЫ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ ОПЫТНОГО КАРДАННОГО ВАЛА. *А.В. Платонов, К.А. Щеглетов, И.А. Платонов, А.Д. Корнеев, Д.А. Макаров* …… 300
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАКЕТА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ. *И.Е. Тюльтин, А.А. Тужилкин, Д.А. Червяков, К.С. Сычев* ……. 305
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ УРОВНЯ ПУЛЬСАЦИЙ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ. *Е.В. Шелудько* ……. 309
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОСТАНЦИИ. *М.А. Щербакова* …… 313
ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ ПЛАСТИНЧАТОГО РЕКУПЕРАТОРА ЛОКАЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ. *С.В. Юнюшкин, А. А. Авдеева* ……. 318
4 секция. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ……. 325
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ. *И.А. Андриянов, Т.В. Емельянова, В.А. Емельянов* …… 325
РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ QT. *М.С. Беляков* …… 329

СОГЛАСОВАНИЕ АСТРОВИЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА И БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ. *М.Д. Бочкарева* …… 332
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ. *В.С. Бочков, Д.Д. Леонов, Е.В. Филиппова*… 336
ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ НА ЯЗЫКЕ JULIA: РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ. *Э. Р. Варганова, Д. А. Фролова* …….. 341
КОНФОРМНЫЕ ОТОБРАЖЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ЦЕЛОЙ ЛИНЕЙНОЙ ФУНКЦИЕЙ $\mathbf{W = AZ + B}$. *А.Ф. Глухова, Д.Е. Сивогривов* …….. 347
РАСЧЕТ СОСТАВА СЛАБОНЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ ЦЕЗИЯ *Л.П. Грушина, П.И. Грушин* …… 360
СПОСОБЫ УСКОРЕНИЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЧАСТНОЙ ЗАДАЧЕ НАВИГАЦИИ. *М.Н. Гусев* ……. 369
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ И МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В ГИРОИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ. *Н.С. Жданкин, А.А. Гуськов* …… 373
РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С ЧИСЛАМИ В РАЗНЫХ СИСТЕМАХ СЧИСЛЕНИЯ. *Е.Р. Канашкина, Т.В. Емельянова* …… 378
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СТЕНДА ИСПЫТАНИЙ РУЛЕВОГО ПРИВОДА АВТОПИЛОТА НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОУСИЛИТЕЛЯ РУЛЯ, VESC И GUI-МОНИТОРИНГА. *А.О. Комаров, Д.С. Куравин* …….. 383
РАЗРАБОТКА СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ, КОММУНИКАЦИИ И ТРУДОУСТРОЙСТВА СТУДЕНТОВ. *А.Н. Куклин, Т.Е. Эварт, Т.В. Емельянова* …… 391
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЕЛЬТА-РОБОТА С ПОМОЩЬЮ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДНЫХ РЫЧАГОВ. *С.В. Ленькова, Т.В. Рябикина, О.Н. Старостина* ……. 396
РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО БЛОКА. *Д.Д. Леонов* …… 401
СОСТОЯНИЯ РАВНОВЕСИЯ ДВУХ ПОПУЛЯЦИЙ В МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ЛОТКИ-ВОЛЬТЕРРЫ ПРИ НАЛИЧИИ СИЛЬНОЙ КОНКУРЕНЦИИ СРЕДИ ХИЩНИКОВ ЗА ОТЛИЧНЫЕ ОТ ЖЕРТВЫ РЕСУРСЫ. *И. Н. Маслов* ……. 405
СОСТОЯНИЯ РАВНОВЕСИЯ ДВУХ ПОПУЛЯЦИЙ В МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ЛОТКИ-ВОЛЬТЕРРЫ ПРИ НАЛИЧИИ СИЛЬНОЙ КОНКУРЕНЦИИ СРЕДИ ЖЕРТВ. *И. Н. Маслов* …… 410
СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО КВАЗИСКОЛЬЗЯЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ. *А.А. Плотников* …… 415
МОДЕРНИЗАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ АНАЛИЗА НАНОСТРУКТУР. *Я.Ю. Кульков, В.А. Емельянов* ……. 421
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СБОРА СЕТЕВОГО ТРАФИКА. *Е.Д. Носадкин, Ю.А. Гуськова* …… 425

ПРИМЕНЕНИЕ ATTENTION-МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РОБАСТНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ГОЛОСОВЫХ КОМАНД В УСЛОВИЯХ БЫТОВОГО ШУМА. *А.А. Сергеев, Ю.А. Гуськова* ……. 429
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ С ИТЕРАТИВНЫМ ОБУЧЕНИЕМ В ЗАДАЧАХ ТРАЕКТОРНОГО СЛЕДОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ. *Д.А. Сорокин, Н.А.Столяров* …… 434
ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО СКОЛЬЗЯЩЕГО РЕЖИМА С ИТЕРАТИВНЫМ ОБУЧЕНИЕМ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВУХЗВЕННОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ. *Л. С. Харитонов* …….. 439
УПРАВЛЕНИЕ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ С ИТЕРАТИВНЫМ ОБУЧЕНИЕМ НА ОСНОВЕ LPV-МОДЕЛЕЙ. *Н.А. Столяров, Д.А. Сорокин* … 447
СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ «КАЛЬКУЛЯТОР ПЛОЩАДЕЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР» НА ПЛАТФОРМЕ .NET. РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОИСКА ЭКСТРЕМУМА ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ. *В. М. Федоров, Л.Е. Тютерева, Т.В. Емельянова* …….. 452
РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОИСКА ЭКСТРЕМУМА ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ. *В. М. Федоров* ……... 457
КОНКУРС ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ …….. 461
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА. *Г.А. Гуськов, Д.А. Самарин* …….. 461
РАЗРАБОТКА ИНКЛЮЗИВНОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ ЭКСКУРСИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ С АДАПТИВНЫМИ ФУНКЦИЯМИ. *М.А. Кожевяткина, Т.В. Емельянова* …… 465
РАЗРАБОТКА ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ. *А.Н. Куклин, Ю.А. Гуськова* …….. 470
РАЗРАБОТКА ТРАНСПОРТИРУЕМОГО ИНКУБАТОРА ДЛЯ МЛАДЕНЦЕВ. *А.М. Кангин* ……. 475
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫГРУЗКИ ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ 3D – ПРИНТЕРА. *В.В. Шергин* ……. 477

1 СЕКЦИЯ

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ: ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

РОССИЙСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В ГОДЫ СЕВЕРНОЙ ВОЙНЫ 1700-1721 ГГ.

Р.Д. Елдашов
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Арзамасский филиал ННГУ

В статье рассматривается состояние и динамика развития российской промышленности в годы Северной войны 1700-1721 гг. Автор отражает факторы, которые стали главными составляющими промышленного роста в военное время.

Ключевые слова: Северная война, Петр I, мануфактура, Никита Демидов, промышленность.

В начале XVIII века в России утверждается крупная промышленность [9, с. 16]. Главным фактором ее равзития стала, начавшаяся в 1700 году Северная война. Внешний военный вызов стал мощнейшим катализатором, а поражение под Нарвой в том же 1700 году и потеря в битве артиллерии [5, с. 50; 8, с. 87] предначертали довольно высокие темпы развития российской промышленности [1, с. 122], способной обеспечить регулярную армию и флот современным вооружением, боеприпасами и обмундированием.

Стоит также вспомнить о том, в каком состоянии находилась российская промышленность накануне войны со Швецией. Еще задолго до Петра Великого появилось такое понятие как мануфактура, под которым понималось предприятие, основанное на принципе разделения труда между наемными работниками. В России уже тогда выделывали кожу и сафьян, производили сукно, а также медную и оловянную посуду [3, с. 1-2]. Активное развитие мануфактур происходит в период с 30-х и до середины 90-х годов XVII века; они были основаны во многих отраслях промышленности – текстильной, кожевенной, силикатной, и, конечно же, в металлургической сфере. В итоге появилось более 20 казенных заводов, но мануфактуры все же были развиты довольно слабо [4, с. 7].

Важнейшим фактором развития промышленности в годы Северной войны можно считать активное вовлечение купцов и горожан в мануфактурное производство. В годы царствования отца Петра I Алексея Михайловича основной отраслью процветания государства считалась торговля, и поэтому царь всячески старался опекать купечество. Петр Великий признавал важность данной отрасли хозяйства, однако для будущего императора она не являлась основой процветания государства. Петр Алексеевич активно изучал опыт других государств

и полагал, что эти государства развиваются и приумножают богатство за счет «купечества и всяких художников рукоделий». Под этим высказыванием в те времена подразумевались, прежде всего, ремесло и мануфактурная промышленность. Горожане также вовлекались в мануфактурное производство. Служить на мануфактурах было обязанностью жителей города. Принудительные меры Петр I использовал и для вовлечения в промышленность купцов. Так было с казенным предприятием, производившим сукно: купцы, прикрепленные к данной фабрике, доставлялись в Москву специально посланными солдатами. Цель этих мер Петр Алексеевич обозначил следующим образом: «чтоб в пять лет не покупать мундира заморского» [7, с. 259].

Главной отраслью промышленности после начала Северной войны, естественно, стала оружейная сфера. Особое место в ней занимает Тула. В XVIII веке город уже мог считаться крупным центром производства оружия. Тула получила большой опыт и в производстве в целом, а это было ключевой составляющей для основателей промышленных династий, которые были прямыми организаторами производства. Еще важнее то, что товарное производство в Туле достигло такого высокого уровня развития, что оно способно было выделять как обладателей достаточно крупных капиталов для вложения их мануфактурную промышленность, так и людей, лишенных средств производства и готовых продавать свою рабочую силу и производственные навыки. Все это в совокупности привело к тому, что из Тулы стали выделяться довольно крупные промышленные династии [6, с. 71], одна из которых – семья Демидовых. В рамках преобразований Петра они стали богатейшими хозяевами Урала [10, с. 9]. Конечно, при упоминании фамилии Демидовых сразу вспоминается имя Никиты Демидова. Еще в конце XVII века у Демидова в управлении был вододействующий завод, который он построил на собственные деньги силами наемных работников. Демидов очень ценился правительством, все его стремления всячески поддерживались еще и потому, что он поставлял для страны воинские припасы по пониженным ценам, учитывая, что Россия находилась в состоянии войны. В итоге деятельность предпринимателя будет оправдана: он обратился к правительству с просьбой о передаче ему только что запущенного Невьянского завода на Урале. Указ 8 марта 1702 г. гласил, что отныне завод передавался Демидову. Помимо этого, данный указ предусматривал предоставление Демидову права строить и новые предприятия. Однако этим правом уральский предприниматель воспользовался не сразу. Но все же Невьянский завод не мог долго простаивать и поэтому новоиспеченному владельцу завода был дан указ: к «предбудущей» весне отлить на нем 200 пушек двух калибров и доставить их в Москву [11, с. 52]. Это положило начало грандиозному промышленному хозяйству семьи Демидовых на Уральской земле. Невьянский завод долгое время назывался лучшим промышленным предприятием, которое находилось во владении у семьи Демидовых, а на современников он произвел самое благоприятное впечатление. Однако стоит отметить, что завод не сразу стал развиваться высокими темпами. Демидову понадобилось несколько лет для раскачки.

Немного позже, 18 апреля 1703 г., Никита Демидов получил разрешение на постройку железного завода в Кунгурском уезде. Однако в течение первого

десятилетия хозяйственной деятельности на Урале Демидову не удалось воспользоваться этим правом. С течением времени были построены два молотовых предприятия, использовавших чугунное литье Невьянского завода: в 1716 г. запущен Шуралинский завод, а в 1718 было осуществлено открытие более крупного Бынговского завода [6, с. 72], оба эти предприятия входили в состав Невьянского завода и составляли с ним единый комплекс. В целом мы можем увидеть, что промышленность в годы Северной войны активно развивалась при поддержке не только государства, но и при участии активных деятелей из народа.

Государственное регулирование также играло немаловажную роль в развитии промышленности в военное время. Были созданы специализированные органы управления. Так, 24 августа 1700 года был создан рудокопный приказ. Его задачей был поиск полезных ископаемых. Еще одним важнейшим приказом был пушкарский. Петра Великого всегда волновало состояние артиллерии, поэтому довольно логично, что именно за него будущий император взялся в числе первых. Он был передан в ведение генерала артиллерии Александра Арчиловича [2, с. 58]. В 1701 году пушкарский приказ был переименован в артиллерийский, а уже в 1709 году – в Артиллерийскую канцелярию. В 1719 году была создана Берг-коллегия, которая завершила оформление горнозаводского управления, провозгласив принцип горной свободы, а именно право искать руду на любых землях, но при сохранении приоритета казны. Таким образом, государство выступало не только как регулятор, но и как главный инвестор и заказчик.

Итоги развития российской промышленности в годы Северной войны можно назвать двойственными. С одной стороны, Россия получила военно-экономическую независимость. Страна полностью обеспечивала себя вооружением, боеприпасами, обмундированием и флотом, что дало войти ей в число ведущих металлургических держав Европы. Появились новые промышленные районы. Так, например вышеупомянутый Урал стал экономическим центром тяжести на востоке. Помимо этого, опыт войны показал эффективность в краткосрочной перспективе жесткого государственного регулирования. Была создана система коллегий, управлявших промышленностью. Однако стоит сказать и о социальных издержках. Цена индустриализации была высокой – принудительный труд, рост повинностей, прикрепление крестьян к заводам, что усугубило крепостнические тенденции.

Северная война указала на некоторые пробелы в российской промышленности. Неудачный старт войны, выраженный в поражении под Нарвой, подтолкнуло государство идти на чрезвычайные меры, которые возможно поначалу имели хаотичный характер. Однако стоит отметить, что их итог был довольно обнадеживающим. У России теперь была мощная промышленная база: появилось 205 мануфактур, 100 из них – казенные [4, с. 10].

Фундамент величия России и ее военного триумфа был заложен в разных концах страны: недра Урала дали металл, Тула стала арсеналом, а верфи Северной столицы – колыбелью флота. Что касается Петровских преобразований в сфере промышленности, они дали ей крепкий стержень, на котором она держа-

лась и далее на протяжении всего XVIII столетия.

Библиографический список

1. **Анисимов, Е.В.** Время петровских реформ. / Е.В. Анисимов. - Л.: Лениздат, 1989. – 496 с.
2. **Буганов, В.И.** Петр Великий и его время. / В.И. Буганов. - М.: Наука, 1989. – 192 с.
3. **Бурнашев, В.П.** Очерк истории мануфактур в России / В.П. Бурнашев. - СПб., типография Н. Греча, 1833. – 55 с.
4. **Заозерская, Е.И.** Мануфактура при Петре I / Е.И. Заозерская. - М.-Л.: АН СССР, 1947. – 77 с.
5. **Ключевский, В.О.** Сочинения. В 9 т. Т. 4. Курс русской истории. Ч. 4. / Под ред. В.Л. Янина; Составили В.А. Александров, В.Г. Зимина. - М., Мысль, 1989. – 398 с.
6. **Павленко, Н.И.** История металлургии в России XVIII века: заводы и заводовладельцы / Н. И. Павленко. - М.: АН СССР, 1962. – 564 с.
7. **Павленко, Н.И.** Петр I. / Н.И. Павленко. - М.: Молодая гвардия, 2003. – 428 с.
8. **Соловьев, С.М.** Публичные чтения о Петре Великом / С.М. Соловьев. - М., Наука, 1984. – 232 с.
9. **Сыромятников, Б.И.** Очерк истории русской текстильной промышленности в связи с историей русского народного хозяйства / Б. И. Сыромятников. - Иваново-Вознесенск, Основа, 1925. – 93 с.
10. **Хадсон, Х.** Первые Демидовы и развитие черной металлургии России в XVIII веке / Хью Хадсон. – Уфа: Кучумов И.В., 2011. – 88 с.
11. **Юркин, И.Н.** Демидовы: Столетие побед / И.Н. Юркин. - М.: Молодая гвардия, 2012. – 447 с.

РАЗВИТИЕ СОВЕТСКОЙ РАДИОЛОКАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГЕНЕРАЛ-ЛЕЙТЕНАНТА М. М. ЛОБАНОВА

П.С. Маслов[1], К.М. Щепетинщиков[2]
[1]военнослужащий ВС РФ,
[2]курсант ЯВВУ ПВО имени маршала Советского Союза Л.А. Говорова

В статье рассмотрены вопросы развития советской радиолокации через деятельность военного инженера генерал-лейтенанта М.М. Лобанова: определена необходимость развития РЛС в довоенный период, основные вехи их развития во время войны и после ее окончания.

Ключевые слова: *советская радиолокация, Михаил Михайлович Лобанов, РЛС*

История российской радиолокации уходит своими корнями в 30-е годы XX века. При этом надо отметить тот факт, что сама идея о том, что можно искать объекты, которые не видит глаз человека, при помощи радиоволн, которые отражаются от этих предметов, возникла в науке в конце XIX века.

Развитие радиолокации как одной из областей техники, связанной с выявлением параметров различных объектов при помощи радиоволн тесно связано с развитием радиосвязи вообще, а также с практическим освоением учеными, инженерами, военными КВ- и УКВ-диапазона. Также радиолокация получила свое дальнейшее развитие в связи с развитием радиотехники и радиофизики.

В современной жизни радиолокация играет важную роль как в мирной жизни (например, в метеорологии и при изучении космоса), так и в военной сфере, где она первоначально и зародилась. Ее возникновение связано с решением задачи по обнаружению в условиях боевых действий кораблей и самолетов, что было особенно актуальным в условиях плохой видимости. В 1930-е годы происходит скачок в развитии военной техники, связанный, в том числе, с тем, что существенно возрастает ее скорость перемещения кораблей, а также увеличивается высота полетов самолетов. Существовавшие в то время устройства для их обнаружения, как звуковые, так и оптические, перестают справляться с этой важной задачей.

Необходимо отметить тот факт, что все разработки в области радиолокации в СССР сразу были засекречены. Тем ценнее становится изучение наследия генерал-лейтенанта Михаила Михайловича Лобанова, стоявшего у истоков развития советской, а ныне российской радиолокации. Он говорит о том, что в СССР тема радиолокации «почти не описывалась», а ее возникновение и развитие рассматривалось как результат научно-технического прогресса в промышленности и военном деле Великобритании и США, которые предоставили свои разработки СССР в рамках ленд-лиза.

Рассмотрим факты из жизни и деятельности М.М.Лобанова, связанные с развитием советской радиолокации, в развитии которой он сыграл важнейшую роль.

Родился будущий военный инженер в 1901 году в селе Мотовилово, входящем тогда в Арзамасский уезд. Его отец был волостным писарем, человеком

грамотным и образованным. Уже с раннего детства Михаил не только изучал грамоту, но и осваивал ремесло – помогал соседу изготавливать игрушки-каталки на токарном станке.



Рис. 1. Портрет генерал-лейтенанта М.М. Лобанова [1]

В 1917 году Михаил Лобанов закончил с отличием Арзамасское высшее начальное училище. Здесь на него оказал огромное влияние П.П. Цыбышев, инспектор училища, который призывал своих учеников учиться, как бы ни было сложно, потому что стране всегда нужны образованные люди [3].

В то же году Михаил Лобанов поступает в техническое училище, расположенное в городе Казань. В 1919 году ушел добровольцем в Красную армию, с которой и связал всю свою последующую жизнь. Продолжал М. Лобанов учиться и после окончания Гражданской войны.

В 1930-е годы М. Лобанов принимает участие в процессе развития советской радиолокации, с 1932 года он служит в ГАУ[1]. Свои воспоминания об этом процессе он оставил в четырех трудах, наиболее известным из которых является «Развитие советской радиолокационной техники» [2]. Труд М. Лобанова охватывает большой временной отрезок развития радиолокации в СССР вплоть до 1980-х годов.

В предисловии автор отмечает, что его «непреложным условием» является освещение развития радиолокационной техники «таким, каким оно сложилось в действительности» [2].

Главная проблема, которой М. Лобанов уделяет большое внимание, – доказательство того факта, что в СССР идеи о радиолокационном обнаружении

[1] ГАУ - Главное артиллерийское управление

самолетов зародились вне зависимости от иностранных разработок. В частности, причиной этого процесса он называет то, что результаты, которые показывала аппаратура, основанная на акустическом и тепловом методах обнаружения, давала в новых условиях (к которым относилось внедрение в войска новой техники) результаты, не удовлетворявшие военное командование. Также военные предвидели, что данные методы нельзя отнести к перспективным, в то время как эта проблема становилась важнейшей проблемой в охране государства. Именно этими причинами М. Лобанов объясняет возникновение идеи применения радиотехники для обнаружения самолетов и кораблей противника.

В 1932 г. проблема обозначилась очень остро в связи с тем, что ведущие инженеры М.А. Федосенко, П.И. Григорьев и другие осознали ту диспропорцию, которая сложилась между теми возможностями, которые имели бомбардировщики противника по нанесению ударов по объектам на территории СССР и возможностями советских войск ПВО[2] не только по эффективному отражению таких ударов, но и по нанесению максимального урона противнику.

М.М. Лобанов отмечает, что именно средства воздушной разведки, которые разрабатывались в СССР, должны были помочь военным заранее обнаруживать самолеты врага с тем, чтобы их уничтожить, передав данные советским зенитчикам и летчикам.

Академик Ю.Б. Кобзарев отмечает, что М.М. Лобанов не только был одним из подвижников развития радиообнаружения. Его несомненная заслуга состоит в том, что именно он стал тем человеком, который настоял, чтобы радиопромышленность стала решать данную проблему.

В частности, именно М.М. Лобанов на основе вывода о необходимости перехода от акустических и оптических средств обнаружения техники противника проводил переговоры с промышленными предприятиями и учреждениями науки о разработке таких средств на принципиально иных подходах с применением радиотехники. Результатом стало заключение в 1933 году договоров о создании такой техники, например, с ЛЭФИ.

Необходимо отметить тот факт, что развитие радиолокации в 1930-е годы сталкивалось со многими трудностями, не последней из которых оказалась репрессивная политика государства по отношению к военным и ученым. Многие из них, опасаясь за себя и своих близких, отказывались от проведения разработок в столь «сомнительном» направлении развития науки и техники.

Тем не менее, уже в довоенные годы М.М. Лобанов был причастен к опытам, направленным на обнаружение самолетов с помощью отраженных дециметровых волн (январь 1934 года).

В 1938 году М.М. Лобанов выступает с предложением о том, что для радиолокационного обнаружения необходимо применять антенные устройства с веерными диаграммами их направленности. Уже после окончания войны в 1947 году это предложение получило свое развитие в идее о том, что необхо-

[2] ПВО - противовоздушная оборона

димо увеличивать высоту подъема антенн. Это делало их использование более эффективным в вопросах раннего обнаружения техники противника.

Принимал он участие и в процессе разработки, проведении испытаний и принятии на вооружение 10 новых моделей РЛС[3].

Начавшаяся 22 июня 1941 года Великая Отечественная война быстро поставила точку в споре о необходимости средств радиолокационной борьбы для войск ПВО. Стало очевидным, что их нужно не только срочно создавать, но и постоянно совершенствовать.

Уже в самом начале войны М.М. Лобанов выступает с предложением о том, что необходимо срочно создать радиолокационный завод-институт, который будет разрабатывать новые модели РЛС, а затем выпускать их на своих площадях в массовом производстве. До момента открытия этого завода в 1942 году РЛС изготавливались мелкими партиями и по сути являлись опытными образцами. Это не могло насытить войска необходимыми системами радиообнаружения. Первой вошедшей в серийное производство стала РЛС СОН-2а.

М.М. Лобанов за свою деятельность по открытию завода и организацию массового производства РЛС получил орден Красной Звезды.

Необходимо отметить, что Михаил Михалович Лобанов обладал несомненным талантом как организатора, так и инженера. С 1943 года, неся службу в ГАУ, он становится во главе развития РЛС как для зенитной артиллерии, так и для службы ВНОС[4].

М.М. Лобанову принадлежала и идея о необходимости открытия при ГКО[5] Совета по радиолокации. Именно Совет занимался во время войны вопросами разработки и производства радиолокационной техники, причем делалось это в интересах всех родов войск. Можно говорить о том, что Совет стал ключевым органом по становлению советской радиолокации во время войны [1].

В 1944 году М.М. Лобанов встает во главе отдела зенитного вооружения при ГАУ. Здесь он также предлагает новаторскую идею о комплексном развитии вооружения для зенитчиков, с обязательным включением в нее средств связи. Это делает использование зенитных орудий более эффективным. Во время ведения боевых действий М.М. Лобанов постоянно выезжает на фронт, где проверяет боеспособность производимой радиолокационной техники.

По окончании войны М.М. Лобанов продолжает нести службу в ГАУ. Здесь он решает новую проблему, которая встала перед советской радиолокацией: как эффективнее решить вопрос о помехоустойчивости различных видов РЛС всех назначений.

Взгляд М.М. Лобанова на развитие радиолокационной техники СССР, необходимость внедрения ее во все виды войск, стал основополагающим для развития радиолокационной промышленности страны на многие десятилетия вперед.

---

[3] РЛС - радиолокационная станция

[4] ВНОС - военное наблюдение, оповещение, связь

[5] ГКО - Государственный комитет обороны

Таким образом, вклад М.М. Лабанова в развитие советской радиолокации несомненен, а его деятельность требует дальнейшего научного изучения, в том числе, и на основе его эпистолярного наследия.

Библиографический список

1. К 125-летию со дня рождения генерал-лейтенанта Михаила Михайловича Лобанова // Арзамасский историко-художественный музей – Режим доступа: https://museum-arzamas.ru/news/799 (дата обращения 10 марта 2026 г.)
2. ***Лобанов, М.М.*** Развитие советской радиолокационной техники. / М.М.Лобанов – М.: Воениздат, 1982. – 240 с.
3. ***Потороева, И.*** Легенда советской радиолокации / И.Потороева // Арзамасские новости. – №15 (4672). – 26 февраля 2026. – С.17.

ПЕРЕВОД ВАРШАВСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА В НИЖНИЙ НОВГОРОД. ПРЕДЫСТОРИЯ В ЛИЦАХ

Н.А. Пакшина
Арзамасский политехнический институт (филиал)
ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»

Об истории перевода Варшавского политехнического института в Нижний Новгород опубликовано немало материалов. Но стоит признать, что некоторые вопросы становления института практически не затронуты. В статье рассказывается о людях, которые, сделав внушительный взнос при сборе необходимых средств, повлияли на выбор города для эвакуированного вуза, а именно о М.Е. Башкирове, Д.В. Сироткине, М.А. Дегтяреве и В.М. Бурмистровой. Сделана попытка реконструировать события 1916 года, связанные с переводом института на Нижегородскую землю, и исправить некоторые неточности.

Ключевые слова: Варшавский политехнический институт, Нижний Новгород, сбор средств, купечество.

У Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева богатейшая история, в которой много всевозможных преобразований, перемещений и переименований. В 2026 году исполняется 110 лет с момента размещения института в Нижнем Новгороде. В данной статье мы коснемся только первого 1916 года пребывания института в Нижнем Новгороде и остановимся на вопросах малоизученных, а именно на людях, сделавших немало, чтобы в городе появился технический вуз. Вспомним о тех, кто был причастен к переводу Варшавского политехнического института именно в Нижний Новгород.

Нижегородский регион к началу XX века превратился в крупнейший промышленный центр России, где с каждым годом росла потребность в инженерно-технических кадрах. Имевшиеся в стране вузы уже не могли ее удовлетворить [8].

Идея об устройстве в Нижнем Новгороде высшего учебного заведения возникла в 1897 году. 15 января 1898 года городская Дума впервые выразила намерение основать высшее техническое училище. Но прошли годы, прежде чем этот проект удалось осуществить.

Произошло это только после начала Первой мировой войны, и в связи с необходимостью срочно эвакуировать оттуда Варшавский Политехнический институт имени Николая II перед сдачей немцам. Вывезти удалось далеко не все оборудование и имущество.

Первоначально учебное заведение было временно перемещено в Москву. За право принять институт объявили конкурс среди таких городов России как: Тифлис, Саратов, Екатеринодар, Оренбург, Омск, Екатеринослав, Одесса и Нижний Новгород. Успех зависел главным образом от объема средств, который предоставит тот или иной город для существования института. А собрать было необходимо порядка 2 миллионов рублей [5, с. 54].

У представителей промышленности и торговли Нижнего Новгорода была к тому времени отпущена сумма в 700 тыс. рублей, а ее надо было увеличить как минимум на миллион. На двадцатом собрании Нижегородской городской Думы, которое состоялось 6 ноября 1915 года, прозвучали заявления потомственного почетного гражданина Матвея Емельяновича Башкирова, городского головы Дмитрия Васильевича Сироткина и гласного Думы Маркела Александровича Дегтярева (рис. 1, 2).

Именно эти люди и сделали самые внушительные пожертвования на то, чтобы устроить в Нижнем Новгороде политехнический институт. М.Е. Башкиров внес 500 тысяч рублей, М.А. Дегтярев и Д.В. Сироткин – по 100 тысяч рублей. По тем временам это были очень большие суммы.

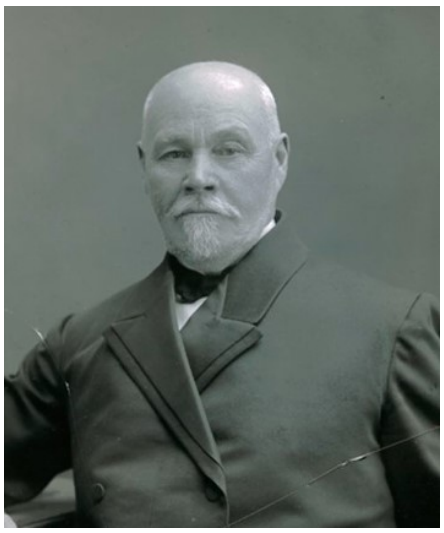


Рис. 1. М.Е. Башкиров



Рис. 2. М.А. Сироткин

Расскажем вкратце о каждом из этих нижегородцев.

Матвей Емельянович Башкиров – коммерции советник (это почетное звание, которым удостаивались купцы, пробывшие в I гильдии не менее 12 лет). Он являлся владельцем Слободской паровой мельницы, которая имела оборот до 4 млн царских рублей, и на ней в 1914 году работало до 640 рабочих [4, с. 32]. Комплекс зданий мельницы был спроектирован арх. Р.Я. Килевейном и занимал целый квартал в границах Предтеченской улицы (ныне – ул. Гаршина), Благовещенской набережной реки Оки (переименованной сейчас в Черниговскую улицу) и Ромодановского вокзала. Там же находилась и макаронная фабрика. К началу мировой войны предприятие Матвея Башкирова достигло пика производства и финансовой мощи.

А еще в 1902 году он основал «Товарищество торговли и пароходства Матвея Емельяновича Башкирова в Нижнем Новгороде». Флотилия Матвея Башкирова и его компаньонов насчитывала 36 хлебных барж. Для проводки этого каравана Товарищество содержало четыре буксирных парохода. Позднее к ним добавился теплоход «Матвей Башкиров» [6, с. 99].

Большая семья Матвея Емельяновича Башкирова проживала в доме на Гребешке. Оттуда с Гребешка (Ярилиной горы) была видна, и его мельница и открывался изумительный вид на заречную часть города.

Всю свою жизнь Матвей Емельянович много средств тратил на благотворительность. Например, он состоял членом попечительских советов ряда заведений (Владимирского реального и Предтеченского училищ, Мариинской гимназии, Кутайсовского приюта) [7]. Но особенно готовность жертвовать проявилось после начала Первой мировой войны. Он выделил крупные средства в Фонд победы над врагом.

Дмитрий Васильевич Сироткин – коммерции советник, купец I гильдии, известный судостроитель и судовладелец, председатель торгово-промышленного и пароходного акционерного общества «Волга». В начале XX века он владел 15 пароходами и 49 баржами. А его отец происходил из крестьян Балахнинского уезда. Сам Дмитрий в юности постиг курс речника, пройдя путь от матроса до капитана.

Своими незаурядными способностями Д.В. Сироткин выделялся среди других волжских пароходчиков не только предпринимательской, но и изобретательской жилкой [1]. А нижегородский архитектор С.А. Новиков так охарактеризовал Дмитрия Сироткина «*был человек волевой, энергичный, предприимчивый, умный, с широкой инициативой... Ему чужды были малые масштабы, мелочность. Он обладал даром разбираться в людях, был проницателен и легко подбирал для себя нужных ему деловых людей. Он умел ценить их труд…*» [3, с. 571, 572]. Не случайно, А.М. Горький считал его «*одним из умнейших представителей русской буржуазии*».

Характерной чертой Дмитрия Васильевича была не только, и не столько личная жертвенность, а умение организовать других на благие дела. Одними из ярких примеров тому является его деятельность в Городской думе в 1897 году, когда его назначили в комитет по народным столовым и чайным, и сбор средств для приема в Нижнем Новгороде Варшавского политехнического института.

А еще этот человек, являясь старообрядцем, был видным церковным деятелем и благотворителем. Он финансировал строительство старообрядческой церкви, содержание молитвенного дома.

Сироткин возглавлял городскую Думу с 1913 по 1917 годы, т.е. был последним дореволюционным мэром Нижнего Новгорода. Вступив на пост, он отказался от положенного жалования. Время его правления было очень непростым. Во-первых, с началом войны его назначили уполномоченным при правительстве по заготовке продовольствия для армии на Средней Волге. Во-вторых, со вспышками эпидемий дизентерии и тифа пришлось срочно приступить к началу строительства в Нижнем Новгороде канализации. Будучи городским головой, он принимал участие в открытии Народного университета и возродил давнюю традицию – игру духового оркестра в Александровском саду и многое другое. Нижегородцы не забыли Д.В. Сироткина и в 2012 году на Верхне-Волжской набережной ему установили памятник, напротив его бывшего особняка. Скончался Дмитрий Васильевич в эмиграции за границей в 1953 году.

Маркел Александрович Дегтярев – нижегородский купец первой гильдии, крупный предприниматель, владелец промышленного комплекса паровой мельницы, который находился рядом с мельницами Матвея Емельяновича Башкирова на набережной реки Оки. Расположение на берегах рек «обеспечивало дешевые транспортные услуги». Кроме того, комплекс мельниц М.А. Дегтярева – «*важный элемент речного фасада города, играющий активную роль в формировании его панорамы»* [2]. И ныне этот мельничный комплекс сохранил свой исторический облик. С М.Е. Башкировым его связывало не только соседство их предприятий. Известно, что когда Матвей Емельянович вступал в брак, при венчании его поручителям стали отец и сын Дегтяревы.

Что общего у всех этих людей? Отцы всех троих происходили из крестьянского сословия. Все они являлись судовладельцами. Все были достаточно богаты и инициативны, и их пожертвования для создания в городе политехнического института не являлись единичными разовыми актами. В той или иной форме они ранее уже занимались благотворительностью.

Кроме того, и другие нижегородцы приняли в сборе необходимой суммы посильное участие. Здесь стоит упомянуть одну представительницу купеческого сословия Варвару Михайловну Бурмистрову, внесшую 50 тысяч рублей. Нередко встречается утверждение, что этот взнос сделал в 1916 году Д.М. Бурмистров, но ее муж Дмитрий Михайлович Бурмистров умер в 1899 году, т.е. задолго до перевода института. Варвара Михайловна, как и трое рассмотренных ранее жертвователей, была известна своей благотворительностью, например, она помогала Бугрову содержать «Вдовий дом», поддерживала Нижегородскую Мариинскую гимназию.

Итак, средства были собраны, но как раз в это время между Нижним Новгородом и Одессой разгорелась нешуточная борьба, которую иногда называли «одесской интригой». В Одессе было собрано для этой цели также 2 млн рублей [5, с. 54]. Необходимо отметить, что при решении вопроса определенную роль сыграло и расположение Нижнего Новгорода вдали от пограничных территорий.

С переводом Варшавского политехнического в Нижний Новгород ожидалось увеличение населения приблизительно на 2000 человек.

Городская дума Нижнего Новгорода в период с 15 мая по 1 июня 1916 года освободила и предоставила институту размещения семь зданий. Например, дом Торсуева на улице Алексеевской, 3, здание Владимирского реального училища по адресу: Большая Покровская, 37, гостиницу «Россия» на Благовещенской площади (ныне пл. Минина и Пожарского) и ряд других.

И 1 июля 1916 был начат прием прошений о зачислении. Газета «Волгарь» от 05.07.1916 сообщала: «*В Нижний прибыл Варшавский политехнический институт. Канцелярия его устроилась в городском училище в доме Обрядчикова, что рядом с городским ломбардом. В помещении кипит работа, вскрываются ящики с делами, изящными американскими шкафам и столами, и другим имуществом института. Канцелярия уже работает, принимает заяв-*

ления от молодежи, выдает всякого рода справки и высшей степени любезно и внимательно относится к каждому посетителю» [5, с. 65].

В это время по воде из Москвы плыли баржи с имуществом института: машинами, инструментом, книгами и коллекциями.

1 октября 1916 года в 12 часов в актовом зале Владимирского реального училища состоялись молебен и торжественный акт по случаю «Открытия политехнического института в Нижнем Новгороде». Начинался новый этап жизни института.

Библиографический список

1. **Галай, Ю.Г.** Служа сердцем и разумом – URL: https://vasilievaa.narod.ru/zhurnal/2.96-14.htm (дата обращения: 29.01.2026).
2. **Давыдов, А.И.** Архитектурно-промышленный комплекс мельницы М.А. Дегтярева // Открытый текст – URL: https://opentextnn.ru/space/nn/dom/chernigovskaya/kompleks-melnicy-degtjareva/(дата обращения: 30.01.2026)
3. **Макаров, И.А.** Карман России: Нижегородские были. / И.А. Макаров И.А. / вст. Очерк Б.М. Пудалова – Нижний Новгород: Книги, 2006. – 672 с.
4. **Пакшина, Н.А.** Нижегородский Мариинский институт благородных девиц в лицах. Книга 2: монография / Н.А. Пакшина – Новосибирск: Академиздат, 2025. – 422 с.
5. **Рыбьев, В.Б.** Бывший Варшавский, ныне Нижегородский политехнический институт / В.Б. Рыбьев, Т.Ю. Полянская; НГТУ. Нижний Новгород, 2007. – 257 с.
6. **Смирнов, С.А.** Башкировы. Триумф и трагедия. /С.А. Смирнов – Нижний Новгород: Отчина, 2020. – 408 с.
7. **Смирнов, С.А.** Нижегородские мукомолы и благотворители Башкировы. – URL: https://smiroslav.livejournal.com/27209.html (дата обращения: 29.01.2026).
8. **Фарисеева, М.Е.** Главные здания НГТУ им. Р. Е. Алексеева: история строительства / М.Е.Фарисеева, Т.П.Курзина // Библиотека в информационно-образовательной среде вуза: традиции и инновации : материалы Всерос. науч.-практ. конф., г. Н. Новгород, 29-30 нояб. 2017 г. / НГТУ, НТБ. – Н. Новгород, 2018. – URL: https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/library/resurvsy/conf/biblconf/2017/3-5.pdf (дата обращения: 17.01.26).

СТРОИТЕЛЬСТВО ГЛАВНОГО КОРПУСА НГТУ ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

Н.А. Пакшина
Арзамасский политехнический институт (филиал)
ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»

В статье рассказывается о первых двух десятилетиях работы в Нижнем Новгороде переведенного из Варшавы политехнического института, о годах, когда происходили неоднократные реорганизации и переименования этого учебного заведения. Акцент сделан на возведении главного административного здания. Подробно описана городская усадьба, которая стала стройплощадкой для корпусов будущего института, а ранее принадлежала известной благотворительнице В.М. Бурмистровой.

Ключевые слова: Нижегородский политехнический институт, Горьковский индустриальный институт, строительство, 1916–1934.

Как известно, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева сформировался на базе Варшавского политехнического института, переведенного в Нижний Новгород летом 1916 года. Его главный корпус был воздвигнут через восемнадцать лет в 1934 году на месте бывшей городской усадьбы известной благотворительницы Варвары Михайловны Бурмистровой (урожд. Рукавишниковой).

За эти годы название, структура, да и местоположение института неоднократно менялись. Первоначально административные службы были размещены на центральной Благовещенской площади города в так называемом доме Д.А. Обрядчикова. Этот купец в конце XIX века перестроил здание по проекту архитектора И.Д. Ершеского, а по смерти завещал его городу (рис. 1).

В краснокирпичном здании в то время находилась первоклассная гостиница «Россия». Именно в ней в июле 1916 года разместили канцелярию Варшавского института, кабинет директора, четыре кабинета деканов, кабинет общих дел, бухгалтерия, зал Правления института [6, с. 63].



Рис. 1. Бывший дом Д.А. Обрядчикова

В те годы строительство вуза задумано было совсем в другой части города. Грандиозный проект зданий Нижегородского политехнического института архитектор В.А. Покровский создавал, ориентируясь на кручу Дятловых гор вдоль берега Оки (рис. 2) [6, с. 70].



Рис. 2. Проект В.А. Покровского

Но этот проект не был осуществлен. Сначала препятствием стала Первая Мировая война, потом трудности революционного и послереволюционного периода. В городе функционировало множество госпиталей, начались эпидемии, и на месте предполагаемого строительства института были сооружены бараки для больных заразными болезнями.

Да и сам институт, который назвали Нижегородским политехническим институтом (НПИ), просуществовал всего около двух лет, а уже в июне 1918 года в городе был создан Нижегородский государственный университет (НГУ), а НПИ стал его частью в качестве факультета.

Прошло двенадцать лет, и в 1930 году НГУ решено было реорганизовать. На базе отдельных факультетов создали несколько самостоятельных учебных заведений, и в их числе Механико-машиностроительный институт (ММИ) и Химико-технологический институт (ХТИ), которые в 1934 году объединили в Горьковский индустриальный институт (ГИИ).

Объединение происходило в непростых условиях. Г.К. Оржоникидзе 25 марта 1934 года подписал приказ, в котором было обозначено следующее условие объединения: « *...к 1 мая с.г., не допуская при объединении втузов срыва нормального хода занятий*» [6, с. 221].

Комиссия выбрала под корпуса обширный участок вдоль Верхне-Волжской набережной между улицами Кизеветтерской и Мартыновской (совр. ул. Фрунзе и Семашко соответственно).

На этих кварталах находились не только ветхие деревянные строения, но и богатая городская усадьба В.М. Бурмистровой на участке, который она приобрела на перекрестке улиц Жуковской и Провиантской в 1879 году. В 1885 году было завершено строительство и отделка дома [4, с. 216]. Усадьба состояла из двух отдельных частей, разделенных улицей Провиантской. И изначальное строительство началось не с дома, а с возведения каменной одноэтажной оранжереи [2, с. 43].

Место под главное здание института было выбрано на углу улиц Провиантской и Жуковской (ныне Минина) там, где раньше за глухим забором раз-

мещались оранжереи В.М. Бурмистровой. В современных источниках можно встретить, что пишут «оранжерея» в единственном числе, но очевидцы, утверждают, что это не так.

Например, московский коллекционер П.И. Щукин, отмечал, что было «*несколько цветочных и фруктовых оранжере**ей***» [2, с. 50, 52].

И воспитанница Нижегородского Мариинского института А.А. Аллендорф в своем дневнике в 1901 году отмечала: «*…мы ходили в сад к Бурмистрову. Ах! Как там хорошо!… …Кроме сада мы осмотрели еще оранжере**и** и были поражены чудными цветами. Особенно меня удивили азалии, таких больших я еще нигде не видала»* [1].

В дореволюционный период сад Бурмистровых был известен широко за пределами Нижнего Новгорода. Еще в 1894 году в художественном альбоме «Пейзажи Нижегородского Поволжья» (фототипия с натуры М.П. Дмитриева) было помещено немало фотографий сада Бурмистровых. Благодаря им, а также многочисленным фотографиям В.Ю. Виллуана, жившего по соседству, мы можем представить, какой была усадьба, сад и то место за забором, где будет возведено здание Горьковского индустриального института (рис. 4) [3].



Рис. 3. В.М. Бурмистрова



Рис. 4. Фрагменты усадьбы Бурмистровых. В.Ю. Виллуан.1902

Административный корпус изначально решено было разместить в красивом особняке Бурмистровой, который планировали расширить за счет пристроя. Но данный проект не был осуществлен, и строительство так и не началось [7].

В результате бывший купеческий особняк Варвары Михайловны оказался как раз напротив нового возводимого здания института. Ко времени начала строительства Главного институтского корпуса и дом, и замечательный сад, и оранжереи были национализированы.

Сама бывшая хозяйка проживала в одном из домов по Плотничному переулку, куда, по всей видимости, была переселена. И надо же было такому случиться, что Горьковский индустриальный институт (сейчас – главный корпус Нижегородского технического университета им. Р.Е. Алексеева) стали возводить на месте ее гордости – знаменитого сада Бурмистровых.

Очевидица событий Л.Н. Полетаева позже так вспоминала про расчистку будущей стройплощадки: «*…находился большой красивый сад с цветущими кустарниками, ягодниками и, конечно, со множеством цветов. Но самым главным была огромная застекленная оранжерея, где основное место занимала большая, под самый потолок, пальма – предмет нашего восторга. …Мы плакали, видя, как на грузовике увозили спиленную пальму, как рушили оранжерею, и как весь сад превращался в огромный котлован под строительство здания института*» [5, с. 129].

Административное здание Горьковского индустриального института было построено в стиле конструктивизма по проекту молодого московского архитектора Дмитрия Николаевича Чечулина, который впоследствии станет главным архитектором Москвы. Студенты оказывали помощь в строительстве главного здания института, отрабатывая каждый по 20 часов. В результате в 1934 г. здание было построено (рис. 5) [7].



Рис. 5. Здание ГИИ

Позднее, для придания большей монументальности, был реконструирован фасад по Верхне-Волжской набережной по проектам архитектора И.Ф. Неймана.

С тех пор прошло 90 лет, а здание и сейчас используется по назначению и является визитной карточкой теперь уже Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.

Библиографический список

1. **Аллендорф, А.А.** Дневник [Электронный ресурс] // Электронный корпус «Прожито». − URL: *https://prozhito.org/notes?date=1900-01-01&diaries=%5B249%5D&offset=25* (дата обращения 16.07.2022).
2. Вокруг купеческого особняка. Здание литературного музея А.М. Горького. – Нижний Новгород: Кварц, 2017. – 176 с.
3. **Краснов, В.В.** К истории особняка В.М. Бурмистровой в г. Нижнем Новгороде // Открытый текст. –URL: https://opentextnn.ru/space/memorialestate/krasnov-v-v-k-istorii-osobnjaka-v-m-burmistrovoj-v-g-nizhnem-novgorode/ (дата обращения: 10.01.2026).
4. **Кузьмина, Т.А.** «Не Проклятый род» (из истории нижегородской купеческой династии Рукавишниковых) / Т.А. Кузьмина // Живое наследие памяти: коллективная монография / науч. ред. Д. Я. Романова, отв. ред. Ю. А. Закунов. – М.: Институт Наследия, 2020. – 698 с., С. 202–279: ил. – DOI 10.34685/HI.2019.64.16.008.
5. **Полетаева, Л.** Прикосновение к былому // Сложим прошлое с настоящим. Сб. краеведческих статей. Н. Новгород, 2017. С. 125−130.
6. **Рыбьев, В.Б.** Бывший Варшавский, ныне Нижегородский политехнический институт / В.Б. Рыбьев, Т.Ю. Полянская; НГТУ. Нижний Новгород, 2007. – 257 с.
7. **Фарисеева, М.Е.** Главные здания НГТУ им. Р. Е. Алексеева: история строительства / М.Е.Фарисеева, Т.П.Курзина // Библиотека в информационно-образовательной среде вуза: традиции и инновации : материалы Всерос. науч.-практ. конф., г. Н. Новгород, 29-30 нояб. 2017 г. / НГТУ, НТБ. – Н. Новгород, 2018. – URL: https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/library/resurvsy/conf/biblconf/2017/3-5.pdf (дата обращения: 30.01.2026).

ПРОИЗВОДСТВО ТОВАРОВ ШИРОКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ В ПЕРВЫЕ ПОСЛЕВОЕННЫЕ ГОДЫ

И.В. Филипчук
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматриваются вопросы производства товаров широкого потребления на промышленных предприятиях Горьковской области в первые послевоенные годы. Приведенные в статье цифры свидетельствуют о серьезном дисбалансе между спросом населения и возможностями местного производства, что, безусловно, усугубляло социально-экономическую напряженность в регионе в послевоенный период.

Ключевые слова: послевоенное развитие СССР, Горьковская область, промышленные предприятия, потребительские товары, производство товаров ширпотреба

Завершение Великой Отечественной войны обусловило масштабную трансформацию промышленного комплекса Горьковской области, затронувшую ключевые аспекты производственной деятельности. Переориентация предприятий на выпуск гражданской продукции повлекла за собой кардинальную корректировку производственных программ, реорганизацию режимов труда, перераспределение кадровых ресурсов, изменение как количественного, так и качественного состава рабочего персонала.

Например, Горьковский автомобильный завод (ГАЗ) в течение мая-октября 1945 года переориентировал профиль и вернулся к выпуску автомобильной продукции. Ликвидация военных заказов привела к сокращению в два раза выпуска товарной продукции. За счет ликвидации завода № 466 автозавод получил около 5500 новых рабочих, а снятие военных заказов вызвало перевод со специальных цехов на автомобильное производство более 2500 рабочих. Таким образом, общее количество новых и переведенных рабочих составило до 30% от общего количества. [1, л.103]. Значительные изменения в связи с ликвидацией производства боеприпасов и сокращением плана по танкам претерпела программа завода № 112 [1, л.104 об]. А вот металлургический завод № 178, г. Кулебаки, не претерпел существенных изменений в производственной программе. Однако, за счет сокращения выпуска дорогого бронелиста товарный выпуск значительно уменьшился: с 5 млн руб. в апреле до 4 млн в октябре. [1, л.107].

Четвертая пятилетка (1946-1950 гг.) значительное внимание уделяла развитию производства товаров широкого потребления (ширпотреба). Это было связано с необходимостью повышения уровня жизни населения и общей стабилизации социально-экономической ситуации. Советское правительство предписывало народным комиссарам союзных промышленных наркоматов восстановить, а при наличии возможности вновь организовать цеха по производству товаров широкого потребления на подведомственных предприятиях. Предприятия получали право полностью распоряжаться прибылью, полученной от про-

дажи товаров народного потребления. В качестве дополнительной меры социальной поддержки до четверти объема такой продукции могло быть направлено на обеспечение нужд собственного трудового коллектива [2, л.70].

В течение второго полугодия 1945 г. Горьковский обком ВКП(б) осуществлял комплекс организационно-хозяйственных мер, направленных на наращивание объемов производства товаров широкого потребления. На ГАЗе, «Красной Этне», «Красном Сормове», Первомайском тормозном и других заводах были организованы специальные цехи ширпотреба, обладающие солидной материально-технической базой. На заводе им. Свердлова было организовано производство изделий из пластмасс, для чего несколько цехов полностью реконструировано, на заводе «Заря» выпускалась эмалированная посуда и керосиновые лампы. На заводе «Рулон» было расширено производство изделий из органического стекла [5, с.3].

Среди ассортимента автозавод им. Молотова были детские велосипеды, кровати, алюминиевая посуда, завода «Красное Сормово» – кровати, ведра, посуда и мебель, завода «Красная Этна» – электроутюги, электроплитки, посуда и кровати. Мотозавод освоил приготовление детских трехколесных велосипедов. Выксунский металлургический завод наладил выпуск кроватей и железоскобяных изделий, начал выпуск эмалированной посуды девяти наименований (большие и маленькие кастрюли, тарелки, кружки, детские чайные приборы) [5, с.3].

Тем не менее, темпы выпуска товаров для народа местной промышленностью были недостаточны и часто критиковалась как центральной, так и региональной прессой. На страницах газеты Горьковская коммуна (31 июля 1946 г.) вышла статья секретаря обкома ВКП(б) В. Тихомирова с критикой горьковских предприятий по вопросу производства товаров широкого потребления.

В первую очередь отмечалось, что промышленные предприятия не выполняют план выпуска изделий товаров ширпотреба: за первое полугодие 1946 г. автозавод им. Молотова выполнил этот план на 72%, Красная Этна – на 82,5 %, мотозавод – на 57%, Выксунский металлургический завод – на 84%.

Отмечалось, что завод им. Орджоникидзе в первом полугодии 1946 г почти прекратил выпуск шифоньеров, тумбочек и раздвижных столов, хотя имел материалы, производственные площади, оборудование, кадры. Вновь организованный цех ширпотреба работает также плохо. За первую половину 1946 года он выполнил программу на 47% [5, с.3].

Остановимся подробнее на проблемах, с которыми столкнулись горьковские предприятия в послевоенный период, обусловленными кардинальной сменой производственной парадигмы. Заводы, лишившиеся прежних оборонных заказов, демонстрировали крайне низкую динамику перепрофилирования производственных линий на выпуск гражданской продукции. Данный процесс существенно осложнялся рядом системных факторов. Прежде всего, формирование новых хозяйственных связей – важнейшего условия бесперебойной работы промышленности – происходило с заметными затруднениями. Можно утвер-

ждать, что институциональные и логистические барьеры препятствовали оперативному налаживанию кооперации между предприятиями.

Кроме того, производственная деятельность регулярно прерывалась вследствие комплекса ресурсных ограничений. К числу наиболее распространенных причин приостановки работы следует отнести дефицит исходного сырья и комплектующих материалов, неконтролируемый перерасход энергоресурсов (в частности, электроэнергии), и так далее.

В качестве примеров, иллюстрирующих этот тезис, можно привести следующие. Завод № 197 электропромышленности г. Горького выпускал до 50 различных наименований товаров из случайных материалов. За весь 1945 г. завод изготовил: угольников ученических – 300 шт., столовых ложек – 2600 шт., чайных ложек – 670 шт., ручек ученических – 1162 шт., мотыг – 714 шт., хотя, как отмечали в обкоме, он имел возможность организовать выпуск электротехнических изделий, радиоприемников и запчастей к ним [2, л.70]. Металлургический завод 178, г. Кулебаки работал рывками и в сентябре-октябре 1945 года плана не выполнил вследствие длительного простоя прокатного цеха из-за отсутствия электроэнергии и больших перебоев в снабжении дровами со стороны Кулебакского леспромхоза. [1, л.107]. Выксунский металлургический завод, наладивший выпуск кроватей, среди стандартных для всех предприятий проблем отмечал, что не имеет склада для хранения готовой продукции, отчего она находится под открытым небом и ржавеет. Кроме того, цех, в котором наладили выпуск кроватей, не может работать в осенние и зимние месяцы, так как не имеет отопления, а двери поломаны. [6, с.2]

В послевоенный период одной из наиболее острых социально-экономических проблем стало критическое сокращение трудовых ресурсов, прежде всего квалифицированных кадров, на что прямое воздействие оказала Великая Отечественная война. Анализ динамики промышленно-производственного персонала Горьковской области демонстрирует, что численность работников к завершению войны сократилась примерно на 53,9 %. [4, с.202]. Особенно заметно пострадала категория рабочих. Так, по данным на 1945 год, их количество составило лишь 53,5 % от довоенного показателя. [4, с.203]. Таким образом, кадровый дефицит выступил одним из ключевых барьеров на пути послевоенного восстановления промышленности. Его последствия ощущались на протяжении длительного периода, оказывая существенное влияние на темпы и качество экономического возрождения как на уровне отдельных регионов, так и в масштабах всей страны.

Естественно, что снятие военных заказов в сочетании с частыми производственными простоями не могло не оказать негативного влияния на уровень заработной платы рабочих. Как правило, эти факторы приводили к существенному снижению доходов трудящихся, что в свою очередь, сильно сказывалось на настроениях рабочих, их производственной дисциплине, на производительности труда и в итоге приводило к снижению трудовых показателей. Так, одновременно с большим притоком людей на Горьковский автомобильный завод в первые послевоенные месяцы, наблюдалось большое количество заявлений об увольнении: только за период с 1 сентября по 15 ноября 1945 года уволено с за-

вода 1464 чел., из них около 600 – инвалиды Великой Отечественной войны, около 400 отпущено на учебу. [1, л.103]. А вот металлургический завод № 178, г. Кулебаки, наоборот отчитывался о повышении средней месячной заработной платы работников, которая выросла за это же время с 515 руб. до 615 руб. за счет введения новых тарифных ставок согласно постановлению правительства. [1, л.107].

В процессе переориентации промышленного производства на выпуск мирной продукции выявилась серьезная технологическая проблема: значительная часть имеющегося оборудования оказалась непригодной для новых производственных задач. Для налаживания выпуска товаров ширпотреба требовалось провести полную замену либо масштабную перестановку существующего оборудования, разработать принципиально новые технологические процессы, соответствующие требованиям гражданского производства, реорганизовать производственные мощности с учетом изменившейся номенклатуры изделий, осуществить переподготовку персонала – как рабочих, так и инженерно-технических специалистов.

Очевидно, что реализация всех этих мероприятий требовала значительных временных, финансовых и организационных ресурсов. В результате неготовности предприятий к выпуску новой продукции существенно возрос процент брака.

В качестве наглядного примера имеющихся производственных сложностей послевоенного периода можно рассмотреть ситуацию на заводе № 397 в городе Горьком. На этом предприятии был налажен массовый выпуск эмалированной посуды и керосиновых ламп. Однако анализ качества продукции за четвертый квартал 1945 года и первый квартал 1946 года выявил существенные проблемы. Из общего объема выпущенной эмалированной посуды (94 000 штук) 32 % были отнесены к третьему сорту, оставшиеся 68 % признаны браком [2, л.70].

На горьковском заводе «Двигатель революции» наблюдались существенные отклонения фактических затрат от плановых показателей себестоимости продукции. Так, настольные тиски обходились заводу в 176 руб., тогда как плановая их себестоимость составляла 130 руб. 76 коп., а отпускная цена 90 руб. Сковороды чугунные стоили заводу 27 руб., при отпускной цене на них в 7 руб. Значительное влияние на себестоимость оказывали большие накладные расходы, высокая стоимость материалов и недостаточная механизация трудовых процессов [5, с.3].

Предприятия, занятые производством товаров ширпотреба, испытывали значительные трудности в организации эффективного сбыта своей продукции. Например, завод имени Сталина большую часть изготовленных бытовых товаров поставлял преимущественно в другие регионы Советского Союза, оставляя местный рынок неудовлетворенным. Заводу имени Свердлова пришлось столкнуться с проблемой отказа основного покупателя, «Электросбыта», согласовать приемлемые цены, вследствие чего значительная доля продукции оставалась невостребованной и накапливалась на собственных складах предприятия. Завод

имени Петровского вообще не заключал договоры с торговыми организациями, а попытка министерства торговли заставить Горьковский универмаг принять на реализацию мебельную фурнитуру закончилась неудачей из-за категорического отказа магазина заниматься реализацией предложенной продукции. [5, с.3].

Правительством ставились задачи увеличения объемов выпуска конкретных товаров (в первую очередь одежды, обуви, тканей, предметов домашнего обихода), снижения их себестоимости и активного вовлечения предприятий в производство ширпотреба. Горьковский партийный актив по итогам собрания, посвященного речи тов. Сталина 9 февраля 1946 года ставил перед промышленными предприятиями области задачу в 1946 г. увеличить производство товаров широкого потребления на 35-40 % по сравнению с 1945 г. [3, с.3]. Однако на практике динамика оказалась более сложной и зависела от отрасли и региона. Уровень производства товаров народного потребления 1945 г. был крайне низким из-за военных разрушений и приоритета оборонной промышленности, поэтому даже запланированный рост на 35-40 % не означал быстрого выхода на довоенные показатели. В 1946 г. фактический прирост по ряду категорий ширпотреба оказался ниже плановых ориентиров. По данным ЦСУ СССР, в 1946 г. объем производства предметов потребления составил лишь 67 % от уровня 1940 г., что свидетельствует о медленном восстановлении сектора. Реальное ускорение стало заметно только во второй половине пятилетки, когда к 1948 г. промышленное производство в целом достигло довоенного уровня, а выпуск товаров народного потребления начал расти активнее.

Преодолеть имеющиеся трудности промышленным предприятиям страны удалось лишь к концу пятилетки (1950 г.). Запланированный на 1946 г. рост на 35-40 % стал отправной точкой для долгосрочного восстановления сектора товаров народного потребления. Однако реальные результаты проявились лишь к концу пятилетки, когда производство предметов потребления превысило уровень 1940 г. на 7 % (для сравнения: производство средств производства выросло на 163 %). Наиболее заметно увеличивался выпуск тканей, обуви, посуды, мебели и бытовой утвари. Например, к 1950 г. выпуск хлопчатобумажных тканей почти вдвое превысил показатели 1945 г. Однако по многим позициям (например, по ассортименту сложной бытовой техники) восстановление шло медленнее из-за ограниченности ресурсов.

Библиографический список

1. ГУ ГОПАНО, Ф.3. Оп.1. Д. 4845.
2. ГУ ГОПАНО, Ф.3. Оп.1. Д. 5291.
3. О задачах горьковской партийной организации, вытекающих из речи тов. Сталина на собрании 9 февраля 1946 г. // Горьковская коммуна. 1946. 10 марта.
4. ***Серебрянская, Г. В.*** Волго-Вятский арсенал : промышленность накануне и в годы Великой Отечественной войны 1938-1945: Монография. Нижний Новгород: Изд-во НГТУ, 1997.
5. ***Тихомиров, В.*** Всемерно развивать производство товаров для населения // Горьковская коммуна. 1946. 31 июля.
6. Ускорить производство ширпотреба //Металлург. 1945. 6 октября.

РАЗВИТИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

А.В. Архипова, П.М. Щербакова
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрена возможность применения солнечной радиации как альтернативного источника энергии. Представлена классификация солнечных электростанций (СЭС), особенности их конструкций и применения. Изучена динамика развития солнечной энергетики и ее вклад в экономику страны. Дан анализ экономичности и эффективности использования солнечных электростанций.

Ключевые слова: солнечные электростанции, типы СЭС, развитие солнечной энергетики, фотоэлектрические элементы, панели, экологическая безопасность.

Для реализации Концепции устойчивого развития общества необходимо разрабатывать и внедрять новые технологии, более экономичные и лучше вписанные в биосферные циклы планеты, переходить на возобновляемые и альтернативные источники энергии. Целью данной статьи является анализ динамики, экономичности и экологической безопасности использования солнечной энергии.

Сегодня существует несколько различных способов преобразования солнечного излучения, которые зависят от конструкции солнечных электростанций (СЭС) (табл. 1).

Таблица 1

Типы солнечных электростанций

Типы СЭС	Особенности технологии	Возможности применения
Фото-электрические (PV)	состоят из отдельных фотоэлектрических модулей или фотобатерей различной мощности и выходных параметров	• устанавливаются практически везде: на кровлях/фасадах зданий и специально выделенных территориях; • энергообеспечение малых и крупных объектов: оборудования, отдельных зданий и небольшого поселка
Солнечно-тепловые (CPV): башенного и тарельчатого типа, с параболическими концентраторами и двигателем Стирлинга	использование зеркал или линз для фокусировки солнечного света с целью генерации тепла: 1) башенного типа: получение водяного пара в резервуаре, расположенном на вершине башни, по кругу от которой располагаются гелиостаты, меняющие свою ориентацию в пространстве в зависимости от положения солнца; КПД около 20% [1]; 2) тарельчатого типа: принцип работы как у башенных, но модуль состоит из опоры с приемником	• эффективны только в регионах с обильным прямым солнечным светом; • работают в составе объемных соединений с сетью электростанций мощностью 30-200 МВт; • обеспечение большого количества объектов; • индивидуальная электрификация (автономные); • системы отопления/ охлаждения зданий и технологиче-

	и отражателем, состоящим из зеркал в форме тарелок; 3) с параболическими концентраторами – длинными зеркалами с трубками, заполненными теплоносителем (маслом); 4) параболические с двигателем Стирлинга, в качестве рабочего тела используется водород и гелий; КПД 31,25%	ских процессов; • опреснение воды; • сушка материалов и сельхозпродукции
Гибридные	совмещение нескольких типов: параллельная установка концентраторов и фотобатарей; дополнительная установка теплообменных аппаратов	• горячее водоснабжение и отопление; • технические нужды
Аэростатные	аэростаты с фотоэлементами или паровыми турбинами; КПД 15-40 %	• в труднодоступных регионах (горах и т.п.); • энергообеспечение сельскохозяйственной техники

Анализ типов солнечных электростанций показал, что в крупных объектах сегодня самой развитой технологией являются параболические СЭС. При этом башенные и тарельчатые СЭС имеют более высокий КПД, поэтому при решении задачи позиционирования зеркал, они могут стать перспективными солнечными электростанциями. Современные автономные солнечные электростанции благодаря своей мобильности и малых размеров все большее применение находят в индивидуальной электрификации. Зависимость от погодных условий и времени суток, энергоснабжение в труднодоступных районах решают аэростатные солнечные электростанции. Таким образом, у различных типов СЭС есть свои преимущества и недостатки.

Рассмотрим динамику развития солнечной энергетики в нашей стране. В СССР были только экспериментальные СЭС, объем выработки которых был незначительным. Первая СЭС, построенная в 1985 г., за год вырабатывала 1,92 млн. кВт/ч, а ее мощность составляла всего 5МВт [2]. Отрасль стала динамично развиваться лишь в последнее десятилетие (рис. 1, 2).

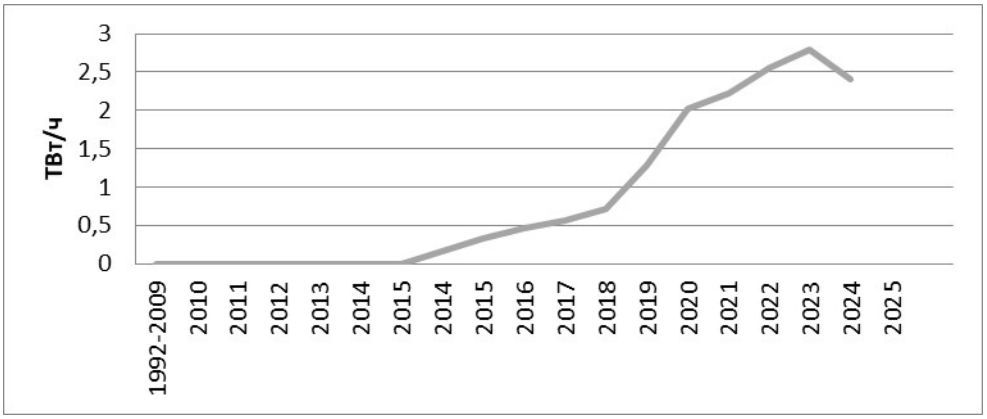


Рис. 1. Количество произведенной электроэнергии на СЭС в России

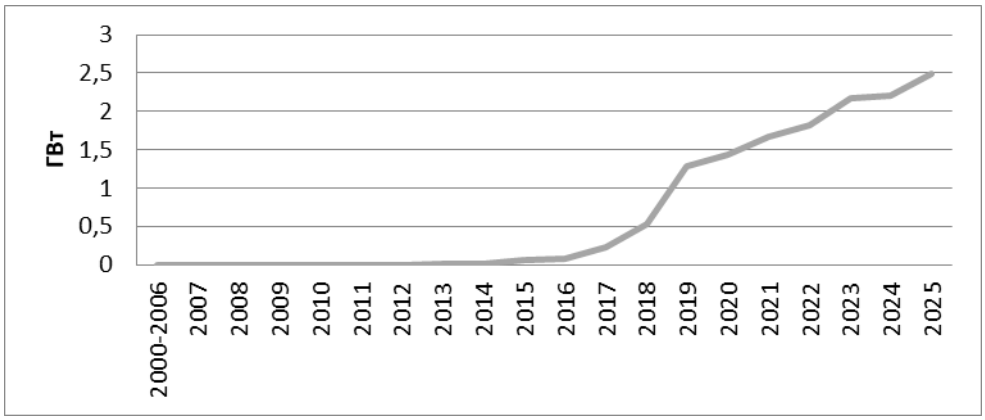


Рис. 2. Мощность российских СЭС по годам

С каждым годом в России увеличивается количество мощностей солнечных станций. Однако вклад СЭС по сравнению с остальными видами энергетики остается незначительным (рис. 3).

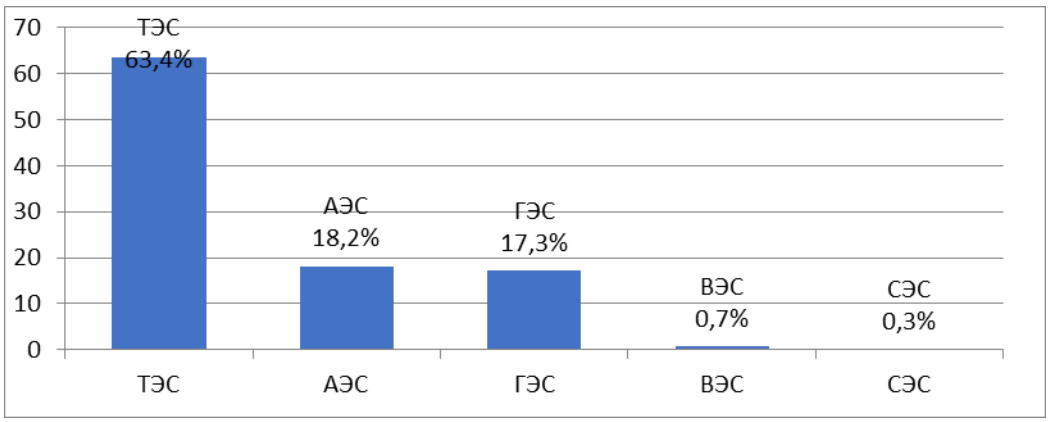


Рис. 3. Энергетическая структура России

По данным СО ЕЭС (системного оператора единой энергетической системы России) на 2025 г. в России насчитывается более 70 действующих СЭС общей мощностью около 2,2 ГВт.

Размещение солнечных электростанций в России обусловлено географическими и экономическими факторами: интенсивностью солнечной радиации, наличием регионов с континентальным климатом и ровными открытыми площадями, близостью к потребителю и энергетической инфраструктуре. С этой точки зрения для строительства СЭС благоприятны следующие регионы страны: Южная Сибирь, Дальний Восток, Крым, Калмыкия, Башкирия, Красноярский край, Иркутская область, Забайкальский край, Республика Бурятия и Республика Дагестан.

Несмотря на преимущества использования солнечной энергии, которая является абсолютно бесплатным неисчерпаемым источником, существующие технологии в силу ряда недостатков (табл. 2) пока не могут составить полноценную конкуренцию таким традиционным методам получения энергии, как гидроэнергетике, тепловой и атомной энергетике.

Таблица 2

Недостатки солнечных станций

Недостатки	Пути решения
Высокая стоимость оборудования, связанная с применением редких элементов (индия, теллура и т.п.)	• введение региональных субсидий, покрывающих часть стоимости оборудования; • введение зеленых тарифов на продажу избыточной электроэнергии в сеть
Зависимость КПД станций от климатических и погодных факторов: интенсивности и угла наклона излучений; температурного диапазона; количества осадков; влажности; снеговой нагрузки; силы ветра	• строительство СЭС с учетом климата и ландшафта местности; • установка двусторонних панелей • позиционирование зеркал
Полный цикл от производства (использование токсичных веществ в панелях) до утилизации экологически грязен	• требование строгих мер безопасности при производстве комплектующих; • поиск более чистых аналогов материалов для производства; • разработка технологий утилизации отработанных конструкций
Необходимость дублирования СЭС другими станциями сопоставимой мощности	• планирование размещения; • координация с сетями; • грамотное регулирование и использование накопителей энергии [3]
Проблема транспортировки солнечных панелей	• изменение логистики; • применение комплексности в производстве
Низкий срок службы аккумуляторов	• продление срока службы панелей, путем установки систем пассивного охлаждения
Отчуждение большой площади земли под строительство	• строительство небольших распределенных систем; • дальнейшее усовершенствование и внедрение аэростатных СЭС
Изменение микроклимата прилегающей местности; изменение альбедо земной поверхности	• установка систем пассивного охлаждения
Обслуживание и ремонт требуют постоянных больших расходов	• разработка и внедрение новых материалов

Таким образом, с точки зрения экономики, СЭС требуют большое количество ресурсов на строительство, обслуживание и эксплуатацию, что делает их малоэффективными в вопросе масштабного обеспечения энергией. Солнечную генерацию можно рассматривать в перспективе из-за главного преимущества, которым является использование ими возобновляемого и бесплатного источника энергии. В целом, с развитием и внедрением новых технологий, материалов, снижением стоимости элементов, солнечные станции будут все более активно интегрироваться в энергетическую систему России.

Если удастся решить все проблемы с солнечной генерацией энергии, то можно получить неисчерпаемый источник энергии, решить проблему энергоснабжения труднодоступных районов, сократить потребление топливных ре-

сурсов в больших мегаполисах, защитить окружающую среду от загрязнения выбросами.

Библиографический список

1. **Королева, Д.А.** Солнечная энергетика/ Д.А. Королева, В.В. Шайдаков, В.А. Целищев//Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 140 с.
2. Геопространственная аналитика: офиц. сайт. – URL: https://geonovosti.terratech.ru
3. **Белицын, И.В.** Надежность систем электроснабжения промышленных предприятий/ И.В. Белицын, В.И. Сташко//Барнаул, 2021. – 89 с.

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ (БПЛА): АКТУАЛЬНОСТЬ, ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ В РОССИИ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

С.Н. Гришин
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Статья посвящена анализу современного состояния и перспектив развития беспилотных авиационных систем (БАС, или дронов) в России. Рассматриваются ключевые сферы применения БПЛА – от картографии и сельского хозяйства до спасательных операций и промышленного мониторинга. Особое внимание уделено «Стратегии развития беспилотной авиации РФ до 2030 и 2035 годов», определяющей приоритеты отрасли. В заключение приводится статистика по мировым и российским направлениям использования дронов, а также данные о структуре отечественного производства и целях национального проекта в этой сфере.

Ключевые слова: *беспилотные летательные аппараты (БПЛА), беспилотные авиационные системы (БАС), дроны, «Стратегия развития беспилотной авиации РФ до 2030 и 2035 годов», мультироторные аппараты, нишевые решения, сервисная экосистема, управление бедствиями, дистанционное зондирование, поисково-спасательные операции, инспекция инфраструктуры, точное земледелие, мониторинг дорожного движения, восстановление леса, мониторинг линий электропередач, исследование космоса.*

В последнее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) или дроны надежно обосновались в повседневной жизни и стали важной частью современного общества. Сейчас существует огромное разнообразие дронов, которые используются в самых разных областях, от экономики и бизнеса до развлечений, военного дела и науки. Индустрия беспилотников развивается стремительными темпами, что во многом объясняется комбинацией современных технологий. Этот рост обусловлен современными технологическими тенденциями, а также быстрым развитием систем управления, уменьшением размеров компонентов и прогрессом компьютерных решений. В итоге появляются аппараты, обладающие высокой безопасностью, легкостью, надежностью, доступностью и экономической эффективностью.

Одним из фундаментальных документов, определяющих развитие беспилотных авиационных систем (БАС) в России, является «Стратегия развития беспилотной авиации в Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года», (далее – Стратегия), утвержденная Правительством РФ 21 июня 2023 года.

Этот документ относится к отраслевым стратегиям планирования и определяет направления развития и образ будущего отрасли на указанные периоды. В числе ее приоритетов, содействие развитию высокотехнологичных отраслей в экономике, развитие БАС как продукта, обеспечение технологического суверенитета страны, создание инфраструктуры для безопасного применения беспилотной авиации и подготовки кадров для отрасли.

Согласно Стратегии, БАС представляет собой систему взаимосвязанных элементов, включающий в себя один или несколько беспилотных воздушных

судов, а также средства и оборудование, обеспечивающие взлет и посадку, управление полетом и контроль за ним. Особенностью беспилотной авиации является отсутствие пилота на борту. Это требует новых принципов и технологий взаимодействия с другими участниками воздушного движения, а также современных систем предотвращения столкновений. Критически важным для беспилотных систем является организация защищенной цифровой радиолинии связи, контроля и управления, устойчивой к любому вмешательству. Отсутствие пилота на борту воздушного судна приводит к следующему: во-первых, отпадает необходимость в системах жизнеобеспечения и спасения человека; во-вторых, увеличивается потребность в высокоточных навигационных системах, способных к автономному позиционированию, в мощных бортовых вычислителях (в том числе с поддержкой нейросетевых алгоритмов), высокоточных оптико-электронных системах и сенсорах, а также в системах автоматического управления и предотвращения столкновений [1].

Тренды и перспективные направления развития рынка беспилотников в РФ

1. Локализация производства и развитие российских технологий

В условиях внешнего давления отечественные разработчики делают ставку на создание собственных технологических платформ, российских электронных компонентов и программного обеспечения. Активная поддержка государства, в том числе за счет целевых грантов от того же Минпромторга, способствует быстрой локализации производственных мощностей в стране и снижению зависимости от иностранных поставок.

2. Рост спроса на комплексные решения и технологии ИИ

Имеются в виду не просто аппараты или наборы для их сборки, а готовые решения, от этапа сбора данных до их интеграции в корпоративные системы заказчика. Одним из ключевых направлений становится внедрение технологий искусственного интеллекта для автоматизации обработки полученных данных, распознавания изображений, речи и т. п.

3. Совершенствование нормативной базы

Продолжается активная работа по модернизации законодательства в области беспилотной авиации. Регистрация становится проще, вводятся современные нормы безопасности, развивается инфраструктура для управления беспилотным движением и т. д. Все это усиливает предсказуемость и устойчивость условий для бизнеса и для инноваций.

4. Развитие нишевых и отраслевых решений

Растет интерес к нишевым, узкоспециализированным беспилотникам, которые решают конкретные задачи различных отраслей: сельское хозяйство, энергетика, безопасность, экология. Растет интерес к дронам с улучшенными ТТХ, более высокой грузоподъемностью, большей дальностью полета, устойчивостью к сложным погодным условиям и т. п.

5. Развитие экосистемы сервиса

Открываются сервисные центры, запускаются профильные курсы и образовательные программы, строятся зарядные станции и пункты технического

обслуживания и т. д. Все это в значительной мере облегчает внедрение беспилотных технологий и расширяет аудиторию их пользователей [3].

С помощью беспилотников можно выполнить довольно много задач. Рассмотрим наиболее важные области применения БПЛА.

Управление чрезвычайными ситуациями

Дроны могут проникать в зону бедствия, туда, куда человеку идти небезопасно или невозможно, например, вследствие терактов, цунами, наводнений, и т.п. Особенно уязвима к таким катастрофам инфраструктура энергетики, связи, водоснабжения и транспорта. Беспилотники, оснащенные датчиками, радарами и камерами высокого разрешения, помогают собирать информацию, ориентироваться в завалах, оценивать масштабы разрушений и предупреждать о новых опасностях. Группы дронов с противопожарным оборудованием могут наблюдать за лесными пожарами, анализировать их развитие и следить за обстановкой в реальном времени, не рискуя жизнью людей. Это ускоряется поиски и спасение людей и животных, оказавшихся в беде.

Дистанционное зондирование

Дроны все чаще используются для получения детализированных снимков труднодоступных территорий, горных вершин, побережий, островов. Они становятся связующим звеном между традиционными методами дистанционного зондирования с воздуха, с земли и из космоса. Благодаря легкости и экономичности дроны позволяют проводить наблюдения с высоким пространственным и временным разрешением. Их применяют для диагностики болезней растений, для контроля качества воды, для мониторинга голода, для оценки добычи полезных ископаемых, для охраны природы, для геологических исследований, для топографической съемки, для картографирования лесов, для гидрологического моделирования и управления сельским хозяйством. В археологии и картографии дроны помогают создавать 3D-модели местности и краудсорсинговые карты, предоставляя актуальные данные для планирования землепользования.

Поисково-спасательные операции

Беспилотники играют ключевую роль в управлении рисками, в спасательных операциях и в обеспечении общественной безопасности. Они экономят время и ресурсы, транслируя кадры с места происшествия в прямом эфире. Дроны помогают в поисках тех, кто заблудился в горах, в лесах или в пустынях, в отслеживании пострадавших в сложных условиях, в доставке продуктов, лекарств и спасательного снаряжения до того, как на место прибудут основные силы. Это особенно важно при снеговых лавинах, при пожарах, при утечках опасных веществ и других бедствиях.

Инспекция инфраструктуры и строительства

Дроны активно применяются для проверки вышек связи, газопроводов, линий электропередач и контроля строительных объектов на всех этапах. Это позволяет следить за качеством работ и предоставлять заинтересованным сторонам подробные отчеты с фото, видео и 3D-картами. Такой подход значительно повышает эффективность инспекций.

Точное земледелие

В сельском хозяйстве дроны используются для сбора данных с наземных датчиков (влажность, состав почвы), распыления пестицидов, диагностики болезней растений, планирования полива, выявления сорняков и мониторинга посевов. Это экономит время и средства. В сочетании с дистанционным зондированием дроны способны анализировать состояние растений, определять болезни и сорняки, оценивать урожайность и силу роста культур.

Мониторинг дорожного движения

Дроны могут полностью автоматизировать транспортную отрасль: спасательные службы, дорожные инспекторы и полиция получают оперативную информацию о происшествиях и могут контролировать большие участки дорог. По сравнению с традиционными системами дроны дешевле и эффективнее для мониторинга пробок, выявления нарушителей, поиска угнанных автомобилей и предотвращения аварий. Они также помогают следить за состоянием дорожного покрытия, обнаруживать трещины и предупреждать о возможных ДТП.

БПЛА для восстановления леса

Дроны используются для контролируемого восстановления лесных массивов: от инспекции участка и планирования работ до доставки саженцев и мониторинга биоразнообразия после восстановления. С помощью GPS и камер они оценивают изменения температуры, состояния леса и различных экологических параметров. Дроны обеспечивают быстрый и точный сбор данных о естественных лесах, что существенно отличает их от традиционных методов.

БПЛА для мониторинга воздушных линий электропередач

Традиционные способы обнаружения неисправностей при проверке ЛЭП: вертолеты и пешие обходы дороги и опасны. Дроны с цифровыми камерами быстро обнаруживают дефекты: сломанные болты, ржавчину, коррозию, следы молний. Для быстрой инспекции годятся дроны с фиксированным крылом. Они летают на большой высоте и большими скоростями. Для детальной – мультироторные. Они способны зависать и получать фотографии объектов на более близком расстоянии. Однако сложно осуществлять их пилотирование в труднодоступных областях.

БПЛА для исследования космоса

Дроны в последние годы начали применять для исследований других планет. Они, в отличие от роверов и орбитальных аппаратов, дают большую зону покрытия и могут зависать, взлетать вертикально и летать на малых скоростях. Особенно актуальны и перспективны исследования с помощью беспилотников для Марса. Планета имеет маленькую гравитацию и низкую плотность атмосферы. Но для этого нужны новые двигатели, аэродинамические решения и оптимальные траектории полета [2].

Если рассматривать сферы применения в количественном выражении, то на глобальном рынке наибольший спрос на беспилотные авиационные системы отмечается в области картографии и геодезии – этими услугами занимаются 34% компаний. На втором месте по востребованности находится инспектирование территорий (31%). Аэрофотосъемка и видеосъемка занимают 22% и 25%

соответственно. В сельском хозяйстве дроны применяются в 5-9% случаев. Для поиска людей, а также мониторинга и локализации ЧС беспилотники используют 2% организаций. Доставка грузов с помощью БПЛА составляет от 1% до 4%. На прочие направления приходится от 1% до 6% рынка [3].

В России структура спроса имеет свои особенности. Наиболее востребованными услугами с применением беспилотников являются работы для топливно-энергетического комплекса (20%), поисково-спасательные операции (16%), мониторинг промышленной и транспортной инфраструктуры (16%), лесопользование (14%), кадастровые работы (13%), логистика (7%) и организация развлекательных шоу (4%) [3].

Около 70% российских производителей беспилотных авиационных систем специализируются на разработке и эксплуатации мультироторных аппаратов. В период с 2023 по 2026 годы планируется выпустить порядка 39 тысяч таких дронов (без учета образовательных моделей), что составит 75% от общего объема производства беспилотных воздушных судов в натуральном выражении [4].

Согласно информации с сайта правительства, главная цель национального проекта по развитию БАС – достижение технологической независимости и создание новых рынков для беспилотных систем. Для реализации этой задачи предусмотрено формирование системы сертификации беспилотной авиации, запуск серийного производства, развитие необходимой инфраструктуры, проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), а также привлечение в отрасль высококвалифицированных специалистов.

Библиографический список

1. «Стратегия развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года». Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 июня 2023 г. № 1630-р https://base.garant.ru/407103744/
2. Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends /Syed Agha HassnainMohsan// 2023. [Электронный ресурс]. – URL:https://www.researchgate.net/publication/366548023_Unmanned_aerial_vehicles_UAVs_practical_aspects_applications_open_challenges_security_issues_and_future_trends
3. https://www.dp.ru/a/2025/07/10/jevoljucija-dronov-budushhee-rossijskih
4.https://bazanpa.ru/pravitelstvo-rf-rasporiazhenie-n1630-r-ot21062023-h6031103/strategiia/2/3/

СИСТЕМА СТРАТЕГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛИНГА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ

И.Б. Гусева
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматриваются актуальные вопросы, связанные с внедрением различных подходов при прогнозировании. Доказано, что процесс прогнозирования реализуется внутри процесса стратегического управления предприятием. Рассмотрена возможность составления прогноза промышленного предприятия с участием систем стратегического менеджмента и контроллинга.

Ключевые слова: процесс прогнозирования, принципы разработки прогнозов, стратегическое управление, стратегический менеджмент, стратегический контроллинг

В современной российской промышленности управленческая практика доминирующе реализуется на основе функционального подхода. Ключевой принцип данной модели заключается в построении организационной структуры на основе специализации и закрепления за определенными сотрудниками регламентированных и стандартизированных функций. В итоге, возникает проблема организационной разобщенности, персонал, фокусируясь на выполнении узкоспециализированных задач, утрачивает понимание стратегических целей предприятия. Как следствие, данный эффект обусловлен отсутствием у сотрудников видимости конечного продукта, а также результата своей деятельности, что приводит к концентрации внимания исключительно на локальном наборе регламентированных операций. В рамках данного подхода совокупный результат деятельности предприятия формируется на основе суммарного итога реализации обособленных функций и задач, выполняемых разными производственными структурными подразделениями. Другими словами, с методологической точки зрения, итоговый эффект можно представить как арифметическую сумму результатов операционной деятельности всех функциональных единиц.

Однако, с целью повышения результативности деятельности необходимо ориентировать персонал не только на отлаженное выполнение своих функций, но и на продуктивное взаимодействие с другими подразделениями, способствующее достижению успеха всего предприятия. В подобном случае результат деятельности предприятия в целом будет включать в себя, кроме совокупности выполняемых функций, еще и эффект от межфункциональных взаимодействий между сотрудниками, подразделениями. Другими словами, результативность деятельности предприятия будет подчиняться закону синергии, суммирующий эффект в целом будет превосходить простую сумму результатов отдельных функциональных подразделений. С целью получения синергетического эффекта от деятельности предприятия целесообразно использовать процессный подход к управлению.

Процессный подход обеспечивает инструментарий для эффективного управления сквозными процессами субъекта хозяйствования путем интеграции и систематизации операций разрозненных функциональных подразделений, координируя их на достижение целевого результата. Согласно данной концепции, предприятие рассматривается как иерархическая сеть взаимосвязанных бизнес-процессов, движимая стратегическими целями и миссией, где процессы верхнего уровня декомпозируются на составляющие их подпроцессы. Кроме того, можно утверждать, что процессный подход включает в себя также дефиниции и принципы другого распространенного в теории и практике подхода к управлению, системного подхода, согласно которому предприятие – это совокупность элементов, связанных между собой, с внешней средой и ориентированных на достижение разных результатов в зависимости от изменений в окружении.

В рамках процессного подхода прогнозирование – это процесс, являющийся составным элементом (подпроцессом) процесса стратегического управления, направленный на поиск и оценку альтернатив развития предприятия и его окружения в будущем с целью разработки наиболее эффективной стратегии развития предприятия на перспективу. Таким образом, процесс прогнозирования одновременно ориентирован на цели стратегического менеджмента и всего предприятия в целом, а также является по отношению к процессу стратегического управления процессом более низкого уровня (рис. 1).

Построение процесса прогнозирования на предприятии на основе процессного подхода гарантирует соблюдение принципов разработки прогнозов:

– принцип системности – прогнозирование направлено на комплексное изучение взаимосвязанной системы объектов составляемых прогнозов;

– принцип целенаправленности – обеспечение взаимозависимости между целями прогнозирования и стратегическими целями предприятия через механизмы их декомпозиции и согласования;

– принцип адаптивности – поддержание способности системы прогнозирования к оперативному пересмотру и дальнейшей корректировке прогнозных моделей на основе координации и взаимодействия сотрудников различных функциональных областей.

Итак, процесс прогнозирования реализуется внутри процесса стратегического управления предприятием, владельцем которого является директор по стратегическому развитию. Одной из его задач является делегирование полномочий менеджерам стратегического управления, каждый из которых несет ответственность за закрепленный процесс, то есть является его владельцем.

Кроме того, менеджмент должен тесно взаимодействовать между собой, владеть знаниями и иметь навыки по реализации других составных процессов стратегического управления на предприятии. Таким образом, данные владельцы не ограничивают свою деятельность управлением одного подпроцесса, они принимают активное участие в реализации и других составных процессов стратегического управления.

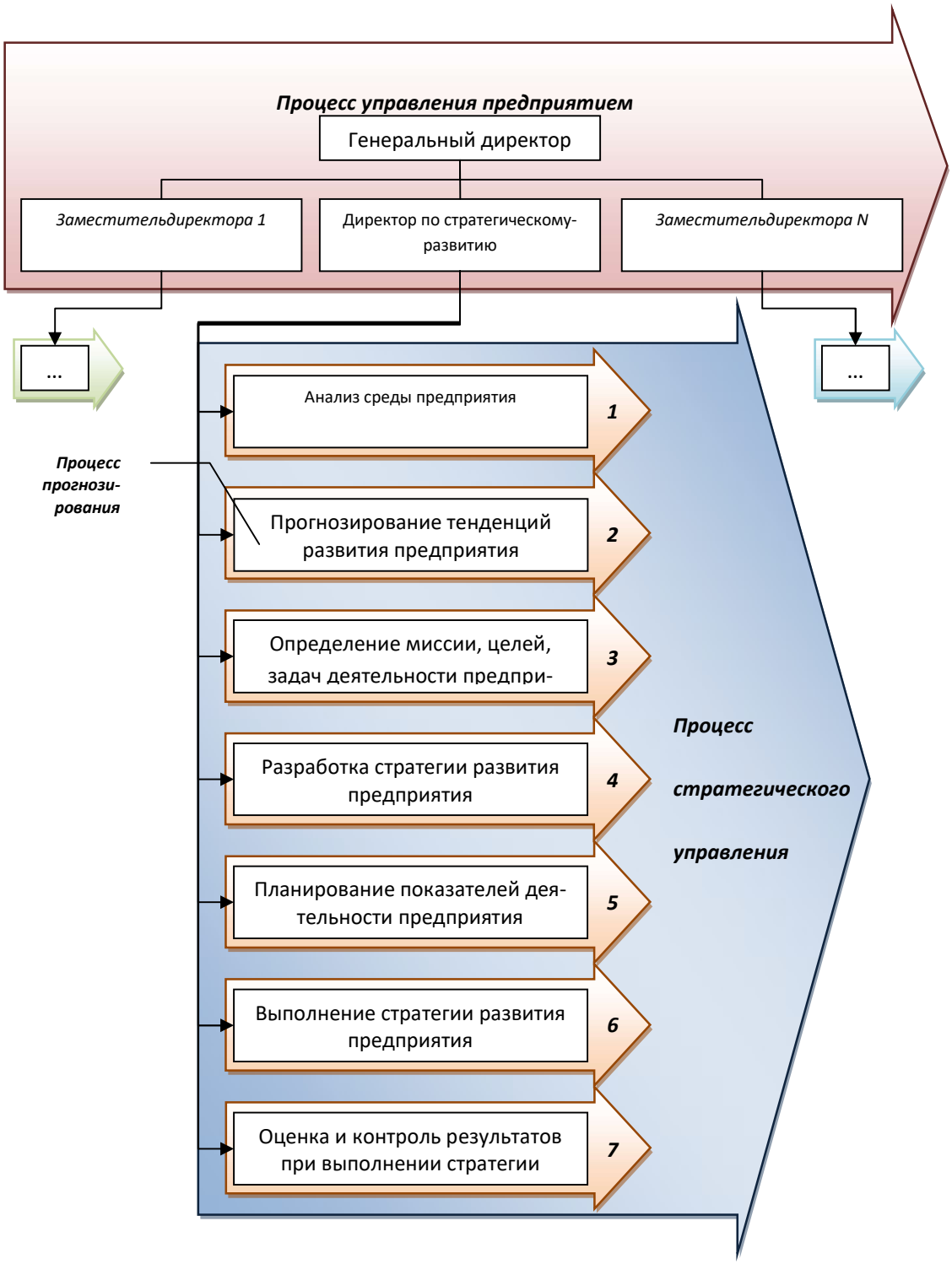


Рис. 1. Процесс прогнозирования в сети бизнес-процессов на промышленном предприятии

Функциональным исполнителем процесса стратегического управления и связанных с ним подпроцессами выступает служба стратегического контроллинга. Данное подразделение обеспечивает выполнение задач, делегированных высшим менеджментом через предоставление полного цикла поддержки: аналитической, методической, информационной.

Процесс прогнозирования, будучи стандартным бизнес-процессом в традиционной архитектуре предприятия, описывается совокупностью входов, выходов, ресурсного обеспечения и технологии реализации (рис. 2).

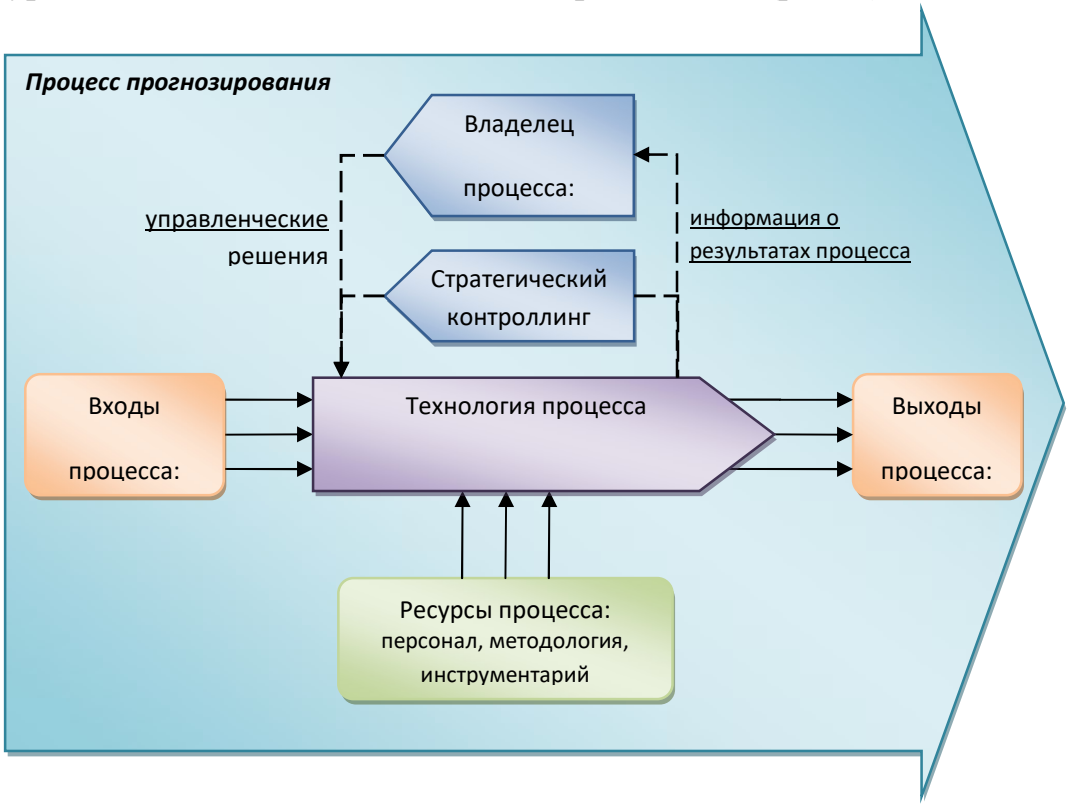


Рис. 2. Схема процесса прогнозирования в рамках процессного подхода к управлению

Входом процесса прогнозирования можно считать информацию, которая содержит в себе позитивные и негативные сигналы, побуждающие к разработке прогноза на перспективу с целью оценки степени влияния данных сигналов в будущем, в результате преобразующуюся в прогноз. Особенностью информации в процессе прогнозирования можно считать то, что она, являясь в основном входом процесса, частично собирается уже на этапе реализации процесса.

К ресурсам процесса прогнозирования промышленного предприятия можно отнести:

– персонал (сотрудники служб стратегического менеджмента и контроллинга, выполняющие операции по разработке прогноза);

– методическое обеспечение (совокупность приемов и способов разработки прогноза, которыми владеет персонал);

– инструментарий (система программного обеспечения и других инструментов, позволяющих персоналу реализовывать на практике методы разработки прогноза) и т.д.

Выходами процесса прогнозирования выступают: базовый сценарий развития предприятия на целевую перспективу, комплекс альтернативных прогнозных сценариев, а также реестр идентифицированных нерешаемых ошибок и неконтролируемых факторов отклонений.

Процедура бизнес-процессов прогнозирования, начиная классически с целеполагания, сбора и анализа информации, заключается в построении прогнозной модели, разработке прогноза, контроле и оценке результата.

Библиографический список

1. **Анискин, Ю.П.** Планирование и контроллинг: учебник по специальности «Менеджмент организации», 2-е изд. / Ю.П. Анискин, А.М. Павлова. М.: Омега-Л, 2005. – 280 с.
2. **Блажевич, А.А.** Стратегический менеджмент: учеб. пособие. Уфа: Изд. УГНТУ, 2005. – 102 с.
3. **Бородушко, И.В.** Стратегическое планирование и контроллинг / И.В. Бородушко, Э.К. Васильева. СПб: Питер, 2006. – 192 с.
4. **Гусева, И.Б.** Модель стратегического контроллинга / И. Гусева // Проблемы теории и практики управления. – 2008. – № 3. – С. 100-108.
5. **Гусева, И.Б.** Повышение качества управления результатами предприятия с участием систем менеджмента и контроллинга / И. Б. Гусева, Т. В. Фалалеева // Качество. Инновации. Образование. – 2012. – № 4(83). – С. 55-61.
6. **Гусева, И.Б.** Сущность и необходимость системного анализа при внедрении контроллинга на предприятии / И. Б. Гусева // Контроллинг. – 2003. – № 5. – С. 18-26.
7. **Карминский, А.М.** Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А.М. Карминский [и др.] // М.: Финансы и статистика, 2002. – 256 с.
8. Контроллинг как инструмент управления предприятием / Е.А. Ананькина, С.В. Данилочкин, Н.Г. и др. Под ред. Н.Г. Данилочкиной // М.: ЮНИТИ, 2002. – 279 с.
9. **Корнилов, Д.А.** Стратегическое планирование и экономическое прогнозирование : монография / Д. А. Корнилов. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2006. – 217 с.
10. **Моисеева, Е.Г.** Разработка финансовой стратегии предприятия / Е.Г. Моисеева, О.А. Рябова // Управление большими системами : Материалы XI всероссийской школы-конференции молодых ученых, Арзамас, 09–12 сентября 2014 года. – Арзамас: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 657-671.

СТРАТЕГИЯ «ДИВЕРСИФИКАЦИЯ 2.0»: СИСТЕМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ ОБОРОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ К ГРАЖДАНСКИМ РЫНКАМ

Д.Б. Давыдов[1], Д.Ю. Файков[2], Д.Ю. Байдаров[3]

[1]АО «Росатом Автоматизированные системы управления», главный специалист; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», аспирант, [2]Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, ведущий специалист Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», профессор кафедры экономики и менеджмента в промышленности, [3] Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом", директор Департамента поддержки новых бизнесов Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", доцент кафедры экономики и менеджмента в промышленности

В статье рассмотрено укрепление технологического суверенитета через модель «Диверсификация 2.0», обеспечивающую адаптацию ОПК к гражданским рынкам. Обосновано использование компаний-интеграторов и институтов трансфера технологий для создания высокотехнологичных консорциумов. Рассмотрена возможность интеграции оборонного и гражданского секторов в рамках модели коллективного технологического суверенитета

Ключевые слова: технологический суверенитет, ОПК, диверсификация, трансфер технологий, компания-интегратор, коллективный технологический суверенитет

Введение

В условиях глобальной деформации мирохозяйственного порядка вопрос обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации перешел из категории научно-теоретических дискуссий в разряд практических управленческих задач. Понятие технологического суверенитета в его современном прочтении трактуется как возможность и способность государства, независимо от внешних воздействий, выбирать, создавать, приобретать и продвигать технологии, обеспечивающие национальное лидерство и устойчивые преимущества в долгосрочной перспективе [1, с.70-72]. Суверенитет не означает автаркию; он требует создания гибких механизмов адаптации высокотехнологичных секторов экономики к меняющимся условиям.

Особая роль в этом процессе отводится оборонно-промышленному комплексу (ОПК), который традиционно является носителем наиболее передовых научно-технических решений. Президентом Российской Федерации поставлена задача объединения усилий ОПК и гражданского сектора экономики, что даст возможность обеспечить технологичность на всех этапах: от разработки и производства, скорость изменений и экономическую эффективность отечественной продукции [2]. Первым шагом в выполнении этой задачи является диверсификация организаций ОПК, позволяющая уходить от деления компаний на чисто оборонно-промышленные и на предприятия, работающие исключительно в гражданском сегменте. Такая диверсификация требует перехода от эпизодиче-

ского выпуска гражданской продукции, к ее новой стратегии (которую можно назвать «Диверсификация 2.0»), которая базируется на системном трансфере технологий, создании интегрированных структур и формировании цепочек создания стоимости, охватывающих весь жизненный цикл – от фундаментальной науки до сервисного сопровождения конечного продукта. Цель статьи – выявить и предложить системные механизмы, позволяющие перейти к новой форме взаимодействия оборонного и гражданского секторов экономики.

Механизм компании-интегратора: опыт государственной корпорации «Росатом»

Практическим воплощением стратегии «Диверсификация 2.0» является модель, апробированная в госкорпорации «Росатом». Ключевым элементом здесь выступает компания-интегратор – специализированная организация, объединяющая компетенции различных предприятий корпорации, включая оборонные, в консорциумы для вывода на рынок сложных гражданских продуктов. Интегратор берет на себя функции управления товарным портфелем, маркетинга и взаимодействия с внешними заказчиками [3]. Модель интегратора позволяет работать одновременно на два типа рынков: внутренний рынок госкорпорации (например, заказы для строительства АЭС), который создает комфортные условия для тестирования технологий, и внешний конкурентный рынок. Благодаря такой системе работ технологические возможности оборонных организаций госкорпорации преобразуются в востребованную гражданскую продукцию, обеспечивая при этом выполнение ими всех работ по гособоронзаказу, формирование максимально полных технологических цепочек, включение в систему взаимодействия с производителями гражданской продукции.

Механизм работы с интеллектуальной собственностью

Анализ показывает, что эффективность адаптации ОПК к деятельности на рынках гражданской продукции зависит, в том числе, от патентной активности. На текущий момент Россия существенно отстает в этом вопросе от лидеров: Китая (более чем в 70 раз) и США (в 20 раз) [4]. Позитивным можно считать положительную динамику регистрации результатов интеллектуальной деятельности (РИД) государственными корпорациями, которые объединяют большую часть организаций ОПК [5, с.75]. Сложным остается вопрос передачи интеллектуальной собственности между оборонным и гражданским секторами. Несмотря на то, что работы в этом направлении ведутся, реальной эффективной общегосударственной системы такого трансфера технологий пока нет. Думается, что в рамках стратегии «Диверсификация 2.0» необходима система управления технологическим трансфером, обеспечивающая координацию усилий на трех уровнях. Государственном, который формирует нормативно-правовую базу, определяет перечня критических, перспективных, сквозных технологий и мер поддержки национальных разработчиков. Отраслевом (госкорпорации, холдинги), является местом концентрации основных технологических ресурсов и формирования механизмов трансфера. На этом уровне возможно создание структур, которые можно назвать Институт трансфера технологий (ИТТ), выполняющий функции «единого окна», через которое проходит вся информация о

разработках и потребностях рынка, обеспечивается механизм технологического трансфера государственных корпораций и входящих в них оборонных организаций [6]. ИТТ обеспечивает сетевое взаимодействие между организациями, минимизирует внутреннюю конкуренцию. На уровне отдельных организаций, где происходит разработка идей и их техническая реализация. Единая структура позволит обеспечить быструю циркуляцию информации и мотивировать разработчиков, снимая с них бюрократическую нагрузку по маркетингу, поиску финансирования и подготовке документации для гражданского рынка.

Механизмы финансовой поддержки диверсификации в ОПК

Адаптация ОПК невозможна без комбинированной системы финансирования. Зарубежный опыт, нарабатываемый отечественный опыт, в том числе, в рамках государственных корпораций, позволяет предложить систему финансовой поддержки проектов диверсификации в рамках ОПК. На федеральном уровне такая система может быть представлена целевым фондом диверсификации ОПК для финансирования проектов выпуска гражданской продукции и технологического трансфера. На отраслевом уровне – фонды внутри госкорпораций (которые в разном виде, под разными наименованиями, по сути, уже существуют), на уровне предприятий – «фонды директора» для поддержки перспективных инициативных разработок [6]. Важным инструментом поддержки может быть «государственный гражданский заказ», позволяющий планировать загрузку мощностей ОПК высокотехнологичной продукцией на долгосрочный период. Такой заказ подразумевает участие оборонных организаций в приоритетных для государства проектах и сферах деятельности, в том числе, реализуемых государственными корпорациями. Он формируется внутри госкорпораций, объединяет возможности организаций корпорации, включая оборонные, и локализует внутри корпорации технологические цепочки. Например, в «Росатоме» такой заказ (традиционно называемый «атомный заказ») на ближайшие 10 лет оценивается в 15 трлн рублей [7], и включает построение целых отраслей (технологических цепочек).

Перспективные горизонты: коллективный технологический суверенитет

Концепция технологического суверенитета, к которой все чаще склоняются государства в современном нестабильном мире, приводит к необходимости выстраивания межгосударственных взаимоотношений на новых принципах. Наиболее приемлемыми и понятными являются принципы сотрудничества и равноправия. Именно они могут стать базой для формирования нового понятия – коллективного технологического суверенитета дружественных государств. Оной из основ такой модели взаимоотношений может быть совместное владение правами на интеллектуальную собственность [8]. Такой подход позволяет:

- снизить зависимость от глобальных транснациональных корпораций (ТНК) и политизированного влияния государств их происхождения;
- расширить для участвующих государств рынки и внедрить единые технологические стандарты;
- обеспечить доступ к современным решениям для менее развитых в технологическом плане партнеров на принципах доверия.

Модель коллективного технологического суверенитета расширяет возможности и для оборонной промышленности договаривающихся стран: увеличивается рынок и военной, и гражданской продукции; появляется возможность использовать определенные технологии дружественных стран с минимальными рисками оппортунистического поведения; усиливается военная мощь блока и пр.

Заключение

Реализация стратегии «Диверсификация 2.0» – сложный эволюционный процесс, требующий глубокой интеграции оборонного и гражданского секторов экономики, науки, системы управления. Предложены системные механизмы, позволяющие перейти к новой форме взаимодействия оборонного и гражданского секторов экономики, адаптации оборонных предприятий к работе на гражданских рынках. Среди них можно выделить использование компаний-интеграторов, формирование системы трансфера технологий, системы финансирования процессов диверсификации. Рассмотрены возможности перспективной модели коллективного технологического суверенитета для развития взаимодействия оборонного и гражданского секторов экономики

Библиографический список

1. **Байдаров Д.Ю., Файков Д.Ю.** Диверсификация в атомной отрасли России: на пути к технологическому суверенитету. Методологические и практические аспекты /Д.Ю. Байдаров, Д.Ю. Файков. Монография. М.: Издательство «Перо», 2024. – 304 с.

2. Выступление Президента Российской Федерации В.В.Путина на Петербургском международном экономическом форуме. 2025. http://www.kremlin.ru/events/president/news/77222 (дата обращения 01.03.2026)

3. **Файков, Д. Ю.** Модель диверсификации деятельности компании холдингового типа (на примере государственной корпорации «Росатом») / Д.Ю. Файков, Д.Ю. Байдаров // Экономика в промышленности. 2021. Т. 14. № 1. С. 108–119.

4. WIPO IP Statistics Data Center https://www.wipo.int/ipstats/ru/index.html (дата обращения 0.03.2026)

5. **Байдаров, Д.Ю.** Диверсификация в оборонно-промышленном комплексе России: теория и практика. Монография. М.: НИЯУ МИФИ, 2025. – 148 с.

6. **Байдаров, Д. Ю.** Модель трансфера технологии из оборонно-промышленного комплекса в гражданский сектор экономики/ Д.Ю. Байдаров, Д.Ю. Файков // Управление. 2023. Т. 11. № 2. С. 56–67.

7. Страна Росатом. Алексей Лихачев: «Мы оцениваем наш атомный заказ в 15 трлн. рублей на ближайшие 10 лет». 16.03.2023. Режим доступа: https://strana-rosatom.ru/2023/03/16/aleksej-lihachev-my-ocenivaem-nash-ato/?ysclid=ljfi90sjnp481018117 (дата обращения 24.01.2026)

8. Технологическое сотрудничество и равноправие как развитие концепции технологического суверенитета / А. В. Полосин, Д. Ю. Байдаров, Е. М. Абакумов, Д. Ю. Файков // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. – 2023. – Т. 16, № 5. – С. 94-112.

АНАЛИЗ СЧЕТЧИКОВ ГАЗА АО «АПЗ» ИМ. П. И ПЛАНДИНА

А.С. Дудин, Т.В. Карасева
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрено одно из ключевых и долгосрочных направлений гражданской продукции АО АПЗ имени П.И. Пландина – счетчики газа. Определены основные модификации счетчиков газа, варианты их исполнения, анализ основных характеристик и областей применения.

Ключевые слова: счетчик газа, виды изделий, ГОСТ, модернизация

Основные виды продукции Арзамасского приборостроительного завода им. П.И. Пландина (АПЗ) можно разделить на два крупных направления: специальное и гражданское. Ассортимент гражданской продукции в последние годы значительно сократился, однако одним из предлагаемых продуктов длительное время остаются датчики газа.

История выпуска газовых счетчиков на Арзамасском приборостроительном заводе (АО «АПЗ») началась практически одновременно с основанием предприятия. Однако, согласно найденным данным, конкретные модели первых счетчиков в открытых источниках не упоминаются.

Начало производства приходится на 1957 год. Предприятие, основанное в 1956 году, уже в 1957-м приступило к освоению выпуска газовых счетчиков. Это был самый первый этап развития данного направления.

В 2015 году завод представил серию приборов СГ. В том же году линейка пополнилась новым промышленным счетчиком СГ 16-МТ-65. Также на базе серии СГ был разработан комплекс учета газа «СГ-Суперфлоу». Данный комплекс предназначен для измерения объема природного газа в рабочих условиях и автоматического приведения измеренного объема газа к стандартным условиям в зависимости от давления, температуры и коэффициента сжимаемости газа.

В 2018 году АПЗ освоил новый для себя сегмент – бытовой учет газа. Была собрана первая партия бытовых счетчиков струйного типа СГБЭ 1,6 и СГБЭ 2,4. В том же году завод получил патент на полезную модель «Струйный счетчик газа», что подтверждает разработку собственных технических решений.

В 2021 году предприятие продолжает совершенствовать выпускаемую продукцию, в этом году была произведена модернизация промышленного счетчика СГ16 МТ-250 Р4, что расширило диапазон его измерений.

Таким образом, разработка газовых счетчиков ведется на заводе с самого его основания в 1957 году.

Обеспечение единства измерений в сфере учета природного газа является ключевой задачей как для промышленности, так и для жилищно-коммунального хозяйства. Точность показаний счетчиков газа напрямую влияет на финансовые расчеты между поставщиками и потребителями.

Продукция этого направления АО «АПЗ» ориентирована как на промышленных потребителей и коммунальные предприятия, так и на бытовой сектор, обеспечивая точный коммерческий учет энергоресурсов.

Основу газового направления завода составляют турбинные счетчики, предназначенные для измерения объема плавно меняющихся потоков газа на промышленных и коммунальных объектах.

Счетчики газа СГ16МТ и СГ75МТ – это одни из ключевых продуктов завода. Они предназначены для измерения объема очищенных неагрессивных газов (природный газ, воздух, азот, аргон, попутный нефтяной газ) в установках промышленных и коммунальных предприятий, а также для коммерческих операций. В 2019 году завод получил свидетельство об утверждении типа средств измерений на модификацию СГ МТР (Б) с улучшенными характеристиками и расширенным диапазоном измерений. Диапазон был расширен с 1:25 до 1:30, что позволяет прибору точно измерять расход газа как в зимний, так и в летний периоды.

Линейка включает множество исполнений, различающихся по максимальному расходу (от 65 до 4000 м³/ч) и условному проходу (от 50 до 200 мм). Существуют исполнения с индексом «Д» (с импульсным датчиком) и «Р» (с механическим корректором), а также варианты для различных диапазонов расходов, что позволяет подобрать прибор под конкретные задачи.

Диапазон основных счетчиков газа СГ16(М) представлен в табл. 1.

Таблица 1

Диапазон основных счетчиков газа СГ16(М)

	ДУ	**Расход при давлении 0,005 МПа**			**Габаритные размеры, мм**	**Масса, кг**
		Q_{max} **м³/ч**	Q_{min} **м³/ч**			
			при 0,05 Q_{max}	**при 0,1** Q_{max}		
СГ16(М)-100	50	100	-	10	150х-х260	5,5
СГ16(М)-160	80	160	8	16	240х280х255	6,5
СГ16(М)-200	80	200	10	20	240х280х255	15
СГ16(М)-250	80	250	12,5	25	240х280х255	15
СГ16(М)-400	100	400	20	40	300х305х275	20
СГ16(М)-650	150	650	32,5	65	300х305х275	35
СГ16(М)-800	150	800	40	80	450х365х333	35
СГ16(М)-1000	150	1000	50	100	450х365х333	35
СГ16(М)-1600	200	1600	80	160	450х430х390	46
СГ16(М)-2500	200	2500	125	250	450х430х390	46
СГ16(М)-4000	200	4000	200	400	450х430х390	46

Для задач, требующих высокой точности в определенном диапазоне расходов, завод предлагает ротационные счетчики.

Счетчик газа ротационный СГР – эта модель предназначена для коммерческого учета объема неагрессивных газов, включая природный газ по ГОСТ 5542, воздух, азот и другие. Отличительной особенностью является наличие местного отсчетного устройства. Новейшие модификации этих счетчиков были

представлены на выставке *Aquaflame by Aquatherm Moscow*, что подчеркивает актуальность этой линейки.

Освоив производство сложных промышленных приборов, АПЗ вышел на рынок бытового учета газа с инновационным продуктом.

Счетчики газа струйного типа СГБЭ 1,6 и СГБЭ 2,4 – это первая серия бытовых счетчиков газа струйного типа, выпускаемых на АПЗ. Их главные преимущества: бесшумная работа, компактность, малый вес (всего 0,5 кг благодаря корпусу из цинко-алюминиевого сплава) и высокая надежность, обусловленная отсутствием движущихся частей. Питание осуществляется от литиевой батареи, рассчитанной на 12 лет службы. Приборы ориентированы на учет газа, потребляемого, например, 4-конфорочными плитами с духовкой.

Счетчики газа классифицируются по нескольким ключевым критериям: принципу действия (как они считают), пропускной способности (для каких объемов предназначены), наличию термокомпенсации и типу индикации.

На данный момент завод представляет следующие модификации счетчиков:

- СГ16МТ-Р - Промышленный турбинный счетчик. Область применения: учет газа на промышленных и коммунальных объектах; монтаж горизонтально или вертикально. Требует фильтра перед счетчиком;
- СГ75МТ-Р - Версия для высоких давлений (до 7.5 МПа). Применяется на магистральных линиях и в узлах с большим давлением. Имеет модификации по типоразмеру: 200/400/800;
- СГТ16Э / СГ-ЦИ - Счетчики с электронным выходом/корректором температуры и давления, импульсные выходы, архивы данных, интерфейсы *RS*232/*RS*485.

Конструктивно современные счетчики состоят из двух основных частей: проточной части и счетной головки.

В проточной части счетчика расположены:

1 – струевыпрямитель, который выравнивает поток газа перед турбинкой, устраняя завихрения, что повышает точность измерения;

2 – турбинка как основной чувствительный элемент;

3 - узел преобразователя, который включает вал на подшипниках, выполненный заодно с червяком. Червяк передает вращение на зубчатое колесо, соединенное с внутренней магнитной полумуфтой.

Счетная головка, в которой находится внешняя полумуфта, механический редуктор и цифровые барабаны. Корпус головки можно разворачивать на 360° для удобства снятия показаний.

На корпусе установлен масляный насос с маслопроводом для периодической подачи смазки к подшипникам турбинки в процессе эксплуатации.

Современные модели (с индексом «-Р») оснащены герконовым датчиком импульсов (НЧ-выход). При вращении счетного механизма магнит замыкает контакты геркона, генерируя электрические импульсы. Это позволяет подключать счетчик к электронному корректору объема газа. Корректор приводит рабочий объем газа к стандартным условиям (температура, давление).

Принцип работы счетчиков газа можно описать как преобразование потока газа в цифры на табло. Это происходит в три этапа:

1 – вращение турбинки. Поток газа, проходя через корпус счетчика, попадает на лопасти турбинки (чувствительного элемента). Энергия потока заставляет турбинку вращаться со скоростью, которая прямо пропорциональна объемному расходу газа;

2 – передача усилия. Вращение турбинки передается на механический редуктор. Чтобы разделить газовую среду и счетный механизм, используется магнитная муфта: одна ее половина вращается внутри корпуса (в газе), а вторая — снаружи, увлекаясь магнитным полем;

3 – подсчет объема. Внешняя часть муфты связана со счетным устройством. Система шестерен-редукторов преобразует множество оборотов турбинки в показания на 8-разрядном роликовом механизме, который и показывает суммарный объем прошедшего газа.

Следует отметить, что продукция АО «АПЗ» им. Пландина демонстрирует комплексный подход к удовлетворению потребностей газораспределительных организаций и промышленных предприятий. Модульный принцип построения модельного ряда счетчиков газа, реализованный в семействах СГ16МТ и СГ75МТ, позволяет потребителю гибко подбирать оборудование под конкретные параметры сети – от диаметра условного прохода до необходимого диапазона измерений.

Наличие унифицированных модификаций с импульсным выходом и различными классами точности обеспечивает легкую интеграцию приборов в существующие автоматизированные системы коммерческого учета энергоресурсов. Таким образом, завод не только сохраняет преемственность проверенных временем турбинных технологий, но и адаптирует их к современным требованиям цифровизации и энергоэффективности.

Нужно отметить положительные и отрицательные стороны изделия:

- высокое качество и надежность: завод имеет репутацию предприятия, где требования к контролю качества и производственной дисциплине очень высоки;

- низкая чувствительность к загрязнениям: В отличие от многих электронных или ультразвуковых счетчиков, большинство моделей АО «АПЗ» (например, знаменитые СГБМ-1.6) являются мембранными (диафрагменными). Это значит, что они менее требовательны к качеству газа – мелкие механические примеси (пыль, ржавчина) или конденсат реже выводят их из строя;

- не требуют питания (автономность): это механические приборы, работающие без батареек. Отсутствие необходимости покупать и менять элементы питания экономит деньги и избавляет от проблем с разрядкой батареек в самый неподходящий момент;

- ремонтопригодность и сервис: поскольку завод российский и крупный, проблем с поиском запчастей (при выходе из строя в межповерочный период) или с проведением поверки, как правило, не возникает. Метрологи знакомы с

конструкцией, и в большинстве регионов такие счетчики охотно принимают в ремонт и на поверку местные службы;

- цена: счетчики АО «АПЗ» относятся к среднему и бюджетному ценовому сегменту. Они доступнее большинства импортных аналогов (например, итальянских или немецких) при сопоставимой, а зачастую и более высокой механической надежности;

- шумность работы: самый частый недостаток, отмечаемый потребителями (особенно в моделях СГБМ). Это «щелкающий» звук работающего механизма (перемещение мембран и передача вращения на счетный механизм). В частном доме, если счетчик стоит на кухне или в коридоре, щелчки могут быть слышны отчетливо, особенно ночью. Хотя современные модели стараются делать тише, механические счетчики всегда громче электронных;

- габариты: мембранные счетчики имеют достаточно крупные корпуса по сравнению с современными электронными или ротационными моделями. Их сложнее вписать в интерьер или разместить в ограниченном пространстве газового шкафа;

- погрешность при малых расходах: как и у всех механических счетчиков, у приборов АО «АПЗ» существует порог чувствительности. Если у вас стоит современный газовый котел или колонка, потребляющие мало газа в режиме ожидания (поддержания огня) или при минимальной мощности, счетчик может не реагировать на такие микрорасходы (не докручивать). Хотя этот недостаток свойственен всем мембранным счетчикам, и производитель постоянно работает над улучшением чувствительности;

- консервативный дизайн и исполнение: ввнешний вид приборов часто называют «утюгообразным». Металлический корпус с эмалью (хоть и надежный) выглядит менее презентабельно, чем глянцевые пластиковые корпуса современных импортных или российских ультразвуковых счетчиков;

- отсутствие телеметрии (в базовых моделях): Большинство классических моделей АПЗ не имеют встроенных возможностей для автоматической передачи показаний (если только это не специальные модификации). В эпоху тотального внедрения «умных» систем учета газа, владельцам таких счетчиков приходится либо по-прежнему передавать данные вручную, либо устанавливать дополнительные дорогостоящие накладки на счетный механизм.

Библиографический список

1. Счетчик газа СГ16МТ-Р, СГ75МТ-Р Руководство по эксплуатации ЛГФИ.407221.046 РЭ

2. Счетчики газа и измерительные комплексы: офиц. сайт. – URL: https://schetchiki-gaza.armagaz.ru/ (дата обращения: 13.03.2026).

ИНСТРУМЕНТЫ ЦИФРОВОГО АНАЛИЗА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: КОМПЛЕКСНАЯ И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА

А.В. Курбаков
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

На сегодняшний день в условиях роста цифровой трансформации промышленного сектора РФ эффективность управленческих решений определяется качеством и оперативностью аналитических данных. С другой стороны, в связи со снижением эффективности и утратой актуальности традиционных методов сбора и обработки информации, используемых для комплексного и сравнительного анализа и оценки деятельности предприятий крупного и среднего бизнеса, в работе предложен пакет цифровых инструментов, интегрируемых в единую IT-архитектуру унифицированной цифровой платформы самостоятельного хозяйствующего субъекта. Особое внимание уделяется раскрытию содержания специфичных для каждой дирекции предприятия набору показателей, а также прикладным цифровым инструментам, используемым в рамках комплексного и сравнительного анализа: системам консолидации данных, прогнозирования и моделирования, средствам визуализации, модулям план-фактного анализа.

Ключевые слова: цифровые инструменты, комплексный и сравнительный анализ, промышленные предприятия

Фокус на цифровую трансформацию (ЦТ) объединяет сегодня усилия высшего управленческого состава предприятий (организаций), профессиональных отраслевых объединений, аналитических центров и научного сообщества во всех значимых секторах экономики [4]. Однако, в отличие от финансового или потребительского секторов, где процедура цифровизации зачастую определяется рыночной конъюнктурой и покупательской активностью, в промышленности ЦТ становится не просто инструментом эффективного менеджмента, а вопросом стратегического выживания и конкурентоспособности. Как следствие, руководителям и государственным регуляторам требуется не разрозненная информация деятельности хозяйствующих субъектов, а целостная, объективная и сопоставимая картина состояния и потенциальных возможностей предприятия. Данный факт делает промышленный сектор ключевым объектом интереса в сфере разработки цифровых инструментов формирования комплексного и сравнительного анализа и оценки деятельности предприятий [3].

Таким образом, в условиях ЦТ бизнес-процессов эффективность управления промышленными субъектамив решающей степени зависит от качества, точности и оперативности аналитических данных. Традиционные методы анализа, основанные на ручной консолидации разрозненных данных из несвязанных информационных систем различных дирекций (бухгалтерской, финансовой, производственной, коммерческой), становятся несостоятельными, поскольку не позволяют получать объективные данные в режиме, близком к реальному времени, что в свою очередь критически важно для современного производства [1].

На смену традиционным методам приходят ИТ-решения, основанные на создании единой цифровой платформы предприятия, которая служит инфраструктурной основой (объединяет в себе все вышеуказанные дирекции) для формирования комплексного и сравнительного анализа деятельности промышленного субъекта.

Комплексный анализ представляет собой всестороннее, системное исследование финансово-хозяйственной деятельности (ФХД) предприятия по всем дирекциям, направленное на получение объективной оценки текущего состояния, выявление внутренних проблемных зон и формирование достоверного прогноза на будущие периоды. Таким образом, ключевой принцип комплексного анализа – рассмотрение предприятия как единой системы, где изменение одного показателя неизбежно оказывает влияние на другие.

Сравнительный анализ представляет собой методологию исследования динамики показателей выделенных ключевых направлений деятельности за различные отчетные периоды ФХД предприятия. Так, данный инструмент позволяет не только констатировать изменение абсолютных значений, но и выделить устойчивые тренды, взаимозависимости между направлениями, а также объективно оценить результативность применяемых управленческих решений.

Данный цифровой подход представляет собой новую методологическую основу, в которой анализ отчетности перестает быть периодической функцией, а становится непрерывным, встроенным в бизнес-процессы инструментом предиктивного (опережающего) управления [2]. При этом, новизна такого подхода заключается не в самих методиках финансового анализа, а в их глубокой интеграции, автоматизации и масштабируемости, обеспечиваемых цифровой платформой.

В данном контексте цифровая платформа представляет собой декомпозирование предприятия на ключевые направления его деятельности (дирекции), управляемые под одним началом (центром принятия цифровых решений). Таким образом, платформа выступает в роли системного координатора, обеспечивающего синергию между производственными подразделениями разной направленности, формируя базис для достижения стратегических, тактических и оперативных целей предприятия.

Традиционно на промышленных субъектах среднего и крупного бизнеса выделяют следующие ключевые направления деятельности: финансовое, бухгалтерское, производственное, коммерческое, инновационное, кадровое, юридическое. Каждая дирекция имеет свои задачи и показатели, на основе которых можно судить о прогрессе достижения обозначенных руководством целевых значений стратегии.

На первом этапе формирования цифровой платформы, где происходит выделение дирекций на конкретные блоки, центром принятия управленческих решений определяются цифровые инструменты формирования комплексной и сравнительной оценки эффективности деятельности промышленного предприятия.

Под цифровыми инструментами понимаются прикладные программные решения и модули, встраиваемые в цифровую платформу, которые автоматизи-

руют сбор, обработку и визуализацию данных для последующего анализа. Ключевая задача цифровых инструментов – трансформировать первичные учетные данные в структурированную и своевременную информацию, пригодную для оперативного принятия управленческих решений.

Одними из инструментов цифрового анализа, используемых при разработке цифровой платформы, являются перечисленные далее.

1. Инструменты консолидации первичных данных. Автоматизация сбора информации посредством внедрения в бизнес-процессы всего предприятия современного программного обеспечения, благодаря которому формируется прослеживаемость движения готовой продукции, материалов, производственных циклов и др. В свою очередь, указанный инструмент позволяет избавиться от «локальной» цифровизации и сформировать единый центр хранения учетных данных. Таким образом, сотрудникам и руководителям дирекций не требуется сводить информацию вручную, поскольку цифровая платформа предприятия выполняет указанные задачи непрерывно при отсутствии влияния человеческого фактора.

2. Инструменты визуализации. Вместо статических отчетов цифровая платформа генерирует на основе полученных данных интерактивные панели управления, сравнительные диаграммы, графики и индикаторы.

3. Модули план-фактного анализа. Базовый инструмент сравнительной оценки, который в автоматическом режиме сопоставляет плановые показатели (заложенные в производственной программе и бюджете) с фактически достигнутыми. Таким образом, отклонения от графика фиксируются в режиме реального времени, что позволяет оперативно реагировать и стабилизировать негативные тренды на ранних стадиях анализа.

4. Системы моделирования и прогнозирования. На основе полученных данных на базе цифровой платформы предлагается применить инструменты формирования динамических имитационных моделей по бизнес-процессам дирекций. Такое решение позволит перейти к прогнозированию и моделированию различных сценариев развития, увеличению производственного выпуска, загрузки оборудования и снижению доли НЗП и пр.

Когда ключевые направления деятельности предприятия выделены, формируется комплекс показателей, характеризующих состояние каждой дирекции, мониторится динамика их целевых значений и др. Причем для каждой из дирекций показатели имеют специфичный вид и отличаются в зависимости от конкретного направления. На основе чего представляется возможность перехода к комплексному и сравнительному анализу.

Цифровые инструменты при проведении комплексного и сравнительного анализа и оценки деятельности предприятия не просто фиксируют значения вышеупомянутых показателей, а встраивают его в систему мониторинга цифровой платформы промышленного субъекта [6]. Таким образом, руководителям ключевых направлений деятельности, а также руководству центра принятия решений представляется возможным видеть не только численные значения роста или снижения анализируемых показателей, но и оперативно получить ин-

формацию о цехе, группе, отделе или другом факторе, повлиявшем на изменение соответствующего тренда.

Формирование единой цифровой платформы промышленного предприятия, базирующейся на описанных инструментах по консолидации и визуализации информации, план-фактного анализа и построению систем моделирования и прогнозирования создает основу для качественного развития методологии управления производством [5]. Процесс комплексного и сравнительного анализа и оценки перестает быть трудоемким и трансформируется в постоянно действующий механизм мониторинга и прогнозирования. Таким образом, вышеуказанные меры позволяют предприятиям повысить не только прозрачность своих бизнес-процессов, но и сократить время реакции на изменения внешних и внутренних факторов и т.д.

Библиографический список

1. **Булина, А.Р.** Модель оценки цифровой зрелости для промышленных предприятий строительной индустрии / А. Р. Булина, Н. А. Солопова // E-Management. – 2023. – Т. 6, № 2. – С. 4-13. – DOI 10.26425/2658-3445-2023-6-2-4-13. – EDN QOWIKX.

2. **Глухов, В.В., Бабкин, А.В., Шкарупета, Е.В.** Цифровое стратегирование промышленных систем на основе устойчивых экоинновационных и циркулярных бизнес-моделей в условиях перехода к Индустрии 5.0. Экономика и управление, 28 (10), 1006–1020. DOI: http://doi.org/10.35854/1998-1627-2022-10-1006-1020

3. **Гусева, И.Б.** Риск-менеджмент: экономическая безопасность при внедрении цифровых технологийна промышленных предприятиях РФ / И. Б. Гусева, А. В. Курбаков // Инновации в менеджменте. – 2025. – № 2(44). – С. 18-25. – EDN OIEMKM.

4. **Курбаков, А. В.** Анализ и обобщение результатов Российской практики и международного опыта по развитию направлений цифровой трансформации / А. В. Курбаков, И. Б. Гусева // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. – 2025. – № 2. – С. 111-121. – DOI 10.24143/2073-5537-2025-2-111-121. – EDN PVAJCT.

5. **Ташкинов, А.Г.** Этапы формирования стратегии цифровой трансформации промышленного предприятия. π-Economy, –2023. – №16 (6), – С. 117–141. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.16609

6. Влияние глобальных тенденций цифровизации на трансформацию бизнес-моделей промышленных компаний / И. Н. Краковская [и др.] // Регионология. 2022. Т. 30, № 4. С. 823–850. doi: https://doi.org/10.15507/2413-1407.121.030.202204.823-850

ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА КАК ИНСТРУМЕНТ УКРЕПЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

М.Р. Лихачев[1], Д.Ю. Файков[2], Д.Ю. Байдаров[3]

[1]Частное учреждение «Росатом регионы», руководитель проекта Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», аспирант, [2]Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, ведущий специалист Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», профессор кафедры экономики и менеджмента в промышленности, [3]Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом", директор Департамента поддержки новых бизнесов Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", доцент кафедры экономики и менеджмента в промышленности

Рассматривается диверсификация оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации как инструмент укрепления технологического суверенитета государства. Проанализированы теоретические подходы к определению технологического суверенитета. Обоснована роль ОПК как высокотехнологичного сектора экономики, способного выступать ядром формирования национального технологического контура. Показано, что диверсификация ОПК является не только направлением промышленной политики, но и механизмом развития гражданских высокотехнологичных отраслей. Сделан вывод о системной взаимосвязи диверсификации и обеспечения долгосрочной технологической устойчивости Российской Федерации.

Ключевые слова: технологический суверенитет, оборонно-промышленный комплекс, диверсификация, гражданская продукция, научно-производственный потенциал, критические технологии, импортозамещение

Введение. В современной системе международных отношений технологический фактор становится определяющим элементом государственной безопасности. Ограничения доступа к оборудованию, компонентной базе, программным решениям и научным разработкам продемонстрировали уязвимость стран, встроенных в глобальные цепочки на правах технологических потребителей. В этих условиях обеспечение технологического суверенитета приобретает для Российской Федерации стратегическое значение. Речь идет не о локальном импортозамещении, а о формировании системы, способной воспроизводить критические компетенции внутри страны. Такой переход невозможен без опоры на мощный индустриальный сектор, обладающий научным и производственным потенциалом. В российской экономике оборонно-промышленный комплекс (ОПК) концентрирует значительную часть передовых разработок, инженерных школ и высокотехнологичных производств [1]. Задача расширения доли гражданской продукции в структуре выпуска предприятий ОПК поставлена в 2016 году Президентом Российской Федерации [2]. Данное направление

следует рассматривать не только как инструмент повышения экономической устойчивости ОПК, но и как механизм формирования национального технологического суверенитета и развития. Цель статьи - проанализировать диверсификацию ОПК как инструмент укрепления технологического суверенитета государства.

Технологический суверенитет как государственная стратегия развития. Понятие технологического суверенитета сравнительно недавно закрепилось в российском научном и общественно-политическом дискурсе. В официальных документах оно звучит следующим образом: «технологический суверенитет – это наличие в стране (под национальным контролем) критических и сквозных технологий, собственных линий разработки и условий производства продукции на их основе, обеспечивающих устойчивую возможность государства и общества достигать собственные национальные цели развития и реализовывать национальные интересы» [3]. В научном измерении данная категория приобретает более глубокую интерпретацию. В исследованиях Д.Ю. Байдарова и Д.Ю. Файкова технологический суверенитет трактуется как «возможность и способность страны независимо от внешних воздействий выбирать, создавать, приобретать, использовать, продвигать технологии, которые обеспечивают геополитическое лидерство и преимущества в долгосрочном развитии» [4]. В.В. Иванов акцентирует внимание на контроле над полным циклом создания технологий – от генерации научного знания до промышленного внедрения [5]. Обобщая данные подходы, можно выделить следующие ключевые особенности технологического суверенитета: это состояние национальной экономики, при котором она способна воспроизводить критические технологии; управлять стратегически значимыми производственными цепочками; формировать самостоятельное инновационное развитие без системной зависимости от внешних акторов.

Технологический суверенитет имеет не только экономическое, но и институциональное измерение. Он предполагает наличие устойчивой системы координации между государством, научными организациями и промышленными предприятиями. Суверенитет выступает характеристикой не отдельных отраслей, а всей системы воспроизводства знаний и технологий.

Особое значение приобретает способность государства определять приоритеты научно-технологического развития и обеспечивать концентрацию ресурсов на стратегических направлениях. Распыление финансовых и кадровых ресурсов между многочисленными проектами снижает вероятность достижения критической массы компетенций. Следовательно, политика технологического суверенитета должна опираться на концентрации усилий на тех направлениях, которые формируют основу долгосрочной конкурентоспособности.

Технологический суверенитет тесно связан с вопросом кадрового обеспечения. Подготовка инженерных и научных специалистов является элементом национальной безопасности. Если страна способна воспроизводить собственные инженерные школы и научные коллективы, она может формировать основу для устойчивого технологического развития. В противном случае возникает за-

висимость не только от импортных технологий, но и от внешних интеллектуальных ресурсов.

Диверсификация в оборонно-промышленном комплексе. ОПК традиционно рассматривается как гарант обороноспособности страны, производящий общественное благо – военную безопасность. ОПК концентрирует высококвалифицированные исследовательские и производственные кадры, способности работать с передовыми технологическими решениями, что объективно формирует предпосылки для расширения его функционала за пределы исключительно военной сферы и создание частных (и смешанных) благ – продукции двойного и гражданского назначения. Диверсификация в ОПК представляет собой закономерный этап эволюции крупной высокотехнологичной системы. Она обусловлена как макроэкономическими, так и корпоративными факторами. На уровне государства диверсификация ОПК способствует укреплению промышленной базы и формированию внутренних технологических цепочек для производства высокотехнологичной продукции. На уровне ОПК, то есть хозяйственных структур холдингового типа, она повышает устойчивость, расширяет рынки сбыта и усиливает конкурентные позиции. Несмотря на то, что диверсификация – это одна из самых сложных (и спорных) стратегий развития предприятия, опыт крупнейших мировых производителей оружия показывает ее наличие в том или ином виде в деятельности практически всех оборонных компаний [6].С точки зрения обеспечения технологического суверенитета диверсификация в ОПК выполняет несколько функций:

- обеспечивает воспроизводство критических технологий, в том числе, для гражданской сферы;
- формирует внутрикорпоративные и внутринациональные производственные цепочки;
- стимулирует развитие разных отраслей;
- укрепляет кадровый и научный потенциал.

Практическая реализация стратегии диверсификации требует изменения управленческой логики внутри ОПК. При производстве военной продукции ключевыми факторами являются соответствие техническим требованиям и срокам исполнения. Гражданский рынок предъявляет иные требования - гибкость, ориентацию на потребителя, конкурентную цену и пр. Следовательно, стратегии диверсификации предполагает не только технологическую адаптацию, но и трансформацию организационной культуры.

Экономический эффект диверсификации может проявляться в более равномерной загрузке производственных мощностей (в условиях снижения гособоронзаказа) и повышении отдачи от инвестиций в научно-исследовательские разработки. Ряд оборонных НИОКР могут служить базой для создания гражданских технологий и продуктов с высокой добавленной стоимостью. В этом случае инвестиции государства в оборонную сферу начинают выполнять мультипликативную функцию для всей экономики.

Диверсификация оборонных производств может способствовать снижению моноориентированности городов, где предприятия ОПК являются градо-

образующими. Расширение гражданских направлений формирует новые рабочие места и дополнительные источники налоговых поступлений. Это не простое, но перспективное направление регионального развития [7].

Диверсификация в ОПК должна стать первым шагом в формировании интегрированной модели развития, в которой оборонный и гражданский сектора экономики активно обмениваются технологиями и возможностями производства, что снижает общие затраты экономики, создает синергетический эффект и позволяет ускорять технологическое и экономическое развитие страны. Следовательно, диверсификация ОПК может быть интерпретирована как практическая реализация задач, заложенных в определениях технологического суверенитета: развитие собственных компетенций, контроль над производственным циклом и формирование самостоятельной инновационной политики.

Заключение. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что диверсификация оборонно-промышленного комплекса является системным инструментом укрепления технологического суверенитета Российской Федерации. Расширение гражданских направлений на базе оборонных технологий способствует формированию внутреннего технологического контура и повышению устойчивости экономики. Полученные выводы соответствуют цели исследования и подтверждают стратегическую значимость интеграции оборонного и гражданского развития.

Библиографический список

1. Развитие оборонно-промышленного комплекса. Минпромторг России. URL: https://minpromtorg.gov.ru/activities/industries/siszadachi/oboronprom (дата обращения 03.03.2026)
2. Послание Президента РФ Федеральному Собранию от 01.12.2016 // Президент России: офиц. сайт. URL: http://kremlin.ru/events/president/news/53379 (дата обращения: 03.03.2026).
3. Концепция технологического развития на период до 2030 года: [утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р]
4. **Байдаров, Д.Ю.** На пути к технологическому суверенитету: теоретические подходы, практика, предложения/ Д.Ю. Байдаров, Д.Ю. Файков // Экономическое возрождение России. 2023. № 1 (75). С. 67-82.
5. **Иванов, В. В.** Технологический суверенитет: от реформ к развитию / В. В. Иванов. - М.: Техносфера, 2025. - 436 с.
6. **Scarazzato L., Tian N., Lopes da Silva D., Liang X., Karim Z., Ricard J.G** TheSIPRI TOP 100 arms producing and military services companies 2024 // SIPRI Fact Sheet, December 2025. URL: https://www.sipri.org/sites/default/files/2025-11/fs_2512_top_100_2024.pdf (дата обращения: 03.03.2026).
7. **Файков, Д. Ю.** Диверсификация оборонно-промышленного комплекса как способ развития территории присутствия / Д. Ю. Файков, Д. Ю. Байдаров // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. – 2022. – № 2. – С. 46-54.

РОЛЬ ФИНАНСОВОЙ СТРАТЕГИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Е.Г. Моисеева
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье оценивается роль финансовой стратегии машиностроительного предприятия в обеспечении устойчивого развития в условиях санкций и цифровизации. Актуальность обусловлена спадом инвестиций, капиталоемкостью отрасли и необходимостью импортозамещения. Определена финансовая стратегия как баланс структуры капитала, инвестиций и ликвидности; показана ее роль в росте производительности; предложен контроллинг для бюджетирования и управления рисками; выявлены факторы успеха и угрозы при реализации финансовой стратегии.

Ключевые слова: финансовая стратегия, машиностроение, санкции, цифровизация, контроллинг, капиталоемкость.

Введение. В современных условиях санкций и цифровизации разработка финансовой стратегии для машиностроительного предприятия становится критически необходимой, поскольку отрасль характеризуется высокой капиталоемкостью и значительными инвестиционными затратами на оборудование, исследования и разработки, цепочки поставок. Санкции после 2022 года усилили разрыв с глобальными поставщиками, вызвав спад инвестиций в машиностроение на 14% в 2022 г. и хроническое давление на энергетику, технологии и финансы, что требует стратегического планирования для импортозамещения и поиска альтернатив [1]. Цифровизация, как ключ к Индустрии 4.0, позволяет сократить издержки и нарастить прибыль, но требует масштабных вложений, которые без правильного финансирования приводят к отставанию от конкурентов [2].

Правильно разработанная финансовая стратегия существенно влияет на результаты деятельности, повышая рентабельность собственных средств и активов за счет нормирования расходов, выравнивания финансового цикла и финансового рычага (соотношения собственных и заемных средств). В капиталоемком машиностроении она минимизирует риски простоев, высвобождает средства для инвестиций в основные фонды и обеспечивает устойчивость в кризисах. Без нее предприятия теряют конкурентоспособность, в то время как сбалансированная финансовая стратегия стимулирует рост операционной прибыли.

Цель и задачи работы. Для оценки роли финансовой стратегии машиностроительного предприятия в обеспечении устойчивого развития в условиях санкций и цифровизации необходимо решить ряд задач:

- раскрыть понятие финансовой стратегии как инструмента управления капиталом в отрасли машиностроения;

- описать роль финансовой стратегии в повышении устойчивости машиностроительных предприятий с учетом цикличности производства, инвестиций в исследования и разработки и логистических рисков;

- разработать практические рекомендации по формированию финансовой стратегии для российских машиностроительных предприятий в условиях импортозамещения и Индустрии 4.0.

Методы. В качестве методов исследования в работе использовались: анализ научной литературы и синтез понятий; системный подход к изучению роли стратегии в планировании, операциях и кризисах, с учетом специфики машиностроения; индуктивный и дедуктивный методы для обобщения факторов успеха/вызовов и формулировки рекомендаций.

Теоретические основы. Финансовая стратегия машиностроительного предприятия представляет собой долгосрочный план управления капиталом, направленный на обеспечение баланса между привлечением ресурсов, их эффективным использованием и минимизацией рисков в условиях высокой капиталоемкости отрасли [3, 4].

В машиностроении, где основные фонды (станки, производственные линии) составляют до 70-80% активов, финансовая стратегия выступает ключевым инструментом оптимизации капитальных затрат. Она включает три основных компонента: структуру капитала (соотношение собственного и заемного капитала), инвестиционную политику (показатели оценки проектов НИОКР и модернизации) и управление ликвидностью (прогнозирование денежных потоков для покрытия циклов производства).

В отличие от менее капиталоемких отраслей, здесь финансовая стратегия интегрируется с операционной: она решает задачу финансирования импортозамещения и цифровизации.

В контексте машиностроения финансовые стратегии можно классифицировать следующим образом:

- агрессивная (высокая доля заемного капитала в финансировании исследований и заработок);

- консервативная (использование государственного финансирования для обеспечения ликвидности);

- сбалансированная (диверсификация финансирования).

Таким образом, финансовая стратегия – не просто финансовая модель, а стратегический рычаг устойчивости капиталоемкого производства [5].

Роль финансовой стратегии в управлении машиностроительным предприятием. Финансовая стратегия играет центральную роль в управлении машиностроительным предприятием, обеспечивая устойчивость капиталоемкого производства через системное планирование ресурсов, оптимизацию операций и минимизацию кризисных рисков. Рассмотрим несколько главных аспектов.

1. Планирование финансирования оборудования и НИОКР. В планировании финансовая стратегия определяет источники и приоритеты капитальных вложений, где оборудование и НИОКР составляют 60-80% инвестиций. При этом используются известные методы оценки

инвестиционных затрат (метод чистой приведенной стоимости и внутренней нормы доходности) для отбора проектов. Финансовая стратегия помогает сбалансировать структуру капитала за счет использования лизинга, который может покрывать до 30-50% закупок, и заемных средств под госгарантии, собственный капитал преимущественно должен использоваться для финансирования стратегических исследований и разработок. В машиностроении, где цикл производства составляет 1-2 года это обеспечивает рост производительности на 15-25%.

2. Управление запасами и денежными потоками. В операционной деятельности финансовая стратегия оптимизирует оборотный капитал, фокусируясь на запасах и денежных потоках. При этом для минимизации простоев и обеспечения непрерывности производственного процесса целесообразно использование модели ABC-анализа и EOQ (экономичный размер заказа), добиваясь целевого уровня запасов 45-60 дней, с прогнозированием периода дебиторской задолженности менее 60 дней.

Управление денежными потоками строится на свободном денежном потоке, при этом капитальные затраты должны быть профинансированы как за счет денежного потока от операций, так и за счет инвестиционного денежного потока через реинвестирование прибыли. В машиностроении также целесообразно использование в финансовой стратегии факторинга и кредитных линий для сглаживания пиков/спадов и повышения ликвидности.

3. Снижение рисков поставок в периоды кризисов. В кризисах (санкции, пандемии) финансовая стратегия снижает логистические риски через диверсификацию поставщиков (не более 30% поставок должны приходиться на одного поставщика) и хеджирование (заключение форвардных контрактов на покупку материалов и энергии на 6-12 месяцев).

В итоге, финансовая стратегия превращает отраслевые вызовы в конкурентные преимущества, повышая устойчивость по ключевым показателям эффективности.

Инструменты. В качестве действенного инструмента разработки финансовой стратегии может быть использован контроллинг. Система контроллинга на машиностроительном предприятии – это интегрированная система планирования, учета, анализа и контроля, которая напрямую поддерживает разработку финансовой стратегии, обеспечивая обоснованные (на основе анализа данных) решения в капиталоемкой отрасли [7]. Рассмотрим основные функции контроллинга при разработке финансовой стратегии.

Для формирования финансовой стратегии контроллинг, как система поддержки менеджмента предприятия, собирает данные финансового и управленческого учета, а также производства.

В стратегическом планировании контроллинг участвует в разработке финансовой стратегии через бюджетирование и моделирование сценариев. Контроллеры прогнозируют денежный поток на 3-5 лет, учитывая циклы заказов, и координируют подцели (НИОКР, закупки) [8].

При проведении анализа контроллинг использует визуальные представления ключевых показателей эффективности, что упрощают мониторинг и принятие решений для оценки структуры капитала. В машиностроении это включает контроль затрат на основные фонды (70-80% активов) и риски поставок.

В риск-менеджменте контроллинг использует моделирование для санкционных рисков, оптимизацию запасов (ABC-анализ) и сценарии цифровизации.

Практическое использование контроллинга на машиностроительных предприятиях в рамках разработки финансовой стратегии представлено в таблице.

Этап стратегии	**Роль контроллинга**	**Пример в отрасли**
Формирование	Бюджетная модель, SWOT-анализ	Разработка политики и структуры капитала (лизинг 40%)
Реализация	Ежемесячный контроль отклонений	Управление затратами на НИОКР, снижение брака на 10%
Корректировка	Аудит и отчетность	Адаптация к санкциям, рост ликвидности

Внедрение системы контроллинга повышает эффективность финансовой стратегии на 15-25%.

Выводы. В качестве выводов определим внутренние и внешние факторы, определяющие эффективность реализации финансовой стратегии на машиностроительном предприятии, угрозы ее реализации и рекомендации по разработке.

Ключевыми внутренними факторами являются квалификация финансовых менеджеров, интеграция контроллинга с ERP-системами для точного прогнозирования, корпоративная культура, ориентированная на инновации, сильный внутренний аудит, способный минимизировать отклонения от плана.

Внешние факторы успеха финансовой стратегии включают доступ к госпрограммам, низкие ставки по льготным кредитам и партнерства с лизинговыми компаниями. Стабильность цен на сырье, материалы и энергию также усиливают стратегию, повышая доступ к капиталу.

Угрозы, препятствующие реализации финансовой стратегии:

Категория	**Вызовы**	**Последствия для отрасли**
Внутренние	Недостаток данных в ERP, сопротивление изменениям	Задержки НИОКР на 20-30%
Внешние	Санкции (рост затрат 25%), инфляция	Снижение ликвидности и рентабельности активов

Рекомендации по формированию финансовой стратегии:

- внедрение системы финансового контроллинга;
- диверсификация финансирования: 40% лизинг оборудования, 30% собственные средства, 30% льготные займы.

- использование сценариев рисков для хеджирования поставок и цифровизации.

Эти меры будут способствовать повышению устойчивости предприятия, особенно в условиях санкций и капиталоемкости машиностроения.

Библиографический список

1. Влияние санкций на обрабатывающую промышленность и машиностроение России [Электронный ресурс]. URL: Влияние санкций на обрабатывающую промышленность и машиностроение России | Аналитические материалы Группы «ДЕЛОВОЙ ПРОФИЛЬ».
2. **Башаратьян, М. М.** Цифровизация как источник обеспечения устойчивого развития российской промышленности в условиях инновационной экономики / М.М. Башаратьян // Экономика и социум: современные модели развития. – 2021. – Т. 11, № 3. – С. 245-258.
3. **Моисеева, Е.Г.** Разработка финансовой стратегии предприятия / Е.Г. Моисеева, О.А. Рябова // Управление большими системами. Материалы XI Всероссийской школы-конференции молодых ученых, 2014. – С. 657-671.
4. **Моисеева, Е.Г.** Финансовый менеджмент: учебной пособие / Е.Г. Моисеева. – Нижний Новгород, НГТУ, 2013. – 560 с.
5. Машиностроение в России: все упирается в инвестиции? [Электронный ресурс]. URL: Машиностроение в России: все упирается в инвестиции? - Информационный промышленный сайт.
6. **Гусева, И.Б.** Повышение качества управления результатами предприятия с участием систем менеджмента и контроллинга / И.Б. Гусева, Т.В. Фалалеева // Качество. Инновации. Образование. – 2012. № 4 (83). – С. 55-61.
7. **Солдатов, В.В.** Финансовый контроллинг: место и роль на производственном предприятии [Электронный ресурс]. URL: Финансовый контроллинг: место и роль на производственном предприятии.
8. **Хаценко, А.Н.** Контроллинг как инструмент управления предприятиями машиностроения // А.Н. Хаценко, С.Н. Кириллова // Вестник алтайской академии экономики и права. – 2025. № 7. – С. 357-366.

2 СЕКЦИЯ

РАЗВИТИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ДЕЛОВАЯ ИГРА «РАБОТА В ПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ» НА ЗАНЯТИЯХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

О.В. Волгина[1], Е.В. Баронова[1], А.Н. Трутнева[2]
[1]Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Арзамасский филиал ННГУ
[2]Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье презентуется методическая разработка деловой игры для инженерных специальностей технических вузов, направленной на совершенствование компетенций, прописанных в программе по иностранному языку. Авторы делают вывод о том, что использование как компонентов геймификации, так и интерактивных технологий результативно. Они не только дают возможность совершенствовать устную речь обучающихся, но и способствуют развитию стратегического мышления и готовят их к будущей профессии, в частности, работе в промышленном секторе.

***Ключевые слова**:* деловая игра, промышленный сектор, геймификация, квест

Несмотря на развитие различных форм онлайн-медиа, мы с огорчением наблюдаем стагнацию в той сфере, которая, напротив, должна быть своеобразным инкубатором инноваций в сфере информационных технологий. Высшие учебные заведения все еще продолжают придерживаться традиционного подхода, даже при полном понимании того, что студенческое сообщество уже давно погружено в сферу социальных веб-сервисов и разножанровых сетевых игр.

Задача организации деловой игры на занятиях по иностранному языку в техническом университете – «…push students to think and act differently» («побуждать студентов думать и действовать иначе») (Здесь и далее перевод наш: Е.В., О.В.) [5; с. 7]. Кроме того, элементы геймификации позволяют снимать специфические барьеры, которые мешают успешной коммуникации. Например, они способствуют пониманию иноязычной культуры, что важно, так как необходимо декодировать «…basicvalues, motive, aspirations... tha toperate across geographical lines» («основные ценности, мотивы, стремления, которые действуют в пределах географических зон») [3, с.5]. Они обеспечивают понимание звучащей и письменной речи, жестов и мимики, мотивируют к проявлению эмпатии к собеседнику, пониманию его точки зрения, доносить до него смысл высказывания в доступной форме. Партнеры по ролевой игре постепенно знакомятся с правилами эффективного общения: не прерывать собеседника, когда он еще не

закончил фразу, проявлять терпение, не удаляться от темы, задавать вопросы при возникновении неловких пауз, сохранять зрительный контакт. Преодолевается боязнь ошибок, расширяется ограниченный вокабуляр, который может стать «…an impediment in learning or improving oral skills…» («помехой в освоении и улучшении устных навыков») [1, с.10], совершенствуется навык передавать мысли в грамматически правильном оформлении.

Стереотипно коммуникация профессионального и технического плана представляется как формальная система «…of writing messages to disseminate and receive useful information…» («письменных сообщений для распространения и получения полезной информации») [1, с. 252].

В качестве основы для деловой игры мы взяли десятый сезон американского сериала «Теория большого взрыва» (2007-2019). Выбор обусловлен тем, что именно он, начавшись как не самый интеллектуальный ситком о нердах-физиках, превратился в нечто намного большее, изменив карьерное направление молодежи по всему миру: подростки стали выбирать предметы естественно-научного цикла, сокращенно STEM – «science, technology, engineering, mathematics, ... because it looked cool on television» («науку, технологию, математику, … потому что это выглядело круто по телевидению») [2, с. 310]. В первой серии юбилейного сезона изобретением инженера Говарда Воловица (системой наведения) заинтересовалось министерство обороны в лице полковника ВВС Ричарда Уильямса. Физики после некоторых этических колебаний соглашаются создать работающее устройство в предельно сжатые сроки, что объясняется финансовыми соображениями, поскольку если бы они реализовали идею Говарда на базе университета, то получили бы только четверть от полученного дохода от патента. На остальное имеет право исследовательский центр. Соответственно, сценарий нашей деловой игры мы построим на развитии истории с секретным проектом в лаборатории калифорнийского технологического института.

Первой частью нашей деловой игры будет представление продукта. В предпросмотровый этап можно вывести дискуссию о том, почему важны новые разработки в промышленной сфере. Начнем с фрагмента сериала, где Ричард предлагает спонсировать разработку Говарда. Первое задание по фильму – как объясняет цель внедрения системы наведения полковник: «It’s for the good of the country» («Это на благо страны») [4]. Затем будущим инженерам предлагается описать свойства модели устройства после просмотра короткого эпизода и прокомментировать, как министерство обороны требует изменить его (сделать значительно более компактным). Целесообразным видится предварительное снятие лексических трудностей путем объяснения технической терминологии (quantumvortices, runperpetually, coolingsystem, thermo-acousticexpander). После этого курс делится на группы по несколько человек. Им выдаются карточки с фразами, которые обозначают характеристики их «изобретения», например,

compact, state-of-the-art design, completely reliable at all temperatures, durable, robust construction, on-site maintenance, unequalled performance, accuracy, и т.д.

Обучающиеся продумывают концепцию прибора, сферу его применения, примерную стоимость разработки и внедрения, а затем презентуют его. Слушающие из других групп на время превращаются в представителей заказчика и проставляют рейтинг прототипа. В итоге выбирается лучшее «устройство» путем голосования. В качестве фидбека предлагается обсудить перспективность внедрения идей, которые обсуждались на занятии, в практику. В качестве альтернативы завершения первой ступени ролевой игры для тех, кто уже знаком с сериалом, можно затронуть сложности, связанные с работой в вышеописанной сфере: промышленный шпионаж (история физика Леонарда и агента из Северной Кореи), опасность несчастных случаев с серьезными последствиями (взрыв при испытании ракетного топлива, над которым работал Леонард), проверка на лояльность системе (Шелдон в момент откровения сознается, что не был допущен ранее работать на это ведомство, так как не мог ни от кого скрывать полученную информацию, что особенно опасно при его феноменальной памяти).

На втором этапе мы также следуем за сценаристами ситкома и попадаем в секретную лабораторию военного ведомства. Данная часть деловой игры преследует цель погрузить обучающихся в понимание процесса работы над проектом, отсюда название – «A difficult day» (Трудный день). Мы смотрим эпизод, в котором Шелдон пытается вечером покинуть Леонарда и Говарда, чтобы как следует выспаться. Ему напоминают о том, что именно он был инициатором сократить сроки создания прибора до нереальных двух месяцев. При первом просмотре фрагмента предполагается прочитать список существительных, обозначающих элементы оснащения лаборатории, и определить, что из оборудования есть у героев ситкома. Так как в списке присутствуют вещи, необходимые для разного рода исследований (герои сериала занимаются теоретической и экспериментальной физикой, астрономией, а в последней части и геологией), обучающиеся делят предложенную лексику на соответствующие группы: hydraulic thermoforming press, oscilloscopes, mass spectrometers, lasers, 3-D printer, mobility platform, oxy-acetylene torch. Далее, при повторном просмотре, определяется причина конфликта (необходимость мириться с переработкой и ночными сменами). Курс снова делится на группы. Каждая из них получает распечатку с пятью скринами из сериала. Четыре из них будут одинаковыми для всех, один будет отличаться. Их задача – детально описать то, что они видят на скринах, затем определить правильный порядок следования картинок. Если группа считает, что есть понимание последовательности, то один ее представитель рассказывает историю целиком. При этом слушающие должны определить, какой скрин отличается от того, что есть в раздаточных материалах для их группы. При рассказе должна быть употреблена лексика, соответствующая теме, отражающая сложности ненормированного рабочего дня разработчика: putinalotoflatenights, tired, soldierthrough, stayupallnighttowork.

Если у обучающихся достаточно низкий уровень знания иностранного языка, можно упростить данный этап, воспользовавшись онлайн-инструментами. На платформе «Взнания», ресурса для учителей и репетиторов, выбирается задание на совмещение. Далее загружаются фото из сериала. Обучающимся остается только совместить картинку с цифрами, указывающими последовательность скринов, или описанием действий персонажей. После чего студенты по памяти пытаются воспроизвести сюжет.

В любом случае, этап завершается дискуссией о правильном планировании работы над любым совместным проектом. В качестве домашнего задания может быть составление рекомендаций о рациональном распределении обязанностей и рабочем процессе.

Следующий момент, на котором делается акцент в сериале, это проблема выгорания. Новый этап игры соответственно получает название «Burnout» («Выгорание»). В какой-то момент после длительного периода напряженной работы и нехватки сна коллеги осознают, что не справляются с задачей, поставленной перед ними полковником Уильямсом, и вынуждены признаться ему в этом. Цель данного этапа игры – анализ рабочих ситуаций, повторение лексики по теме «Характер» и закрепление речевых клише, связанных с убеждением. Игра начинается с того, что каждый обучающийся получает распечатку с заголовком «Find someone who…» («Найди того, кто…»). Ему предстоит опросить нескольких однокурсников, зафиксировать результаты опроса в тетради, затем представить это в виде диаграммы. Вопросы могут быть следующего типа: «Do you have to pull all-nighters? How many cups of coffee do you drink when you have to work overtime? Are you determined to make an impact in the workplace?»

Далее следует просмотр фрагмента из ситкома, который показывает переговоры Уильямса и разработчиков по поводу изменения сроков завершения проекта. После описанного ранее этапа курс делится на группы по пять или шесть человек. Выбирается один человек, который будет либо руководителем проекта, либо представителем заказчика. Ролевая игра должна представлять собой производственное совещание, посвященное некой проблеме в разработке рабочего прототипа: недостаткам в оборудовании, нехватке финансирования, нарушение дедлайнов, несогласованность действий отделов и т.д. Ролевая игра заканчивается тем, что коллегиально принимается решение, либо «руководитель» берет личную ответственность, делая свой выбор и аргументируя его.

В итоге в группах рисуется «A Priority pyramid» («Пирамида приоритетов»), в которой отмечаются восемь или десять наиболее важных факторов, которые бы обеспечивали успех поначалу в процессе изобретательской или рационализаторской деятельности, а затем создании промышленных образцов. В итоге полученные данные презентуются, сравниваются и обобщаются.

Таким образом, в деловой игре мы формируем необходимые для профессионального роста компетенции, связанные с разговорной речью, подводим

итоги того, на каком уровне усвоены техническая терминология и клише, которые применяются при корпоративном общении.

Библиографический список

1. **Bhatnagar N.** Communicative English for engineers and professionals. Delhi: Pearson. 2010. 312 p.
2.**RadolfJ.** The Big Bang theory. The definitive, inside story of the epic hit series. N.Y.: Grand Central publishing. 2022. 638 p.
3.**Selvam V.** English for engineering students. Delhi: Vikas Publishing house, 2008. 132 p.
4.**The Big Bang Theory**: series. Lorre Ch., USA: CBS, 2007 – 2019.
5.**TierneyW.** Postsecondaryplay. The role of games and social media in higher education. Baltimore: John Hopkins University press, 2014. 336p.

ВОЗМОЖНОСТИ STEAM-ПОДХОДА В ОБУЧЕНИИ РОБОТОТЕХНИКЕ

Д.А. Маслова
МБУ ДО ЦДТТ, г. Красный Сулин, Ростовская область

В статье рассмотрены вопросы применения STEAM-подхода при обучении школьников робототехнике. Данный подход основан на междисциплинарном подходе к осуществлению робототехнических проектов и формирует у обучающихся знания, умения и навыки, необходимые для их будущей профессиональной деятельности.

Ключевые слова: *робототехника, STEAM-подход, интеграция дисциплин, проектная деятельность, креативное и творческое мышление.*

18 июля 2022 года Президент РФ В.В.Путин во время проведения Совета по стратегическому развитию и национальным проектам высказал мысль о том, что наша страна жизненно нуждается в возрождении престижа профессии инженера. Он отметил, что сегодня в Российской Федерации необходимо не просто возродить национальную инженерную школу, но и активно развивать инженерные навыки у детей и молодежи, ведь они являются кадровым потенциалом страны [5].

При этом необходимо отметить тот факт, что образовательные учреждения всех уровней сегодня должны уметь очень быстро проходить период адаптации программ обучения к современным требованиям в связи с постоянно меняющимися условиями развития техники и технологий.

Применение STEAM-подхода при изучении робототехники отвечает всем запросам и требованиям современной системы образования. Связано это с тем фактом, что в процессе его применения он позволяет развивать у обучающихся как теоретические знания, причем из разных областей науки, так и формировать навыки, необходимые подрастающему поколению для реальной жизни.

Данный подход позволяет объединить в одном уроке научный подход, познакомиться с различными технологиями, освоить различные направления инженерного дела, применить знания по математике и даже по искусству и в процессе создания модели роботов, а также при их программировании [2].

В.В. Артемьев отмечает, что STEAM-подход опирается как на системные технические знания и умения обучающихся, так и на гибкость, креативность их мышления, понимания законов красоты и гармонии. По сути дела, такой подход является реализацией межпредметных и внутрипредметных связей в процессе освоения обучающимися робототехники. STEAM-обучение направлено на формирование и развитие у обучающихся инженерных компетенций, критического мышления, умения работать как индивидуально, так и в команде, осуществлять проектную деятельность. Это позволяет организовать занятия по образовательной робототехнике для обучающихся разных возрастов как интересное и увлекательное исследование различных сторон жизни человека [1].

Основными принципами STEAM-подхода, по мнению Д.А.Масловой можно считать опору на:

– проектное обучение, при котором ребятам предлагается выполнить конкретные проекты по придумыванию и сборке роботов. Это стимулирует развитие у них навыков инженерного мышления;

– проблемный подход, при котором ребята решают реальные задачи, находят различные пути их решения;

– сотрудничество с другими обучающимися, что позволяет развить у них коммуникативные навыки, а также сформировать лидерские качества [3].

STEAM-подход в обучении робототехнике обладает богатыми возможностями. Рассмотрим их подробнее:

– интеграция различных дисциплин. При создании роботов обучающиеся должны учитывать физические законы, особенно при создании механики роботов; уметь точно производить расчеты, то есть, важна математическая составляющая; уметь программировать, то есть, иметь познания в информатике, понимать алгоритмы действий при решении тех или иных задач; опираться на знания искусства, ведь важно, чтобы представленная модель робота была эстетичной, имела определенный дизайн;

– создание собственного проекта предложенной конструкции. Это означает, что ребенок сам, или же с помощью взрослого проектирует предложенную конструкцию. Он может ошибаться, искать собственные пути ее создания, программирования. В результате этой работы он на практике применяет имеющиеся у него знания, восполняет проблемы в них, учится опираться на свои умения и навыки;

– развитие таких видов мышления, как критическое (анализ полученных результатов, поиск альтернативных путей достижения поставленных целей) и творческое (применение в своих конструкциях новых узлов, соединений, создание конструкций необычной геометрии и т.д.);

– развитие инженерных навыков в процессе ранней профориентации. Современные робототехнические конструкторы позволяют обучающимся осваивать не только робототехнику, но и мехатронику, создание 3D-моделей. Это позволяет ребятам достаточно рано понять, в каком направлении они хотели бы получить профессиональное образование;

– эффективная социализация. Выполняя проекты совместно с другими обучающимися, ребята учатся общаться, сотрудничать, отстаивать свою точку зрения. Они заводят не просто друзей, а единомышленников, что в последующем помогает им состояться как профессионалам [4].

Рассмотрим применение STEAM-подхода при создании робототехнической конструкции «Гоночный болид».

Готовые модели представлены на рис. 1.

В зависимости от возраста ребенка, года обучения, а также применяемого конструктора модели болидов могут иметь разный дизайн. То есть, задание по созданию таких моделей обучающимся можно предлагать периодически, постепенно усложняя их.

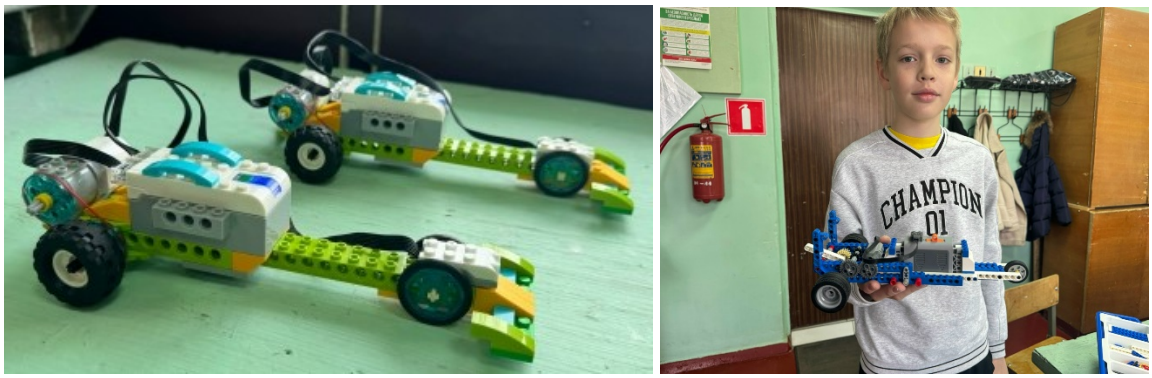


Рис.1. Модели робототехнической конструкции «Гоночный болид»

Кроме дизайна болида при его создании ребята получили следующие знания:

– наука в целом: понятие о различных методах исследования – наблюдении, эксперименте, анализе;

– физика: понятие о том, что такое движение, как действует в механизмах зубчатая передача, в какой зависимости находится движущий предмет от времени движения;

– технология: в какой последовательности должно быть собрана конструкция, как подобрать правильное передаточное число в процессе проектирования и испытания модели;

– конструирование: знакомство с коробкой передач, в том числе с тем, для чего необходимы в ней те или иные детали; создание различных конструкций; испытание полученной модели, оценка ее различных характеристик, внесение изменений в действующую модель;

– математика: измерение параметров модели, умение определять погрешность;

– программирование: этот этап различается в зависимости от применяемых робототехнических конструкторов.

В начале реализации проекта происходит актуализация их знаний о том, что какие автомобили можно назвать гоночными болидами, чем они отличаются от тех автомобилей, на которых мы ездим по городу, на каких скоростях происходят соревнования и т.д. Для визуализации темы можно предложить обучающимся просмотреть ролики о гонках и гоночных автомобилях.

С ребятами необходимо обсудить вопрос о том, что для автомобилей важны коробки передач, которые должны быть очень высокотехнологичными. Важен и вопрос о том, что многие новинки, опробованные в ходе гонок, затем применяются в массовом производстве автомобилей.

Далее обучающимся предлагается собрать модель гоночного болида, на примере которого провести изучение того, как на скорость автомобиля влияет смена передачи.

После создания модели гоночного болида ребята проводят измерение его скорости и времени движения на трассе, равной 2 метрам.

Сделав замеры нескольких заездов, они вычисляют среднюю скорость своих болидов.

Далее, изменяя положение коробки передач, обучающиеся учатся рассчитывать передаточное число. Результаты своих измерений и вычислений они заносят в таблицу (табл. 1).

Таблица 1

Результаты наблюдений

Положение, в котором находится коробка передач	Передаточное отношение	Время, предположение	Время, факт	Погрешность, в %	Средняя скорость
1.					
2.					

Результаты, полученные в ходе наблюдений, позволяют обучающимся сделать вывод о том, как зависят скорость и время перемещения автомобиля от передаточного отношения.

После проведенной работы можно предложить ребятам изменить их модель в зависимости от тех задач, которые перед ней будут поставлены:

– измените зубчатую передачу так, чтобы автомобиль мог взбираться на крутые холмы;

– как вы измените переднее колесо, чтобы автомобиль легко проходил крутые повороты?

– измените задние колеса автомобиля так, чтобы существенно увеличить скорость его движения;

– какие изменения необходимо внести в конструкцию автомобиля, чтобы он хорошо чувствовал себя на наклонных плоскостях?

Такая работа позволяет обучающимся мыслить критически, так как они анализируют тот проблемный вопрос, которые был поставлен перед ними, ищут нестандартные решения этого вопроса, пробуют применить их на практике, фиксируют полученные результаты, на основе которых делают аргументированные выводы. Все это позволяет ребятам осваивать научные методы и подходы на практике, применять свои знания в конкретных условиях.

Таким образом, на конкретном примере мы показали, что STEM-подход при изучении робототехники делает процесс обучения не только увлекательным. Он становится мотивированным, так как обучающиеся видят те результаты, которые дают их усилия. Реализую робототехнические проекты, обучающиеся учатся ставить перед собой цели деятельности, разбивать их на конкретные задачи, составлять план своей деятельности. Они готовы к решению возникающих проблем, причем нестандартными, креативными способами.

STEAM-подход в робототехнике позволяет активно готовить обучающихся к выбору профессий, связанных с наукой и техникой, в которых будут востребованы сформированные у них знания, умения и навыки из различных областей знания.

Таким образом, можно говорить о том, что STEAM-подход в целом, и в робототехнике в частности, является перспективным для подготовки обучающихся к их будущей профессиональной деятельности. Он основан на интеграции научных знаний, инженерии, применении различных технологий, а также математики, программировании и искусства при реализации различных инженерных проектов.

Библиографический список

1. **Артемьев, В.В**. Использование робототехнических конструкторов на основе STEAM-образования при формировании инженерных компетенций учащихся / В.В.Артемьев // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. – №20. – 2024. – С.121-129.
2. **Джамалдинова, М.Б.** STEAM - образование и перспективы его развития / М.Б.Джамалдинова // Экономика и социум. – 11-1 (90). – 2021. – 946-949.
3. **Маслова, Д.А.** Робототехника как основа формирования инженерного мышления / Д.А.Маслова // Социально-экономические и технические проблемы оборонно-промышленного комплекса России: история, реальность, инновации. Сборник статей по материалам IX Всероссийской научно-практической конференции. – Нижний Новгород, 2023. – С. 106-112.
4. **Маслова, Д. А.** Формирование технических навыков на занятиях по робототехнике / Д. А. Маслова // Промышленность и наука: синергия устойчивого роста: Сборник статей по материалам XI Всероссийской научно-практической конференции, Арзамас, 15–16 апреля 2025 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2025. – С. 125-128. – EDN EENQXI
5. Путин призвал развивать отечественную инженерную школу. [Электронный ресурс] // Интерфакс. 18.07.2022 – URL: https://www.interfax.ru/russia/852757 (дата обращения: 10.03.2026).

СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОГО ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ ПО ФИЗИКЕ: ТЕОРИЯ, ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ И ПРОВЕРКА ЗНАНИЙ

Е.Н. Мякишева, О.В. Гришина
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье представлен электронный образовательный ресурс по теме «Механические колебания». В нем собраны структурированные теоретические материалы, интерактивные тесты и задания для проверки знаний. В электронном ресурсе также представлены четыре виртуальные лабораторные работы, которые не просто показывают моделирование реальных экспериментов, но и автоматически обрабатывают полученные данные, рассчитывают ключевые параметры колебаний. Чтобы материал усваивался лучше, в комплексе есть примеры решений задач и упражнения для самостоятельной работы.

Ключевые слова: механические колебания, виртуальные лабораторные работы, теоретические материалы, тесты для проверки знаний, примеры решений задач, задания для самостоятельного решения, электронный образовательный ресурс, математический маятник, крутильные колебания.

Получение качественного высшего образования очень важно как для развития современного человека, так и общества в целом. Оно формирует критическое мышление, открывает возможности для инноваций в быстро меняющемся информационном мире. Физика, как одна из самых важных дисциплин в технических вузах, занимает особую роль в этом процессе**.** Без знания этой науки нельзя представить строительство высотных зданий, развитие промышленности, радио, телевидения и других информационных коммуникаций. Разрабатывать медицинское оборудование было бы тоже невозможно без знания физики. Без этой науки не были бы так сильно развиты интернет и сотовая связь, без функций которых современное общество уже не может обходиться. Физика – фундамент всех современных технологий в нашем мире. Поэтому в технических вузах на усвоение этой дисциплины должно отводиться одно из наибольших количеств аудиторных часов.

Помимо понимания и усвоения теории, изучение этой науки подразумевает умения применять свои знания на практике. Обучающиеся должны уметь решать различные физические задачи. Это требует знания не только формул, но и способность их вывода.

Физика – наука экспериментальная, поэтому при ее изучении очень важно проведение лабораторных работ. С их помощью обучающиеся могут наглядно посмотреть, каким способом была выведена та или иная величина. Однако иногда студенты по тем или иным причинам не посещают занятия. Другие ошибаются в проведении экспериментов. Третьи недостаточно хорошо знают теоретический материал, из-за чего не могут справиться с выполнением заданий. Все это негативно сказывается на качестве освоения учебной дисциплины.

В связи с этим был разработан электронный ресурс для студентов первого курса технических вузов на тему «Механические колебания». Он обладает рядом преимуществ перед лекционными и практическими аудиторными занятиями.

Во-первых, его можно использовать в любое удобное время и в любом месте. Во-вторых, он интерактивен, то есть позволяет несколько раз просматривать теорию, проходить тесты и проводить эксперименты с разными настройками. Кроме того, сайт предлагает обратную связь – автоматическую проверку заданий и предоставление результатов. Предполагается, что такой ресурс поможет дополнить традиционные занятия, компенсируя их недостатки. Это поможет развить у студентов умение работать самостоятельно, критически мыслить и анализировать данные – навыки, важные в современном мире. Данный электронный комплекс может быть использован студентами как очной формы обучения, так и заочной. Может применяться не только на лекционных и практических занятиях в вузах, но и на семинарах и открытых аудиторных занятиях.

Рассмотрим подробно созданный ресурс. На рис. 1 показана титульная страница электронного образовательного ресурса. С нее начинается взаимодействие пользователя с платформой. Далее обучающиеся смогут перейти в интересующийся их раздел. Для этого нужно нажать на вкладку с интересующим материалом.

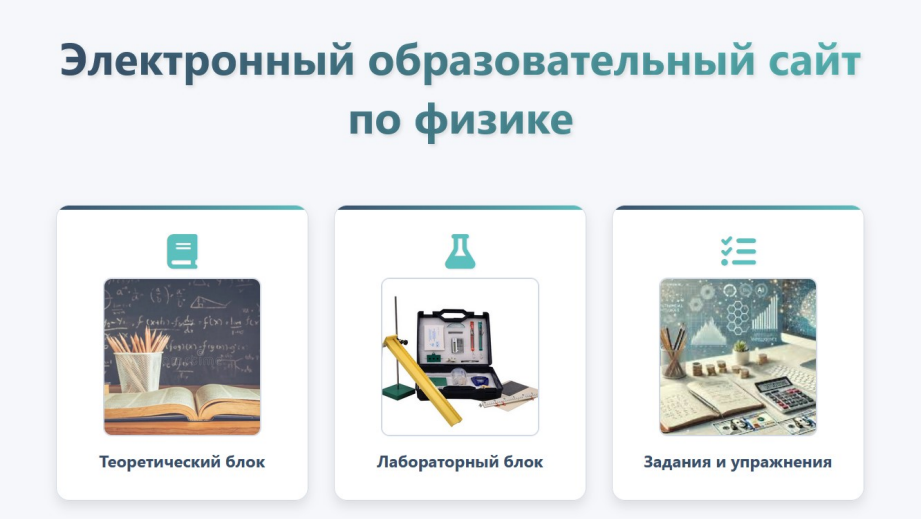


Рис. 1. Главная страница сайта

Теоретический блок построен так, чтобы обучающимся было проще и эффективнее усвоить материал. В нем собраны главные разделы темы «Механические колебания». Каждый из них разделен на части для более результативного изучения и запоминания информации. Теоретический материал представлен в различных форматах. Текстовые объяснения подробно описывают физические концепции и законы (рис. 2).

1.1.4. Основное уравнение динамики гармонических колебаний

Второй закон Ньютона позволяет в общем виде записать связь между силой и ускорением при прямолинейных гармонических колебаниях материальной точки (или тела) с массой m.

Исходя из второго закона Ньютона ($F = ma$) можно записать:

$$F_x = -m\omega_0^2 A\cos(\omega_0 t + \varphi) = -m\omega_0^2 x, \qquad (1.1.11)$$

где F_x – проекция силы на направление x. Из этого выражения следует, что **сила F_x пропорциональна x и всегда направлена к положению равновесия** (поэтому её и называют **возвращающей силой**). Период и фаза силы совпадают с периодом и фазой ускорения.

Примером сил, удовлетворяющих уравнению (1.1.11), являются **упругие силы**. Силы же, имеющие иную природу, но удовлетворяющие (1.1.11), называются **квазиупругими**. Квазиупругая сила

$$F_x = -kx, \qquad (1.1.12)$$

Рис. 2. Выбранный фрагмент из теоретического материала

Схемы и иллюстрации помогают лучше запомнить сложные физические процессы, показывая их наглядно. Таблицы позволяют структурировать информацию. Вывод формул отражает логику получения основных физических уравнений (рис.3).

Запишем второй закон Ньютона для затухающих *прямолинейных* колебаний вдоль оси x:

$$ma_x = -kx - rv_x,$$

где kx – возвращающая сила; rv_x – сила трения. Это уравнение можно переписать:

$$m\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = -kx - r\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}.$$

отсюда следует, что

$$\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} + \frac{r}{m}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} + \frac{k}{m}x = 0.$$

Введем обозначения:

$$\frac{r}{2m} = \beta; \frac{k}{m} = \omega_0^2$$

.

Тогда однородное **дифференциальное уравнение второго порядка, описывающее затухающее колебательное движение,** запишем так:

$$\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} + 2\beta\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} + \omega_0^2 x = 0. \qquad (1.3.1)$$

Решение уравнения (1.3.1) имеет вид (при $\beta \le \omega_0$):

$$x = A_0 e^{-\beta t}\cos(\omega t + \varphi). \qquad (1.3.2)$$

Рис. 3. Фрагмент вывода физического уравнения

После прочтения теоретического материала пользователи могут закрепить свои знания, пройдя итоговый тест на выбранную тему. Каждое тестирование состоит из 12 вопросов с ограниченным на выполнение временем 15 минут. Всего в электронном ресурсе их представлено четыре. Если студенты не успеют пройти тестирование за отведенное на это время, то программа автоматически закрывает его. Будут проверены только те вопросы, на которые пользователи успели дать ответ.

После завершения обучающимся будет представлен подробный отчет о выполнении**.** Они смогут посмотреть, на какие вопросы ответы были даны вер-

но, а на какие нет. Также система автоматически выставит оценку за прохождение тестирования.

Благодаря такому способу проверки, обучающиеся смогут выявить для себя теоретические темы, которые стоит изучить сначала или повторить материал, который был плохо усвоен или забыт. Затем обучающие могут пройти тестирование заново.

Одним из самых главных блоков в электронном образовательном комплексе является лабораторный (рис. 5).



Рис. 5. Лабораторные работы, представленные в электронном ресурсе

С помощью данного блока обучающиеся могут провести эксперимент за компьютером в любое для них удобное время и повторить его несколько раз. При этом если студенты забыли какую-либо информацию или формулы, они могут восполнить свои знания, вновь повторить материал. Доступ к теоретическому блоку неограничен, к нему можно возвращаться столько раз, сколько нужно.

Разберем для примера первую лабораторную работу из приведенных в электронном ресурсе. Здесь четко изложена цель, приведен достаточно полный перечень оборудования. Это позволяет студентам представить практическую сторону исследования. Формула для расчета служит теоретической основой для проведения физического анализа.

Виртуальная установка позволяет изменять параметры (длину нити, количество колебаний, амплитуду) и наблюдать, как это влияет на результат. Предусмотрено пять экспериментов, данные которых автоматически фиксируются в таблицах.

По итогам пользователи получат экспериментальные значения величин и анализ погрешностей (рис.6), что даст возможность им оценить точность измерений. Также это позволит понять обучающимся, насколько точно были сделаны измерения и сравнить полученные результаты с табличными значениями.

Обучающиеся могут несколько раз выполнять одну и ту же лабораторную работу с разными параметрами. Потом делать выводы, как изменения величин влияет на результат.

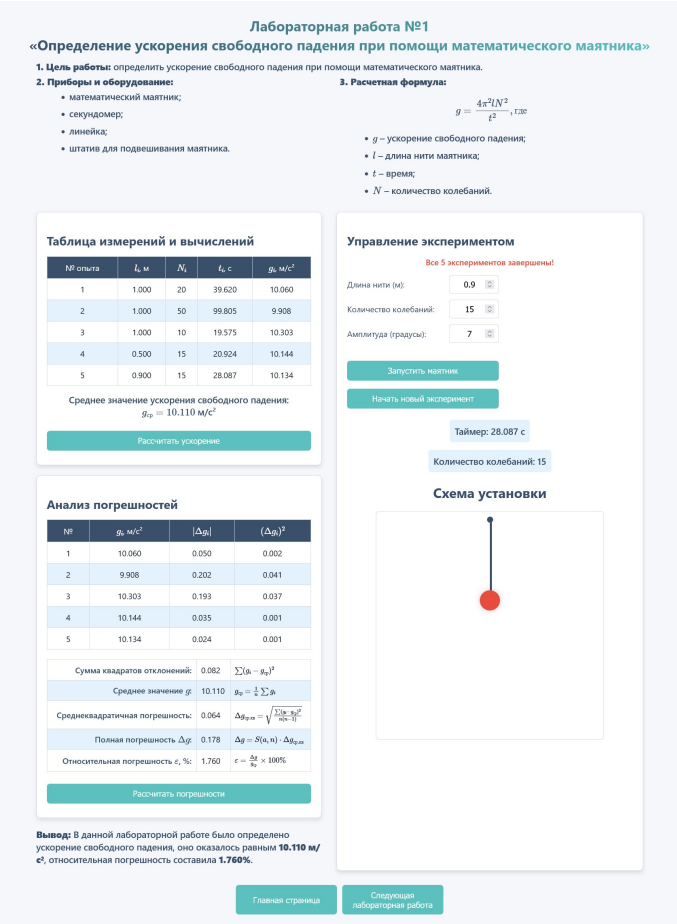


Рис. 6. Выполнение лабораторной работы №1

Последний блок, представленный в созданном электронном ресурсе, посвящен практическим занятиям. Тут представлены подробные решения задач по каждой теоретической теме. В среднем по разделу представлено 5-10 примеров, которые расположены по уровню сложности. Сначала разбираются задачи, в которых нужно лишь применить одну-две формулы и подставить в них исходные данные. Далее уже представлены решения, где требуется изобразить рисунки, схемы, вывести формулу, перевести одну единицу измерения величины в другую.

После разбора примеров, пользователям будет предложено решить задачи самостоятельно. В среднем по каждому разделу представлено по 7-10 заданий. Они также отличаются по уровню сложности. Если в примере решений была вычислена амплитуда, для самостоятельного решения нужно уже будет определить период и т.п.

При создании электронного ресурса также была разработана функция для введения ответа с точностью до нескольких знаков. Когда обучающиеся самостоятельно решат задачу, то они могут проверить, верно они это сделали или нет. Для этого нужно ввести свой ответ в отведенное поле. Система сразу проанализирует результат и выделит его красным, что означает, что введенное число не является решением задачи. Если подчеркивается зеленым, это означает, что обучающийся справился с заданием и его ответ верный (рис. 6).

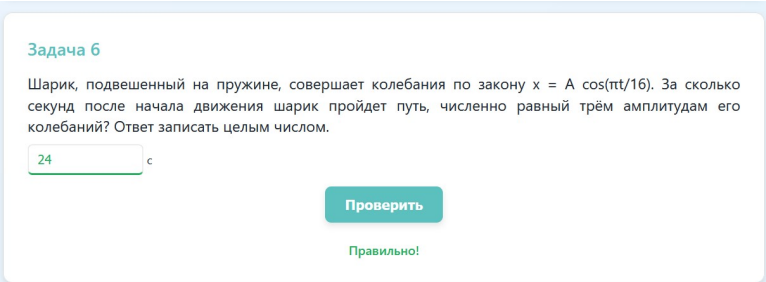


Рис. 7. Задание для самостоятельного решения на тему «Сложение гармонических колебаний»

Для создания данного обучающегося электронного ресурса были использованы современные веб-технологии: CSS, HTML, JavaScript.

CSS применялся для создания дизайна образовательного комплекса: цветовая гамма, размеры шрифтов, расположение элементов, отступы и многое другое. Благодаря этому сайт получился привлекательным и удобным. С помощью HTML была создана вся структура образовательного комплекса. Этот язык разметки является основой для создания электронного ресурса. С использованием JavaScript были созданы все тестирующие программы. Также разработаны лабораторные установки, автоматическое заполнение таблиц и проверка введенных ответов в задачах для самостоятельного решения. С помощью JavaScript также были разработаны различные эффекты и анимации. Для набора всех физических формул и законов использовался язык разметки LaTeX.

В дальнейшем планируется провести апробацию созданного ресурса на студентах первого курса различных специальностей технического вуза. Если данный продукт получит положительную оценку обучающихся, то его планируется расширить и добавить в него новые блоки.

При подготовке электронного образовательного ресурса и его теоретического и практического содержания были использованы источники информации [1-4].

Библиографический список

1. **Пакшина, Н.А.** Введение в компьютерные технологии обучения: учеб. пособие. /Н.А. Пакшина – Нижний Новгород: НГТУ, 2010. – 199 с.
2. Курс физики с примерами решения задач. Ч. II. Электричество и магнетизм. Колебания и волны: учебное пособие / С.И.Кузнецов. – 4-е изд., перераб. доп.; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 370 с.
3. **Сивухин, Д.В.** Общий курс физики: учебное пособие для вузов. В 5 т.– 3-е изд., стер. / Д.В. Сивухин – М.: Физматлит, 2006. – 560 с.
4. **Грушина, Л. П.** Механика. Решение задач: учеб. пособие /Л. П. Грушина, И.Т. Грушин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2015. – 137 с.

TRAINING IN MACHINE TRANSLATION ANALYSIS AND POST-EDITING

***В. П. Полозова*[1], *М.В. Правдина*[2]**
[1]*ФГБОУ ВО Нижегородский ГАТУ, г. Нижний Новгород*
[2]*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт*

The article discusses the issues of training students in the use of computer-aided translation systems and post-editing of machine translation in a technical university. It emphasizes the need to develop critical thinking skills, as well as the ability to analyze and evaluate the outcomes of machine translation.

***Key words**: machine translation, AI-based automated translation systems, post-editing of machine translation*

Engineers and technicians often need to translate texts, instructions and specifications into foreign languages quickly. With AI-based automated translation systems, there is no need to turn to skilled translators who are not only able to translate text from one language to another, but also have a minimum knowledge of the specifics of the material. Finding the optimal way to translate becomes an integral part of the work of engineers, which in turn sets the task of teaching students of technical universities to use all the opportunities that modern technologies provide.

Machine translation (MT) has made it possible to significantly simplify and accelerate the process of translating technical texts. Machine translation systems have become more accessible and efficient, providing engineers and technicians with a new tool for working with foreign technical documentation. The main objectives of such systems are to reduce the time spent on translation and improve the quality of the resulting text.

However, MT is not ideal for every situation - its application depends on the project, its scope and the intended destination of the translated material. Thanks to machine translation (MT) and artificial intelligence (AI), the translation industry is undergoing a profound transformation.

When a machine translation system has not been adapted to a specific field and does not specialize in it, it is usually referred to as "**generic" machine translation**. *Google Translate, Microsoft Translator*, and other free public translation systems belong to this category. Universal machine translation can often be useful for getting the general meaning of a text, but it is prone to grammatical, syntactic, and other errors. Universal machine translation is not suitable for republishing content without significant manual editing.

Since giant companies like *Google* and *Microsoft* offer universal machine translation, many mistakenly believe that the quality of translation is the best possible and the most up-to-date. A universal mechanism is often unable to translate highly specialized content, say, in the field of biological sciences or law, and words related to these specific fields. It cannot determine when to apply the correct definition of a word with two meanings.

A machine translation engine specially designed and adapted for a specific purpose will provide much higher translation quality, and in many cases the translated sentences will require minimal or no editing. Professional translators and businesses should consider using a specialized machine translation solution to ensure high-quality translations.

Analyzing the most often used machine translation systems needs understanding how they work, so let's look at their basic principles and methods.

Google Translate also uses neural networks, including convolutional neural networks (CNNs) and recurrent neural networks. It also utilizes deep learning methods. Google Translate builds its language models based on large amounts of training data, including websites and user translations.

DeepL Translator uses neural networks, specifically recurrent neural networks (RNNs) and long short-term memory (LSTM) neural networks. These networks analyze and translate texts based on context and meaning. DeepL is trained on massive volumes of parallel text in different languages, allowing for more accurate translations.

Yandex Translate also uses neural networks, specifically recurrent neural networks (RNNs) and recurrent neural networks with long short-term memory (LSTM). Yandex Translate is trained on a variety of data sources, including online translations and texts available on Yandex.

All of these services are powered by deep learning and neural networks, which analyze large volumes of text to create high-quality translations. They are constantly updated and improved, making them increasingly accurate and useful for translating technical texts.

The main criterion for assessing quality is the adequacy of the translation. Let's look at the main errors and inaccuracies made during translation by the systems tested.

1. Although the systems correctly apply the grammatical rules of the target language, it is not always possible to restore connections logically and syntactically correctly, especially in complex syntactic constructions. Only *Deepl* was able to successfully coordinate the translation of two homogeneous predicates with the subject in a subordinate clause

Source	**Translation**		
	Deepl	**Google**	**Yandex**
Things get even harder with plug-in hybrids, **which can be recharged** from the mains **and have** a longer electric-only range.	Еще сложнее обстоит дело с подключаемыми гибридами, которые **могут подзаряжаться** от сети **и имеют** больший запас хода только на электротяге.	Ситуация становится еще сложнее с подключаемыми гибридами, которые **можно заряжать от сети и имеют** больший запас хода только на электричестве.	С подключаемыми гибридами все становится еще сложнее, **которые можно подзаряжать от сети и имеют** больший запас хода только на электротяге

2. Selecting the most accurate equivalent, taking into account the specifics of not only the text but also each specific situation, is a complex task that *DeepL* and

Google successfully handle. *Google* and translated the gerund phrase with the verb "capture" literally, thereby inaccurately conveying the specifics of the technical process.

Source	**Translation**		
	Deepl	**Google**	**Yandex**
Hybrids, which have both a petrol engine and an electric motor run by a battery that is recharged by **capturing kinetic energy**…	Гибриды, в которых есть и бензиновый двигатель, и электромотор, работающий от аккумулятора, который заряжается **за счет кинетической энергии** …	Гибриды, которые имеют как бензиновый двигатель, так и электродвигатель, работающий от аккумулятора, который заряжается за счет **улавливания кинетической энергии …**	Гибриды, которые имеют как бензиновый двигатель, так и электромотор, работающий от аккумулятора, который подзаряжается за счет **улавливания кинетической энергии …**

3. Idiomatic expressions and metaphors are generally not typical of technical texts, but authors sometimes resort to them. *DeepL* and *Google* provided an adequate translation of the idiom "on the fly" in this context, while Yandex translated it the way which is not entirely appropriate for a text of this type.

Source	**Translation**		
	Deepl	**Google**	**Yandex**
Cars have long had computerised engine-management that responds **on the fly** to changes in driving conditions.	В автомобилях уже давно используется компьютерная система управления двигателем, которая **оперативно** реагирует на изменения условий движения.	Автомобили уже давно имеют компьютеризированное управление двигателем, которое **оперативно** реагирует на изменения условий движения.	Автомобили уже давно имеют компьютеризированное управление двигателем, которое **на лету** реагирует на изменения условий вождения.

MT is faster and cheaper; however, it is rarely perfect. This is why human post-editing remains non-negotiable for customer-facing content.

Post-editing skills are closely related to the ability to configure and evaluate MT. The difficulty in developing these skills may lie in the fact that currently only large companies can afford MT configuration, so students often limit themselves to comparing MT results from browser-based versions of the most common domestic and foreign free MT systems. However, there is hope that gradually everyone will be able to configure MT. For example, the ability to connect to terminology and trademark databases is already available.

The goal of post-translation analysis is to identify machine translation shortcomings at various linguistic levels. Typically, terms, phraseological units, realia, and abbreviations are incorrectly translated at the lexical level, while complex sentences with multiple subordinate clauses are incorrectly translated at the grammatical (syntactic) level.

To complete this task, practical assignments using online translators are used. Examples of assignments using translation programs might be as follows:

1. Define sentences in which the n program chose the correct meaning of a polysemantic word and sentences in which the program made mistakes in selecting the meaning of a polysemantic word.

2. Translate the text using a dictionary and compare your variant with the machine translation.

3. In the translation made by the program, find grammar mistakes. Explain why this happened.

4. Select 3-5 complex sentences from the text and perform a machine translation and a manual translation. Compare and explain the results.

5. Edit the translation of the authentic text.

LITERATURE

1. **Правдина, М.В.** Анализ систем машинного перевода: оценка качества перевода и исследование их потенциала в практическом применении /М.В. Правдина, В.В. Шергин// XVI Всероссийская научно-практическая конференция «НАУКА МОЛОДЫХ Арзамас, 2023

2. **Котенко, В.В.** Перспективы развития нейронного машинного перевода в контексте концепции открытого образования // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта, 2020. No 4 (182). С. 225-230.

3. **Красильникова, В.Г**. Анализ качества машинного перевода системами Google Translate и Яндекс.Переводчик / В. Г.Красильникова, А.Д. Сафронова. –// Молодой ученый. – 2021. – № 23 (365). – С. 492-494.

4. **Коканова, Е.С.** Когнитивный подход в исследовании постредактирования машинного перевода/ Е.С. Коканова, Н.С. Пак // Когнитивные исследования языка. 2021. № 3(46). С. 346-351.

ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ МЛАДШИХ ПОДРОСТКОВ К ОБУЧЕНИЮ В ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССАХ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

О.А. Субботина[1], Н.Т. Ота[2], И.А. Субботина[3], Д.Т. Ота
[1] Арзамасский гуманитарно-педагогический институт им. А.П. Гайдара (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»
[2]ООО «ДЗЕН.ПЛАТФОРМА», г. Санкт-Петербург,
[3] Арзамасский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»

В статье рассматриваются особенности организации профильного инженерного образования, психологические и возрастные аспекты адаптации школьников к учебной деятельности в среднем звене, а также роль семьи в поддержке учащихся в период перехода к подростковому возрасту. Основное внимание уделено взаимодействию образовательного процесса и возрастной психологии, формированию учебной мотивации и предметного интереса у школьников инженерного профиля.

Ключевые слова: дефицит инженеров, инженерное образование, среднее звено школы, возрастная психология, учебная мотивация, адаптация школьников, профильные классы.

Развитие современной экономики России сталкивается с проблемой недостатка инженерных кадров. По оценкам экспертов «общая потребность в инженерах к 2030 году возрастет до 3,8-4,0 млн человек, что означает необходимость привлечения дополнительно 600-800 тысяч специалистов за ближайшие 5 лет» [3]. Решение данной проблемы требует системного подхода, так как подготовка высококвалифицированных инженеров связана с длительным образовательным процессом и значительными ресурсными затратами.

Современная инженерная школа, обладающая богатым научно-техническим потенциалом, нуждается в совершенствовании системы подготовки будущих специалистов. Особое значение приобретает организация профильного инженерного образования, которая позволяет формировать навыки теоретического и практического мышления, а также устойчивый интерес к инженерным дисциплинам [5].

В инженерных классах уже с пятого класса к учащимся предъявляются повышенные образовательные требования. Они включают не только углубленное изучение дисциплин естественно-научного и математического цикла, но и их практическое применение в форме лабораторных работ, проектной и исследовательской деятельности, участия в научно-технических конкурсах и взаимодействия с высшими учебными заведениями и предприятиями [6]. Подобная организация учебного процесса существенно изменяет характер учебной деятельности школьников и делает переход из начальной школы в среднее звено более сложным. В результате период адаптации учащихся может быть более продолжительным и требовать дополнительного психолого-педагогического сопровождения.

В работах Л. И. Божович отмечается, что в период перехода от младшего школьного возраста к подростковому происходят существенные изменения в характере познавательной деятельности учащихся [1]. Если в начальной школе дети учатся, опираясь на то, что видят и знают из жизни, то в среднем звене образовательный процесс усложняется. Теперь нужно осваивать научные понятия и понимать, как разные вещи связаны между собой. Для этого школьникам приходится учиться мыслить сложнее – не просто запоминать, а анализировать и рассуждать.

По мнению Л. И. Божович, содержание обучения в средних классах существенно отличается от содержания начального образования [1]. Автор отмечает, что «в учебную программу вводятся новые предметы, такие как информатика, физика, химия, алгебра и геометрия, предполагающие освоение абстрактных понятий и установление причинно-следственных связей. В связи с этим школьники сталкиваются с необходимостью перехода от наглядно-образного мышления к более абстрактному и аналитическому способу познания. Исследователь подчеркивает, что усвоение новых знаний связано не только с накоплением информации, но и с преобразованием структуры мышления учащегося. В процессе обучения формируются новые способы интеллектуальной деятельности, изменяются мотивы учебной активности и отношение школьника к знаниям» [1]. Знания начинают восприниматься не как разрозненные сведения, а как взаимосвязанная система научных понятий.

Анализ возрастной динамики познавательных интересов показывает, что при переходе из начальной школы в основную у обучающихся происходят изменения в мотивации к учебе. В младшем школьном возрасте интерес к учебным дисциплинам носит преимущественно общий характер и связан с процессом освоения новых знаний, формированием умений и преодолением учебных трудностей. В этот период учащихся привлекает сам процесс познавательной деятельности и возможность выполнять интеллектуальные действия. Однако к концу четвертого класса постепенно формируется тенденция к более избирательному отношению к различным предметным областям.

Исследования показывают, что у части учащихся в этот период начинает складываться устойчивый интерес к отдельным учебным дисциплинам [5, 6]. Он обусловлен уже не столько общим процессом обучения, сколько спецификой содержания предмета и внутренней логикой научных знаний. Так, интерес к математике у школьников растет, если учащиеся осознают логическую структуру предмета: последовательность операций, связи между разными действиями и закономерности вычислений. Такое понимание структуры учебного материала помогает развивать аналитическое мышление и воспринимать математику как систему взаимосвязанных элементов, а не как набор изолированных фактов.

Таким образом, в подростковом возрасте у школьников меняются и способности к обучению, и интересы. Они начинают понимать, какие школьные предметы им нравятся больше и это первый шаг к выбору будущей профессии, в том числе инженерной. Именно в этот период создаются психологические ус-

ловия для углубления познавательной активности, развития логического мышления и формирования устойчивой учебной мотивации.

Существенный вклад в изучение возрастных особенностей учащихся среднего школьного возраста внес Д.Б. Эльконин. В его работах подчеркивается, что переход к подростковому возрасту сопровождается изменением ведущей деятельности и системы социальных отношений [7]. Если в младшем школьном возрасте ведущей является учебная деятельность, которую организует учитель начальных классов, то в подростковом возрасте большее значение приобретает общение со сверстниками и стремление к самостоятельности. Это не может не сказаться на процессе школьной адаптации, поскольку успешность учебной деятельности во многом начинает зависеть от того, как складываются отношения с одноклассниками. У подростков усиливается стремление к признанию среди сверстников, формируется потребность в самоутверждении и поиске образца для подражания, которым нередко становятся взрослые или более старшие учащиеся.

И. В. Дубровина отмечает, что «адаптация школьников к новым условиям обучения представляет собой сложный психологический процесс, включающий когнитивный, эмоциональный и социальный компоненты» [2]. В период перехода в пятый класс учащиеся сталкиваются с изменением структуры учебного процесса, увеличением количества учителей и усложнением содержания учебного материала. Все это может вызывать временное снижение учебной мотивации, а также повышение уровня тревожности и эмоционального напряжения у части школьников.

Современные исследования в области психологии образования также подчеркивают важность психолого-педагогического сопровождения учащихся в период перехода из начальной школы в основную. Так, Г.А. Цукерман отмечает, что «успешность адаптации пятиклассников во многом определяется сформированностью учебной самостоятельности, способностью к планированию учебной деятельности и развитием навыков рефлексии» [4]. По мнению исследователя, «создание поддерживающей образовательной среды, учитывающей возрастные и индивидуальные особенности учащихся, способствует более успешному преодолению трудностей адаптационного периода».

В период перехода к подростковому возрасту значительные изменения происходят не только в личностном развитии ребенка, но и в системе его семейных отношений. По мере взросления подросток становится психологически сильнее. Из-за этого к нему начинают предъявлять более высокие требования, но при этом признают его самостоятельность и право на собственное мнение. В это время критически важны поддержка семьи и атмосфера доверия между подростком и взрослыми.

Подростковый возраст характеризуется формированием более устойчивых жизненных целей и постепенным развитием ответственного поведения. В процессе развития у детей усиливается чувство долга и формируется способность к устойчивой целенаправленной деятельности. При этом ключевым фактором успешного становления данных качеств выступает наличие эмоциональной поддержки со стороны родителей и других членов семьи. Доброжелатель-

ное отношение, внимание к переживаниям ребенка и готовность взрослых обсуждать возникающие трудности способствуют формированию уверенности в собственных силах и повышают его психологическую устойчивость.

Поддержка семьи играет важную роль в взрослении подростка. Когда родители поручают ему домашние обязанности и прислушиваются к его мнению, он учится быть самостоятельным и ответственным. Подобная практика способствует развитию самостоятельности, ответственности и социальной зрелости подростка, а также облегчает процесс его адаптации к обучению в профильных классах среднего звена школы.

Библиографический список

1. **Божович, Л.И.** Психология развития ребенка / Л.И. Божович. – М.: Просвещение, 1990. – 352 с.
2. **Дубровина, И. В.** Психологическая адаптация школьников / И.В. Дубровина. – СПб.: Речь, 2002. – 140 с.
3. Сколько в России инженеров: исследование рынка технических кадров. - Электронный ресурс // URL: https://sky.pro/wiki/profession/skolko-v-rossii-inzhenerov-issledovanie-rynka-tehnicheskih-kadrov/ (дата обращения: 11.03.2026)
4. **Цукерман, Г. А.** Возрастная психология и образование / Г.А. Цукерман. – М.: Академия, 2010. – 430 с.
5. **Шапошникова, Т.Л.** Инженерные классы – новый аспект предпрофессионального образования (параметры пилотного эксперимента) /Т.Л. Шапошникова, О.Г. Субочев, О.А.Гордиенко // Вектор гуманитарной мысли. - 2024. - № 4. - С. 50-61.
6. **Щербинин, Н.И.** Инженерные классы как элемент инновационного механизма формирования российской промышленности будущего / Н.И. Щербинин, Е.С.Балашова //Актуальные проблемы экономики и управления. - 2023. - № 1 (12). - С. 519-527.
7. **Эльконин, Д. Б.** Психология развития школьника / Д.Б. Эльконин. – М.: Педагогика, 1989. – 554 с.

РАЗВИТИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОМЫШЛЕННОСТИ КРАСНОСУЛИНСКОГО РАЙОНА: ОПЫТ ЛИДЕРОВ («ТЕХНОНИКОЛЬ» И «ГАРДИАН»)

Н.В. Суворова
МБУ ДО ЦДТТ, г. Красный Сулин, Ростовская область

В статье рассмотрены вопросы развития кадрового потенциала промышленных предприятий Красносулинского района Ростовской области. Предприятия проводят большую внутреннюю работу по формированию и развитию кадрового потенциала на основе системы наставничества, непрерывного образования, повышения квалификации. Также внимание уделяется профориентационной работе со школьниками и студентами колледжа.

Ключевые слова: промышленность, кадровый потенциал, непрерывное образование, повышение квалификации, профориентационная работа

Проблема развития кадрового потенциала промышленных предприятий в современных условиях развития России является одной из наиболее актуальных для малых провинциальных городов. Связано это с тем, что сегодня для страны ограничен доступ как к внешним рынкам, так и к технологиям. Для преодоления данной ситуации необходимо системно подходить к подготовке кадров для каждого конкретного предприятия.

А.Д. Жуковский считает, что под кадровым потенциалом можно понимать многокомпонентную систему, имеющую комплексный характер, включающую в себя численное выражение населения того или иного региона или же населенного пункта, уровень образования этого населения, его возрастную структуру, уровень развития профессиональных навыков, а также мотивационный и адаптивный компоненты [1, с. 105].

В Ростовской области одной из развитых в промышленном отношении территорий является Красносулинский район. Он имеет выгодное положение по отношению к другим районам области (отсюда легко добраться как в областной центр, так и другие районы). Здесь располагаются предприятия, которые по праву считаются лидерами отечественной промышленности. Речь идет, например, о заводах группы компаний «Технониколь» («Завод ТЕХНО») [2], а также о предприятии «Гардиан Стекло Ростов» [3]. Продукция данных предприятий пользуется спросом у потребителей. Так, «Завод ТЕХНО» производит до 100 видов каменной ваты, необходимой как при строительстве жилых домов, так и производственных зданий и сооружений, в том числе, и в атомной отрасли. Предприятие «Гардиан Стекло Ростов», расположенное в городе Красный Сулин, является одним из ведущих мировых производителей солнцезащитных стекол, а также энергосберегающих стекол.

Оба завода являются современными производствами, оснащенными не только автоматизированными, но и роботизированными производственными линиями.

При этом оба завода сталкиваются с проблемой дефицита кадров, а потому актуальной задачей для их развития является целенаправленной проведение

политики по развитию кадрового потенциала. Этот вопрос напрямую влияет на развитие конкурентоспособности как района, так и всей области в целом.

Необходимо отметить тот факт, что оба завода имеют высокие требования к знаниям сотрудников в вопросах физики, химии, автоматизации производственных процессов.

Рассмотрим основные направления кадровой политики данных предприятий.

Так, компания «Технониколь» в целом (и «Завод ТЕХНО» в частности), разработала и ввела для своих сотрудников систему непрерывного обучения, постоянного повышения квалификации, освоения новых или же смежных специальностей, приобретения управленческих навыков. Компания внедряет систему бережливого производства, а потому постоянное развитие каждого работника позволяет им осуществлять карьерный рост, занимать различные должности как внутри конкретных производств, так и внутри компании в целом. По сути дела, в компании придерживаются принципа «внутреннего лифта», когда каждый новый сотрудник, начиная от выпускника колледжа, постоянно работая над повышением своих компетенций, может достаточно высоко подняться по карьерной лестнице [2].

Предприятие «Гардиан Стекло Ростов» также проводит взвешенную кадровую политику. Она связана, в том числе, с тем, что на заводе приняты международные стандарты качества продукции, то есть, для их выполнения работники должны иметь достаточно высокую квалификацию. На заводе выпускают разные виды листового стекла. Это продукт очень хрупкий, при этом его производство является высокотехнологичным. Обращение с ним в процессе производства требует от сотрудников ювелирной точности движений.

На заводе «Гардиан Стекло Ростов» для развития кадрового потенциала выбрана система наставничества. Она основывается на том, что опытные мастера передают свой уникальный опыт производственной деятельности молодым специалистам. Это помогает им не только освоить основные производственные операции, но и существенно повысить свой профессиональный уровень, что отражается на росте их заработной платы. Именно этот фактор становится решающим для процесса удержания молодых работников на предприятия, так как он позволяет предотвратить утечку молодых специалистов и их переезд в крупные города [3].

Оба рассматриваемых предприятия проводят целенаправленную работу по ранней профилизации молодежи. По их инициативе в Красносулинском колледже промышленных технологий идет активное внедрение элементов системы дуального профессионального образования. Предприятия являются промышленными партнерами колледжа. На них организованы площадки для прохождения студентами различных видов практик.

Основными направлениями развития кадрового потенциала в Красносулинском районе Ростовской области сегодня являются:

- профориентационная работа со школьниками и студентами колледжа. Для них организованы тематические экскурсии на предприятия, в результате

которых у молодежи формируется правильное представление о современном производстве: чистом, технологичном, цифровом. Молодежь задумывается над тем, чтобы получить престижную высокооплачиваемую профессию;

- целевое обучение. Предприятия, в соответствии с государственной политикой, имеют возможность сформировать запрос на обучение студентов колледжей и вузов по определенным специальностям и направлениям подготовки. Гарантией являются социальный пакет и обязательное трудоустройство выпускников профессиональных учебных заведений;

- удержание молодых специалистов. Предприятия гарантируют работникам достойный уровень заработной платы, предоставляют различные социальные гарантии (например, расширенное медицинское страхование, создание для работников комфортных условий труда и отдыха). Эти факторы способствуют закреплению молодежи на предприятиях, расположенных в Красносулинском районе.

Подводя итог, отметим, что положительный опыт промышленных предприятий Красносулинского района по развитию кадрового потенциала позволяет им осуществлять долгосрочное планирование своей деятельности. Рассмотренные направления деятельности предприятий в данном направлении показывают, что для того, чтобы наша страна сохранила промышленный суверенитет, необходимо создавать для работников условия комфортной трудовой деятельности, а также постоянно стимулировать их профессиональный рост. Создание и сохранение рабочих мест позволяет предприятиям развиваться стабильно, планировать свою деятельность далеко вперед

Библиографический список

1. **Жуковский, А.Д.** Кадровый потенциал сельских территорий и малых городов Центральной России: анализ и сценарии развития / А.Д. Жуковский, Н. И. Киселева, И. А. Владимиров. // АПК: Экономика, управление. – 2024. – № 9. – (Управление и кадровое обеспечение). – С. 105-118.
2. «Завод ТЕХНО», Красный Сулин // Режим доступа: https://www.tn.ru/about/o_tehnonicol/industry/proizvodstvo-kamennoy-vaty/zavod-tekhno-krasnyy-sulin/?ysclid=mo4qaa57bb929796003 (дата обращения: 25 февраля 2026 года)
3. **Сыроваткина, Л.** Первые 20 тонн стекла завода «Гардиан» пошли в г.Ростов-на-Дону /Л.Сыроваткина // Красносулинский вестник – 2012. – 27 декабря (№ 100). – С.3.

ПРИМЕНЕНИЕ УПРАЖНЕНИЙ КОМПЛЕКСА ГТО И АТЛЕТИЧЕСКОЙ ГИМНАСТИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ К СИСТЕМАТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Н.А.Тишкина[1], А.В. Шлыков[2]

[1] Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

[2]МБОУ СОШ №1 г. Порхов, Псковская область

В статье анализируется состояние физической подготовленности студентов вузов России и предлагаются инновационные подходы к физическому воспитанию на основе атлетической гимнастики и комплекса ГТО. Проведенные исследования показывают снижение базовых качеств здоровья школьников и уровня их мотивации к занятиям физической культурой и спортом. Авторы обосновывают внедрение аэробно-анаэробных нагрузок и этажного обучения. Рекомендуются упражнения без отягощений, на снарядах, с гантелями и в группах. Тестирование выявило прирост показателей физической подготовки. Внедрение предложенной системы повысит показатели здоровья студентов, их мотивацию к здоровому образу жизни, работоспособность, активность и способность к выполнению комплекса ГТО.

Ключевые слова: физическое воспитание, студенты, ГТО, атлетическая гимнастика, мотивация.

Физическая культура как неотъемлемая часть образовательного процесса существенно влияет на профессиональную подготовку студентов. Систематические занятия спортом и физическими упражнениями повышают общую физическую и психическую активность обучающихся, что напрямую повышает эффективность усвоения учебного материала. В результате у студентов повышается мотивация, улучшается память и способность к аналитическому мышлению. Это особенно актуально для освоения профессиональных инженерных дисциплин, где требуется глубокое понимание сложных концепций и решение практических задач. Таким образом, интеграция физической культуры в образовательный процесс не только влияет на здоровье и активность студентов, но и формирует устойчивые профессиональные компетенции, повышая общую усвояемость материала профессиональных дисциплин. В этой связи постановка вопроса о разработке новых подходов к проведению занятий физической культурой и спортом в вузах чрезвычайно важна.

Недавние педагогические исследования выявили тревожные тенденции среди студенческой молодежи: снижение базовых физических качеств, общей и профессионально-прикладной подготовки, а также низкую мотивацию к занятиям спортом. По данным Минздравсоцразвития России, лишь 14% старшеклассников здоровы, а у 60% учащихся есть отклонения в здоровье. До 65% студентов не занимаются физкультурой систематически [1].

Исследования ВНИИФК показывают, что в физкультурную активность вовлечено всего 10% населения, 20% занимаются эпизодически, столько же

проявляют пассивный интерес, а 50% равнодушны [2, 3]. Анализ подготовки студентов 18-24 лет классифицирует физкультурную активность как «низкую»: 60-90% первокурсников не сдают нормы ГТО [3, 4].

Приведенная статистика показывает, что требуются новые подходы к реализации физической подготовки молодежи, современные технологии преподавания физкультуры и спорта и обновленные программы физического воспитания, в том числе в технических вузах.

Одним из важнейших шагов в этом направлении на государственном уровне стал Указ Президента РФ № 172 от 24 марта 2014 года, в соответствии с которым для развития потенциала и здоровья обучающихся с 1 сентября 2014 года введено ГТО как основа физического воспитания. Это решение направлено на популяризацию ценностей здорового образа жизни и повышение здоровья населения.

Однако этого явно недостаточно. Физическое воспитание в вузах – обязательная гуманитарная дисциплина, но ее содержание устарело: акцент на общей подготовке и традиционных методах не учитывает мотивацию студентов, делая занятия монотонными [5, 6]. Как отмечает М.И. Кабышева «причина в несовершенстве программ, технологий и игнорировании интересов студентов» [7].

Что касается интересов студентов, то опрос 52 обучающихся выявил следующие предпочтения: атлетическая гимнастика – 63,5%, игры – 14%, общая подготовка – 22,5%. При этом молодые люди демонстрировали такие мотивы: коррекция фигуры (48,3%), рост уровня физической подготовки (35,8%), общее оздоровление организма (36,7%), рост уверенности в обществе (40,8%), положительные результаты (12,5%).

Таким образом, задача обновления занятий для укрепления здоровья, роста уровня физической подготовки, мотивации и сдачи норм ГТО является крайте актуальной. Исследования В.В. Вавилова подтверждают: «рациональное сочетание аэробных/анаэробных нагрузок и ГТО повышает здоровье, работоспособность и мотивацию» [5].

Рекомендации. Выявленные проблемы предполагается решить путем внедрения инноваций в организацию физкультурно-спортивной деятельности студентов вузов, акцентируя внимание на развитие атлетической подготовки (анаэробная направленность), а также программы комплекса «Готов к труду и обороне». Регулярные занятия атлетической гимнастикой способствуют развитию силы мышц, укреплению костно-мышечной системы, повышению уровня общей физической подготовленности, формированию волевых качеств, работоспособности и заинтересованности студентов в выполнении нормативов ГТО.

Предлагаемый подход предусматривает разделение учебного процесса на два этапа: первый – базовая физическая подготовка учащихся, второй – целенаправленное формирование специфических физических способностей. Для реализации первого этапа рекомендуется использование различных видов тренировок без дополнительного веса: подтягивания, отжимания, упражнения на перекладине и брусьях, работа с мячами и резиновыми амортизаторами, комбинированные тренировки с применением гирь и гантелей. Эффективность предложенных мероприятий значительно повысится при проведении занятий в кол-

лективной форме, поскольку взаимодействие между участниками способствует улучшению результатов за счет преодоления соревновательного духа и взаимной поддержки партнеров.

Тестирование подобной системы показывает ее неоспоримые преимущества: прирост в беге 1000 м – 5,9%, челночном – 5,5%, подтягиваниях – 29,2%, отжиманиях – 28,1%, подъемах туловища – 23,4%, прыжках – 8,3%. При этом значительно растет общий уровень физической подготовки: доля обучающихся, демонстрирующих низкий уровень сократилась до 13,1%, удовлетворительный – 20,6%, хороший уровень подготовки показывают 16,2%, отличный – 17,5%.

Таким образом, приоритет атлетики и ГТО повышает функциональные физические показатели, уровень развития двигательных навыков, оптимизирует нагрузки, готовит студентов к сдаче норм ГТО, и в целом развивает стремление к здоровому образу жизни.

Выводы. Подводя итоги проведенного исследования, отметим ключевые положения, подтверждающие важную роль физической культуры в образовательной среде высших учебных заведений, особенно технического профиля.

Регулярное участие в спортивной деятельности является основой формирования академического потенциала студентов. Оно оказывает положительное влияние на уровень физического здоровья и психологический настрой, стимулирует познавательную активность, укрепляя память и способности к анализу. Все это непосредственно влияет на успешное освоение сложнейших инженерно-технических предметов и формирует прочные профессионально значимые умения и знания.

Предлагаемое решение – интеграция атлетической гимнастики (анаэробные нагрузки) и комплекса ГТО в разделенные этапы: начальный (общая подготовка) и специальные (сила, выносливость). Упражнения включают отжимания, подтягивания, работу с гантелями и групповые занятия для повышения вовлеченности.

Рекомендации для практики:

- обновление программы физвоспитания с учетом ГТО и интересов студентов;
- внедрение комбинированных нагрузок для баланса аэробных и анаэробных эффектов;
- проведение групповых занятий для преодоления пассивности.

В итоге приоритет атлетики и ГТО не только укрепит здоровье и подготовку, но и повысит академическую успеваемость, мотивируя к здоровому образу жизни.

Библиографический список

1. Стратегия развития физической культуры и спорта в РФ на период до 2020 года [Электронный ресурс]. URL: Распоряжение Правительства РФ от 07.08.2009 N 1101-р об утверждении Стратегии развития физической культуры и спорта в РФ на период до 2020 г. | ГАРАНТ

2. **Булгакова, О.В.** Интегративная методика подготовки студенток технического вуза к выполнению норм ВФСК «Готов к труду и обороне» (ГТО): автореф. дис. канд. пед. наук / О.В. Булгакова. Красноярск, 2020. – 21 с.
3. **Серова, Т.В.** Методика физической подготовки студенток высших учебных заведений к выполнению норм комплекса ГТО с использованием средств оздоровительной аэробики: автореф. дис. канд. пед. наук / Т.В. Серова. СПб, 2019. – 23 с.
4. **Егорычев, А.О.** Анализ показателей, определяющих готовность студентов к выполнению норм комплекса ГТО / А.О. Егорычев, С.П. Мещеряков, М.А. Кузьмин // Культура физическая и здоровье. – 2016. –№ 4. – С. 61-65.
5. **Вавилов, В.В.** Направленность занятий атлетической гимнастикой мужчин II зрелого возраста на подготовку к сдаче ГТО: автореф. дис. канд. пед. наук /В.В.Вавилов. Набережные Челны, 2015. – 23 с.
6. **Губернаторов, А.А.** Методика оздоровительной физической культуры со студентами высшего учебного заведения на основе использования атлетической гимнастики и тренажеров: автореф. дис. канд. пед. наук /А.А. Губернаторов. Тула, 2010. – 22 с.
7. **Кабышева, М.И.** О внедрении комплекса «Готов к труду и обороне» на кафедре физического воспитания ОГУ / М.И. Кабышева, Т.А. Глазина, О.В. Подкопаева // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 7 (182). – С. 105-110.

ЭЛЕКТРОННОЕ СРЕДСТВО ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ»

Л.Е. Тютерева
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

Статья посвящена разработке и проектированию электронного средства обучения по дисциплине «Теория управления». В данной программе были сгруппированы и изложены основные теоретические моменты курса и добавлены элементы самопроверки. Разработанное средство обучения призвано увеличить эффективность изучения дисциплины и ознакомить с достижениями ученых в представленной науке.

Ключевые слова: электронные средства обучения, теория управления, самопроверка.

В последние десятилетия на фоне развития компьютерных технологий заметно увеличилась тенденция к созданию электронных учебников и образовательных курс, поскольку они позволяют быстро обновлять информацию, получать образование в любых местах, изучать темы в комфортном для пользователей темпе [1].

Автору статьи поставлена задача на разработку современного электронного средства обучения по дисциплине «Теория управления» с созданием тестов самопроверки после каждого изученного теоретического блока. Материал для глав должен быть основан на базе лекционного курса, который читает профессор П. В. Пакшин, традиционных методических материалах и разделен на темы и параграфы. Необходимо обеспечить возможность комфортной навигации по электронному пособию.

На основе полученного задания был изучен теоретический материал, сгруппирован по темам и выделены ключевые моменты, разработаны вопросы по каждому параграфу. В итоге было выделено 50 параграфов, которые были разделены на 7 тем, и соответственно 50 тестов самопроверки по каждой лекции.

Главная страница представляет собой содержание (рис. 1), с заголовком электронного средства обучения, где можно выбрать необходимую теорию и перейти к ней.

При переходе в параграф (рис. 2) пользователя встречает текст лекции, в котором используется особое стилистическое оформление для исторических справок, определений, теорем и свойств. Навигация по параграфу осуществляется с помощью кнопок «Лекция» и «Текст», расположенных справа от теоретического материала. Они представляют собой якорные ссылки. Список всех тем можно просмотреть, раскрыв «Содержание» в левой части страницы, и перейти на нужную.

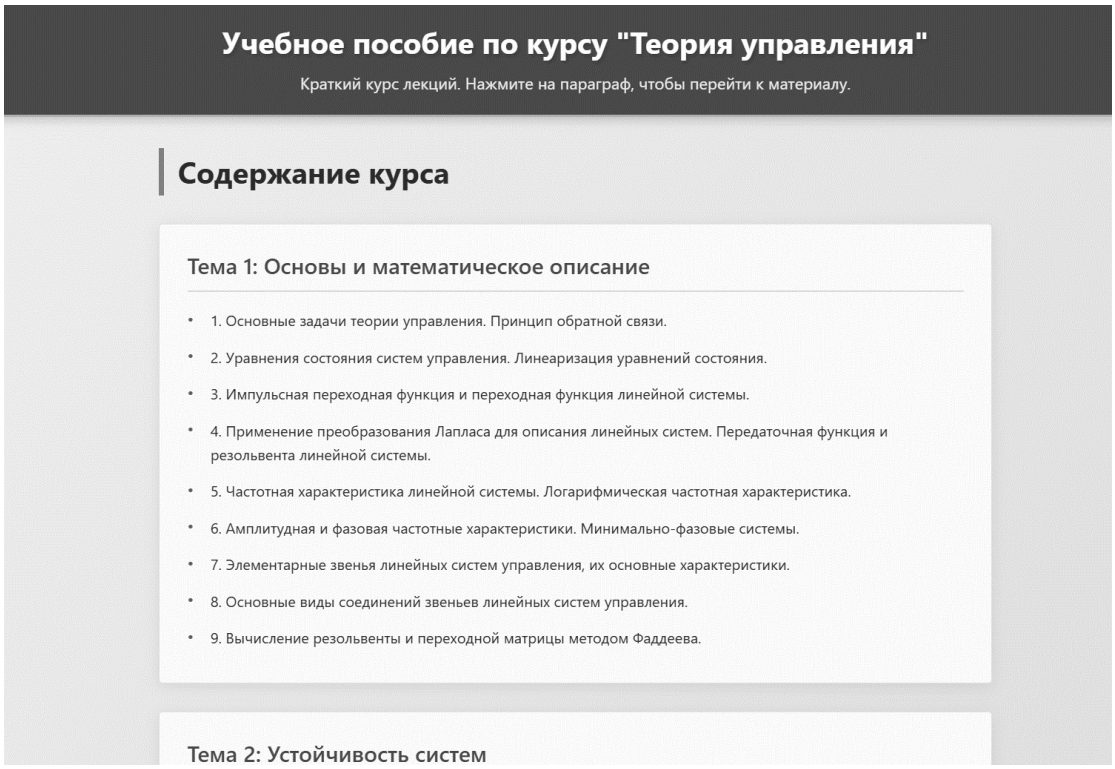


Рис. 1. Главная страница

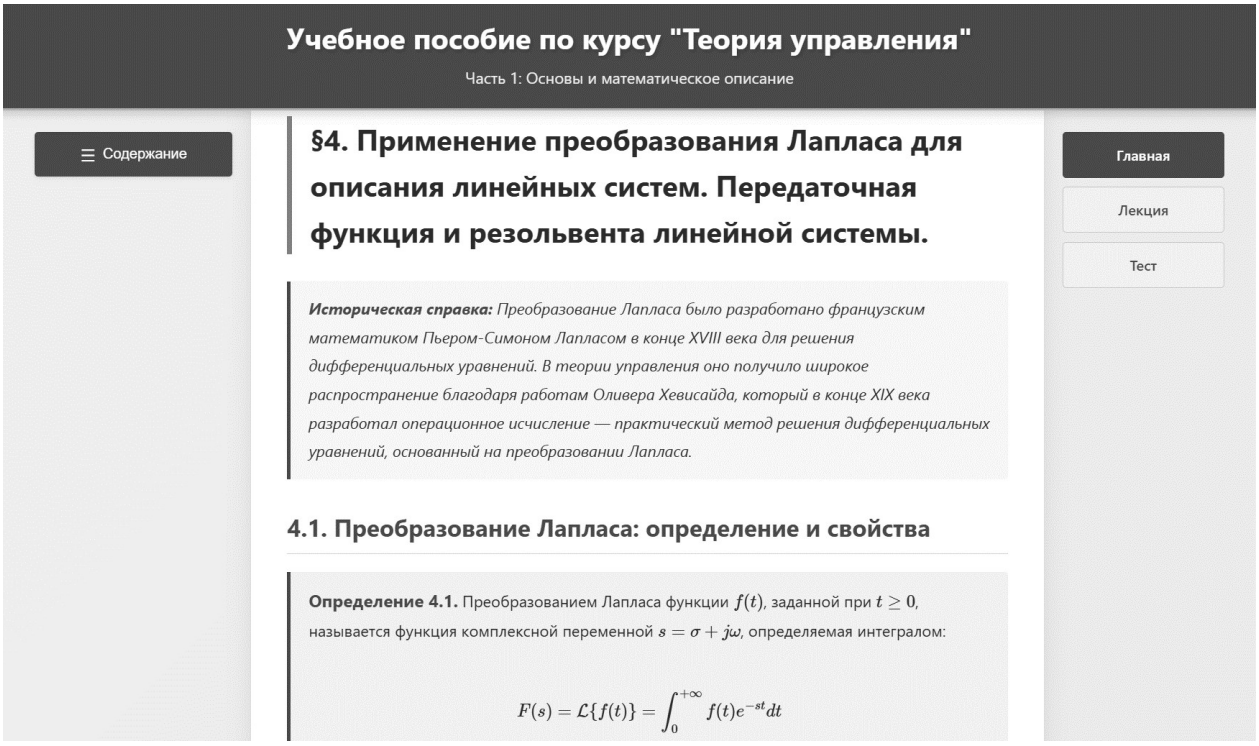


Рис. 2. Пример лекции

Каждый тест самопроверки (рис. 3) расположен под теоретическим материалом. В него включены вопросы по ключевым моментам данной темы. В большинстве тестов используются задания с одним или множественным вариантом ответа на вопрос и тесты на соответствие.

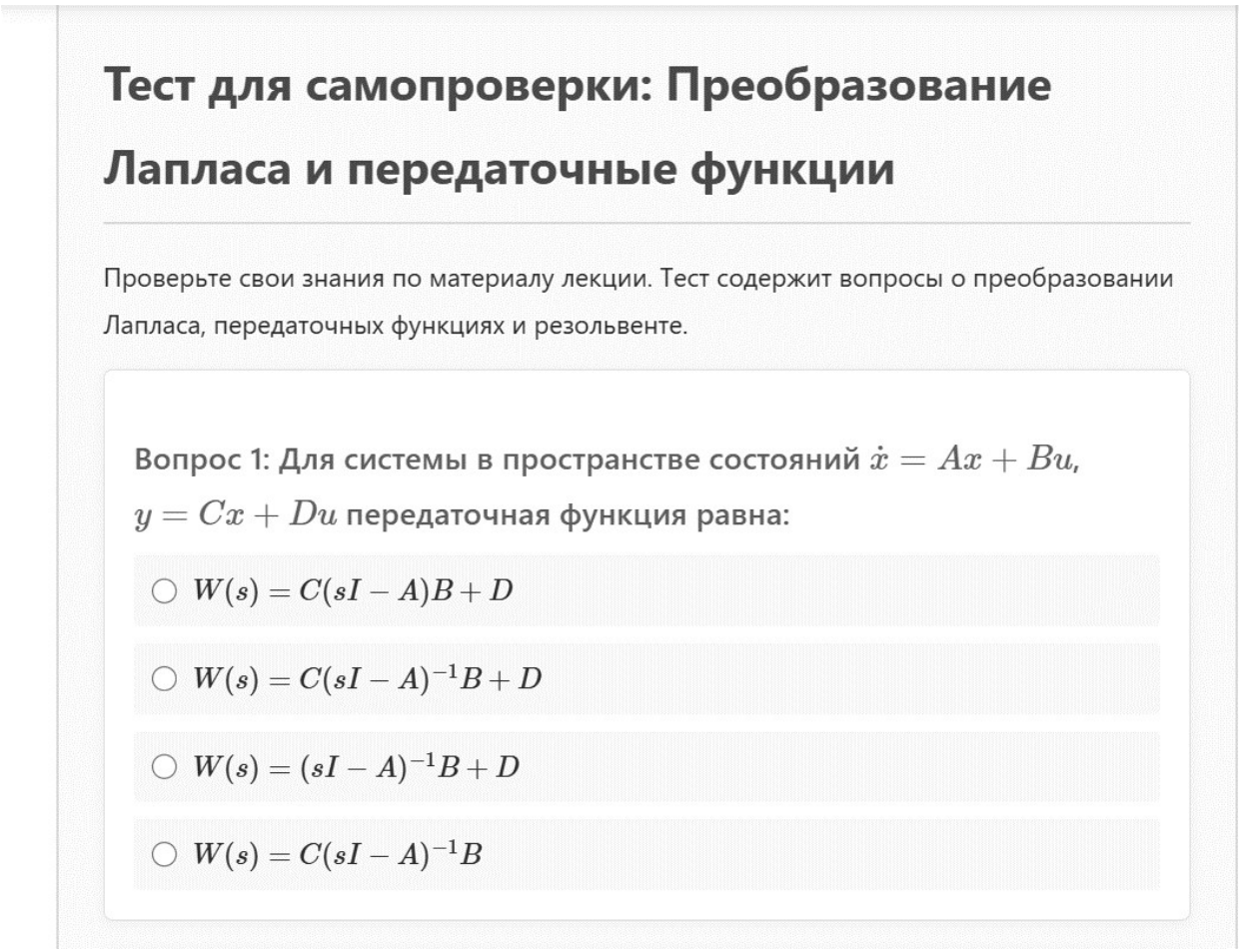


Рис. 3. Тест для самопроверки по лекции

Для того, чтобы пользователь (студент) не запоминал порядок правильных ответов на вопрос, после нажатия на кнопку «Сбросить тест» вопросы перемешиваются и выпадают в новой попытке в случайном порядке. Также после завершения теста и получения результатов в текущем тестировании ответы поменять нельзя.

Результаты теста показывают количество правильно отвеченных вопросов из общего числа заданий. Если ответы на вопросы были правильными – окно с результатами будет зеленого цвет, в противном случае, хотя бы один вопрос неверен – часть с итогами тестирования будет красной.

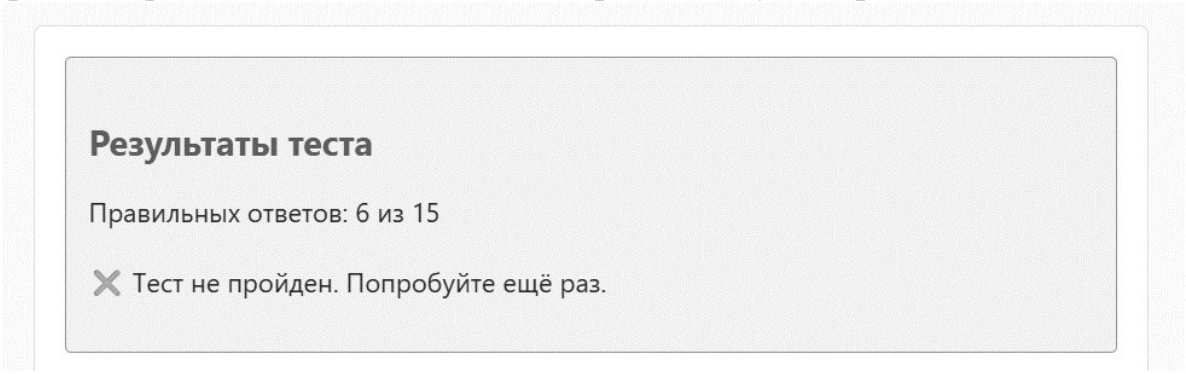


Рис. 4. Вывод результатов тестирования

На стадии закрепления учебного материала каждый пользователь может просмотреть, на какие вопросы он ответил неправильно. Нажав на кнопку «Показать правильный ответ», студент получит не только верный результат, но и пояснение к нему на основе лекции, что должно повысить запоминание ключевой информации и помогать обосновать выбранный ответ.

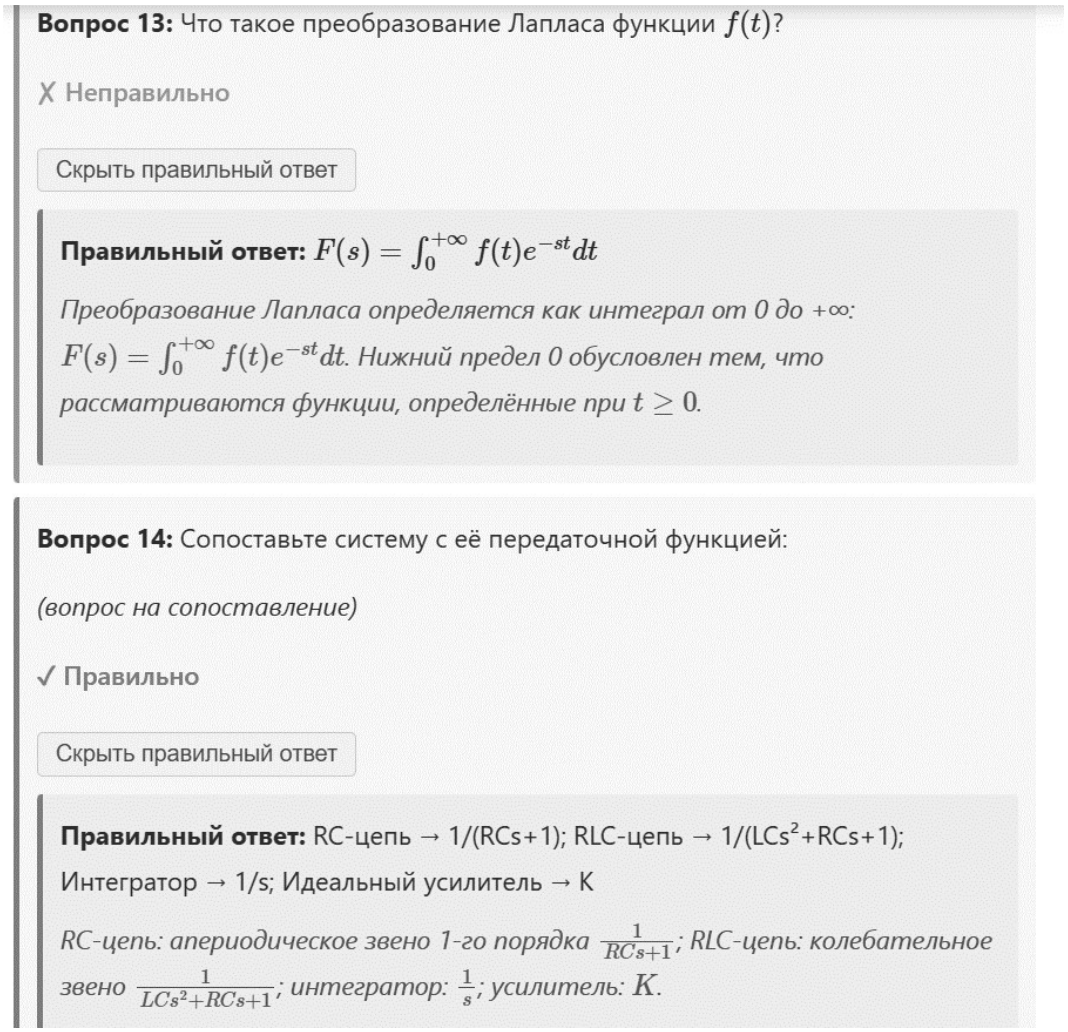


Рис. 5. Отображение результата ответа на вопрос и правильного ответа

Система разработана с использованием языка HTML для создания структуры и разметки, каскадных таблиц стилей CSS, обеспечивающих визуальное оформление, и языка JavaScript для создания интерактивности и динамического поведения, а также с применением LaTex для набора математических формул и уравнений.

При разработке и реализации программного комплекса было отдано предпочтение ненавязчивому и минималистичному дизайну, который не будет отвлекать пользователя и поможет быстро ориентироваться в электронном средстве обучения. Акценты использовались для выделения главных частей теоретического материала и в самопроверке, чтобы наглядно и быстро отразить результаты тестирования [2, с. 19].

Созданное электронное средство обучения было реализовано по запросу кафедры прикладной математики АПИ (филиала) НГТУ им. Р.Е. Алексеева специально для дисциплины «Теория управления».

Таким образом, было разработано электронное средство обучения по дисциплине «Теория управления», включающее в себя 7 тем (50 параграфов), в каждой теоретической части которых были выделены главные моменты и реализованы тесты самопроверки с объяснением правильных ответов, создана интуитивно понятная навигация.

Библиографический список

1. **Пакшина, Н.А.** Введение в компьютерные технологии обучения / Н. А. Пакшина. – Нижний Новгород : НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2011. – 199 с.
2. **Пакшина, Н.А.** Пакшина, Н. А. Учет особенностей цветового восприятия при оформлении электронных средств обучения / Н. А. Пакшина, С. А. Валов, Ю. П. Пакшина // Академический журнал Западной Сибири. – 2010. – № 5-6. – С. 19.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ «ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ»

А.С. Царьков
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

Статья посвящена решению проблемы цифровизации лабораторного практикума по дисциплине «Теория управления». Рассматривается необходимость создания специализированного веб-ресурса, обеспечивающего удобный доступ к учебным материалам и интерактивную проверку знаний. Описывается процесс проектирования и реализации электронного образовательного ресурса, включающего восемь лабораторных работ, систему тестирования и корректное отображение математических выражений. Детализированы архитектурные решения, примененный технологический стек (HTML5, CSS3, JavaScript, MathJax) и педагогические принципы, заложенные в основу ресурса. Приводятся данные об эффективности разработанного комплекса, свидетельствующие о повышении качества усвоения материала и удобстве его использования в учебном процессе.

Ключевые слова: цифровое образование; теория управления; веб-разработка; лабораторный практикум; интерактивное тестирование; MathJax; образовательный ресурс.

Введение

Современные образовательные стандарты требуют от преподавателей поиска новых форм организации учебного процесса, способных обеспечить качественную подготовку специалистов. Особую актуальность эта задача приобретает в инженерных дисциплинах, где важную роль играет лабораторный практикум. Традиционные форматы проведения лабораторных работ не всегда отвечают требованиям доступности и гибкости современного образования [3, с. 35].

Дисциплина «Теория управления» является фундаментальной для подготовки инженеров различных специальностей. Однако существующие методические материалы зачастую представлены в виде статических PDF-документов, что не позволяет студентам оперативно взаимодействовать с контентом, проверять свои знания и получать обратную связь. Особую сложность представляет корректное отображение математических выражений, составляющих основу теоретического материала.

Важно отметить, что современное инженерное образование невозможно представить без практического взаимодействия с реальным оборудованием. Как отмечают А.С. Копосов и М.И. Коновалова, студенты инженерных специальностей должны понимать концепции, которым их обучают, в контексте реальных систем, чтобы полностью их освоить. Они должны изучить фундаментальные основы, используемые в инженерии, а затем быстро и эффективно применить их в практических проектах [2]. Одним из мировых лидеров в производстве робототехники для обучения и инженерных исследований является канадская компания Quanser, оборудование которой (манипулятор Rotary Flexible Link,

платы для NI ELVIS) используется на кафедре «Прикладная математика» АПИ НГТУ и послужило основой для разрабатываемого лабораторного практикума.

Мощным инструментом повышения эффективности обучения признано внедрение специализированных электронных образовательных ресурсов (ЭСО), обеспечивающих наглядность, доступность и интерактивность учебных материалов [4, с. 53]. В данном контексте целью исследования стала разработка и апробация веб-ориентированного образовательного комплекса, объединяющего полный курс лабораторных работ по теории управления с системой автоматизированной проверки знаний.

В рамках работы решались следующие задачи:

1. Провести анализ содержания и структуры лабораторных работ по теории управления, выделить ключевые элементы (теоретические блоки, формулы, графики, контрольные вопросы).
2. Спроектировать архитектуру и пользовательский интерфейс веб-ресурса, обеспечивающего удобную навигацию и доступ к материалам.
3. Выполнить техническую реализацию комплекса с использованием современных веб-технологий (HTML5, CSS3, JavaScript) и средств отображения математических выражений (MathJax).
4. Разработать систему интерактивного тестирования для самопроверки знаний после каждой лабораторной работы.
5. Апробировать разработанный ресурс в учебном процессе и оценить его эффективность.

1. Анализ предметной области и методологические основы проектирования

Современное электронное средство обучения должно представлять собой не просто цифровую копию учебного пособия, а интерактивную среду, обеспечивающую наглядность, адаптивность и практическую направленность [1, с. 20]. При создании практикума учитывались все ключевые требования к современным образовательным ресурсам:

- **правильное отображение математической части**: любая незначительная ошибка в формуле, может привести к непониманию всего раздела;
- **удобная навигация:** понятное разделение на теорию, практические указания и тестовый блок;
- **самостоятельная оценка знаний:** студент имеет возможность проверить свои знания, без участия преподавателя.

В ходе подготовки к разработке были изучены восемь лабораторных работ. Они содержат теоретическую, практическую и экспериментальную части. Такая структура потребовала создания архитектуры ресурса (рис. 1).



Рис. 1. Структура электронного лабораторного практикума по курсу «Теория управления»

2. Процесс разработки и реализации электронного ресурса

Для реализации электронного ресурса выбраны стандартные инструменты веб-разработки – HTML, CSS и JavaScript. Такой подход обеспечивает работу ресурса на любых устройствах с браузером и не требует установки дополнительных программ.

● **HTML5:** применяется для построения семантически верной и доступной структуры пользовательского интерфейса, включая главную страницу со списком работ и страницы каждой лабораторной работы.

● **CSS3:** отвечает за создание адаптивного визуального дизайна, обеспечивающего комфортное отображение на различных устройствах (ПК, планшеты, смартфоны). Реализована современная типографика, стилизация таблиц, изображений и блоков с кодом.

● **JavaScript (ES6+):** является ядром интерактивной части приложения, обеспечивая работу системы тестирования, обработку пользовательских ответов, подсчет результатов и взаимодействие с локальным хранилищем для сохранения прогресса.

● **MathJax:** ключевой компонент для корректного отображения математических формул в формате LaTeX.

Архитектура приложения (рис. 2) реализована по модульному принципу, где функциональность разделена между независимыми компонентами (отображение лабораторных работ, система тестирования, модуль навигации), что повышает сопровождаемость и упрощает дальнейшее расширение системы.

Разработанный ресурс ориентирован на поддержку лабораторных работ с использованием оборудования Quanser, в частности манипулятора Rotary Flexible Link и плат для NI ELVIS – DC Motor Control Trainer и Rotary Inverted Pendulum Trainer. Данные установки, подробно описанные в работе [2], позволяют исследовать различные законы управления, включая управление скоро-

стью двигателя, его положением, а также балансировку неустойчивых объектов. Студенты получают возможность не только осваивать теоретические основы, но и проводить серьезные инженерные исследования на современном оборудовании.

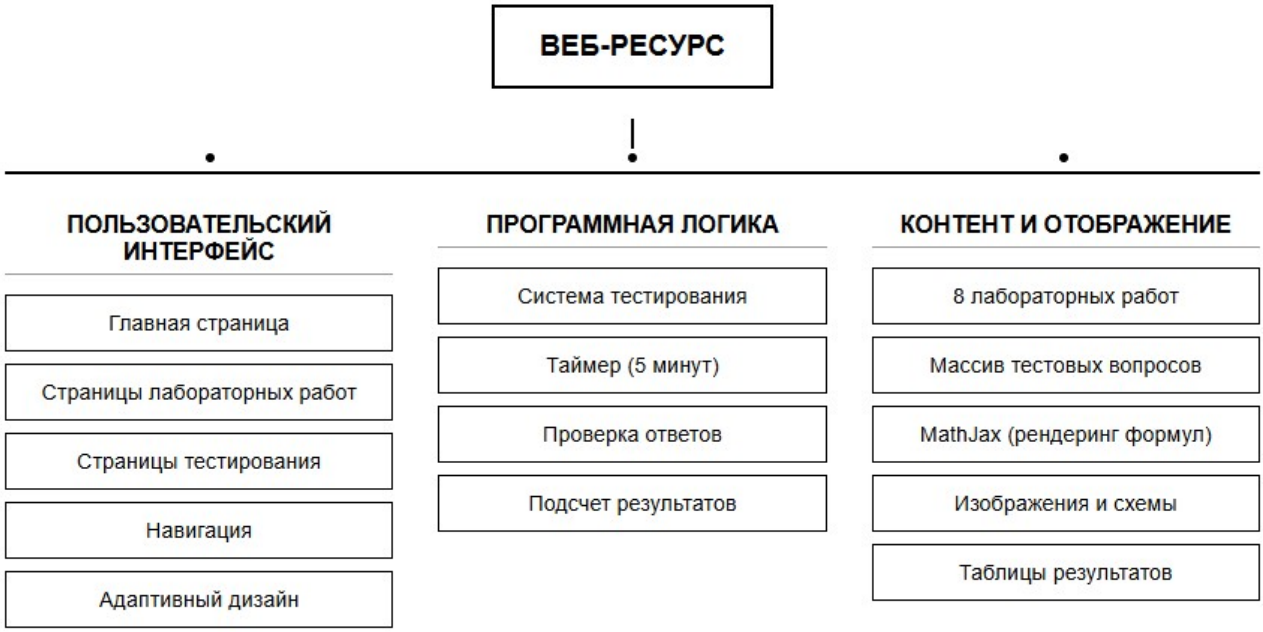


Рис. 2. Архитектура системы

Разработанный ресурс включает следующие ключевые функциональные модули, названные далее.

Модуль навигации и представления лабораторных работ построен на следующих принципах:

- **иерархическая структура:** главная страница содержит полный перечень работ со ссылками, каждая лабораторная работа имеет четкое разделение на подразделы (теория, предварительные задания, эксперимент, результаты);
- **единообразие оформления:** все страницы выполнены в едином стиле с использованием современной цветовой гаммы и типографики, что обеспечивает комфортное восприятие материала;
- **визуализация:** рисунки, схемы и графики приведены в формат, удобный для просмотра на экране.

Для работы с формулами использована библиотека MathJax. Она отображает LaTeX-разметку, сохраняя исходный вид уравнений и их нумерацию. Студент видит формулы точно такими же, как в методичках, и может ссылаться на них по номерам.

Тестовая часть включает несколько типов заданий: выбор правильного ответа, ввод текста, вопросы с изображением схем. После отправки система сразу показывает результат и количество верных ответов. Вопросы подобраны так, чтобы охватить основные ключевые моменты темы – это помогает лучше запомнить материал.

Корректное отображение математических выражений и графических материалов демонстрируется на рис. 3, где представлен интерфейс лабораторной работы «Однозвенный гибкий манипулятор» с формулами, схемой установки и таблицей результатов.

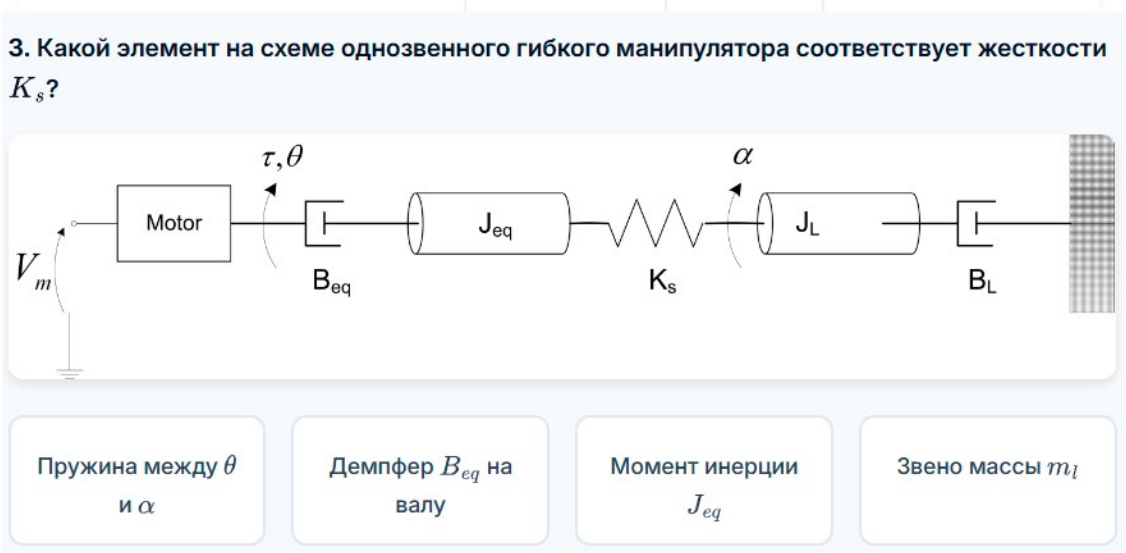


Рис. 3. Интерфейс разработанного веб-ресурса на примере лабораторной работы «Однозвенный гибкий манипулятор»

Модуль тестирования ориентирован на:

- **самопроверку знаний:** после изучения материала студент может пройти тест, состоящий из вопросов различного типа (выбор ответа, ввод текста, работа с изображениями);
- **мгновенную обратную связь:** система автоматически подсчитывает количество правильных ответов и отображает результат;
- **закрепление материала:** вопросы теста охватывают все ключевые аспекты лабораторной работы, способствуя более глубокому усвоению материала [5].

Современное учебное оборудование, такое как установки Quanser, обладает огромным функционалом и способствуют популяризации робототехники среди молодежи [2]. Разработанный веб-ресурс дополняет это оборудование методической поддержкой, обеспечивая единую цифровую среду для подготовки к работе с реальными установками.

Для успешной интеграции разработанного ресурса в образовательный цикл были подготовлены методические рекомендации. Стандартный сценарий занятия продолжительностью 90 минут структурирован следующим образом.

1. Изучение теоретического материала и предварительных заданий (20-25 мин).
2. Выполнение основной части работы (15-20 мин).
3. Анализ полученных данных, заполнение таблиц с результатами (15-20 мин).
4. Оформление отчета (15-20 мин).

5. Прохождение теста для самопроверки (10-15 мин).

Тестовая система устроена так, что результаты видны сразу. Это позволяет студенту самостоятельно оценить, насколько хорошо усвоен материал темы, а преподавателю – понять общую картину по группе.

Заключение

Опыт использования электронного средства обучения показал его полезность в учебном процессе. Студенты быстрее разбираются в материале, меньше времени тратят на поиск нужной информации и формул. Тесты, встроенные в каждую работу, позволяют сразу проверить себя и увидеть, что именно требует повторного изучения.

Наблюдения за учебным процессом показали: интерес к лабораторным работам возрос, студенты стали задавать меньше организационных вопросов, отчеты выглядят более структурированными. По сравнению с традиционными методическими средствами ресурс выигрывает за счет практичности и интерактивности.

Подготовка инженерных кадров сегодня невозможна без развития робототехники в учебных заведениях. Созданный ресурс помогает решать эту задачу – он обеспечивает методическую основу для работы с современным оборудованием и способствует формированию у студентов навыков, востребованных в реальном производстве.

Библиографический список

1. ***Гусев, М.Н.*** Электронное средство обучения «Основы веб-дизайна» на базе игровых и соревновательных элементов / М.Н. Гусев, Д.А. Писаревский // Информационные технологии и прикладная математика: сб. статей участников Всероссийской научно-практической конференции. – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2022. С. 44-48.

2. ***Копосов, А.С.*** Применение робототехники в промышленности и образовании / А. С. Копосов, М. И. Коновалова // Социально-экономические и технические проблемы оборонно-промышленного комплекса: история, реальность, инновации: Межвузовский сборник статей по материалам V Всероссийской научно-практической конференции, Арзамас, 24-25 октября 2018 года. – Арзамас: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. С. 172-176.

3. ***Миронова, С.В.*** О проблемах применения Web-технологий в образовании / С.В. Миронова, С.В. Напалков // Современные Web-технологии в цифровом образовании: значение, возможности, реализация: сборник статей. – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2019. С. 35–49.

4. ***Пакшина, Н.А.*** Исследование целесообразности применения игровых технологий обучения в высшем образовании / Н. А. Пакшина, Ю. П. Емельянова // Информатика и образование. – 2016. – № 2(271). С. 51-53.

5. ***Пакшина, Н.А.*** Опыт проведения аудиторных занятий с использованием геймификации / Н.А. Пакшина, Ю.П. Емельянова, Ю.Ю. Веренкова // Современные Web-технологии в цифровом образовании: значение, возможности, реализация: Сборник статей. – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2019. С. 422-425.

3 СЕКЦИЯ

ИННОВАЦИИ И ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЛОКА РАЗГОНА ДВИГАТЕЛЯ ДИНАМИЧЕСКИ НАСТРАИВАЕМОГО ГИРОСКОПА УНИФИЦИРОВАННОГО. АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПУЛЬТА ПРОВЕРКИ

Р.А. Бугаенко
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье приведены схемотехнический принцип подключения блока разгона и алгоритм проверки правильности функционирования БР ДНГУ и выявление ошибок для поиска вызвавших их неполадок на пульте проверки. Представлены схемы: электрическая структурная и принципиальные блока разгона до и после модернизации.

Ключевые слова: динамически настраиваемый гироскоп унифицированный, блок разгона, пульт проверки, алгоритм проверки.

Современные требования к точности, стабильности и надежности гироскопов постоянно растут. Развитие технологий и материалов позволяет создавать более сложные и точные гироскопы, требующие соответствующего проектирования блока разгона (БР) [1].

Наибольшее применение в последнее время нашли динамически настраиваемые гироскопы унифицированные (ДНГУ).

Динамически настраиваемый гироскоп унифицированный (ДНГУ) – это датчик первичной информации, получивший широкое распространение в качестве датчика угловых скоростей благодаря своей высокой точности, небольшой стоимости и малому времени готовности [1].

В современные динамически настраиваемые гироскопические системы интегрируются блоки разгона, для повышения их функциональности.

Система управления динамически настраиваемым гироскопом (ДНГ) должна на выходе осуществлять разгон и поддержание резонансной скорости двигателя гироскопа. Ключевыми факторами задействования блоков разгона является увеличение быстродействия, повышение точности.[2]

Встраивание блоков разгона также приводит к более быстрой адаптации к изменению характеристик среды, для этого корректируется угол наклона или поворота в режиме реального времени.

Это особенности и делают их незаменимыми в авиации, космической сфере, робототехнике и судоходстве, где быстродействие, адаптивность, высокая точность и надежность имеют критическое значение. Однако в процессе

раскрутки гироскопа может происходить ряд механических колебаний, которые ухудшают его точностные характеристики. [3]

Производя разнообразные модернизации блоков разгона важно представлять при этом возможность их проверки на соответствие определенным режимам работы.

Для данных целей сообразно применять заранее подготовленные устройства проверки, для представления возьмем в пример уже готовые предложения в виде пультов проверок.

Целью работы пульта БР ДНГУ является проверка правильности функционирования БР ДНГУ и выявление ошибок для поиска неполадок, вызвавших их.

Пульт проверяет соответствие функционирования БР ДНГУ правильной циклограмме его работы на рис. 1. В случае несовпадения ожидаемого отклика БР ДНГУ от полученного, пульт немедленно останавливает проверку и выводит соответствующую ошибку.

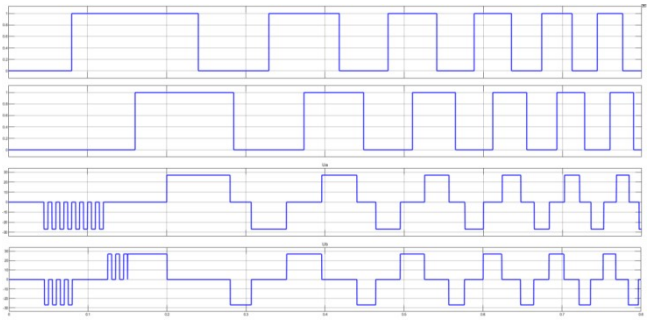


Рис. 1. Корректная циклограмма работы БР ДНГУ

Принципом работы пульта является имитация двигателя ДНГУ и проверка корректности отклика двигателя. Пульт имитирует сигналы двигателя и передает их блоку разгона.

На основании этих сигналов блок разгона в соответствии со своей программой формирует на выводах силовой части напряжение, которое фиксируется пультом.

В соответствии с математической моделью электропривода ДНГУ, пульт снова имитирует сигналы датчиков положения. Если принятый сигнал соответствует всем критериям для данного соотношения сигналов с датчиков положения, то частота их подачи на блок разгона линейно увеличивается.

При отклонении от нормального происходит остановка проверки со снятием питания БР ДНГУ.

Модель работы БР ДНГУ представленная на рис. 2 максимально приближенна к реальной – с наложением шума и действием передаточных функций, обеспечивающих переходные процессы, свойственные реальным электронным схемам.

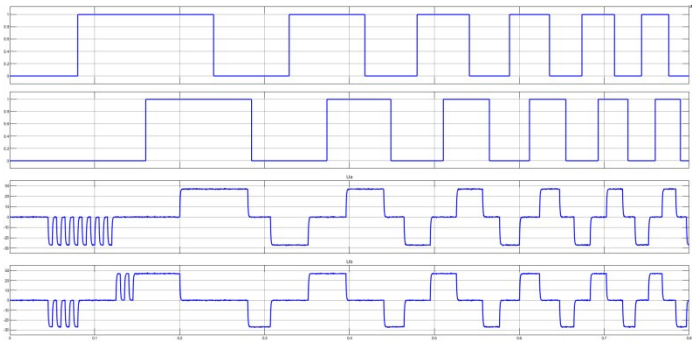


Рис. 2. Работа модели БР ДНГУ, приближенной к реальному устройству

На рис. 3, 4 и 5, соответственно, представлены принципиальная, структурная и функциональная схемы, на которых указана методика подключения БР к пульту проверки.

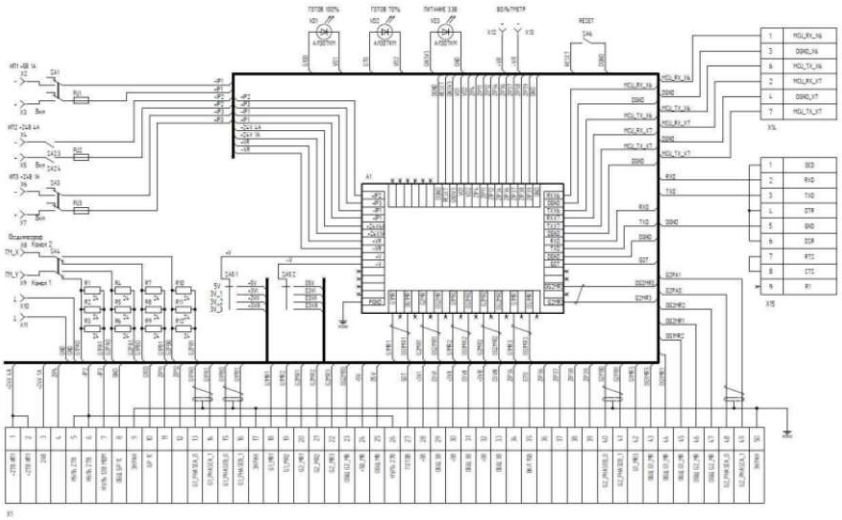


Рис. 3. Принципиальная схема подключения БР ДНГУ

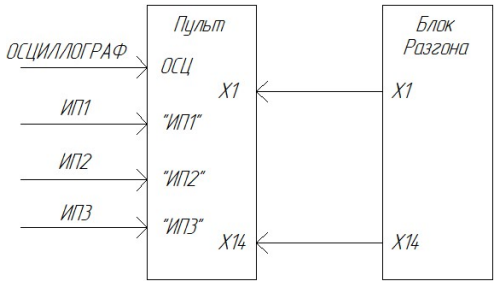


Рис. 4. Структурная схема подключения БР ДНГУ

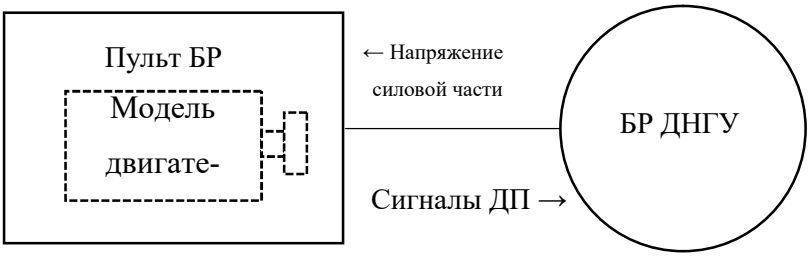


Рис. 5. Функциональная схема подключения БР ДНГУ

Пульт предоставляет возможность определения типов ошибок, определяются они по получаемой циклограмме после отработки БР.

Определив тип ошибки можно провести необходимое ТО, если ошибка не исчезнет, то необходимо пересмотреть модификации.

Выявляемые ошибки указаны на рис. 6, цифры на циклограмме:

1) отсутствие импульсов напряжения силовой части,
2) неправильная полярность напряжения силовой части,
3) недостаточное напряжение силовой части,
4) превышение напряжения силовой части,
5) отсутствие перехода на напряжение стабилизации.

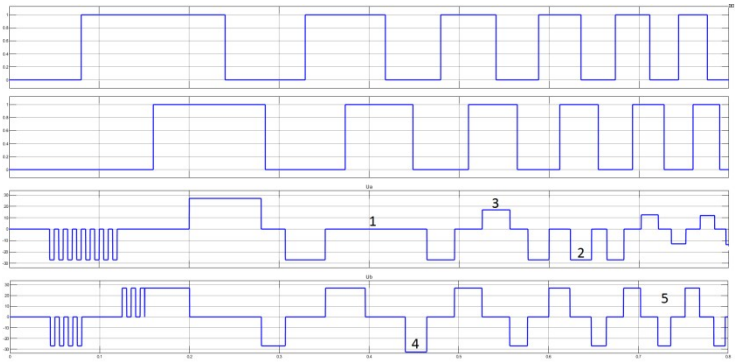


Рис. 6. Выявляемые ошибки БР ДНГУ

Пульт считает, что проверка проведена успешно при правильном отклике БР ДНГУ на имитацию вращения ротора с требуемой частотой. При обнаружении ошибки проверка аварийно завершается с прекращением подачи питания с пульта на блок разгона. При этом указывается код ошибки и имитированная частота вращения ротора.

Пульт функционирует на заранее заданном алгоритме и либо модификациям не подвергается.

Сам алгоритм функционирования пульта разработан в диаграммах состояния MATLAB Stateflow.

Проверка представлена на математической модели БР ДНГУ в MATLAB SIMULINK, представленной на рис. 7.

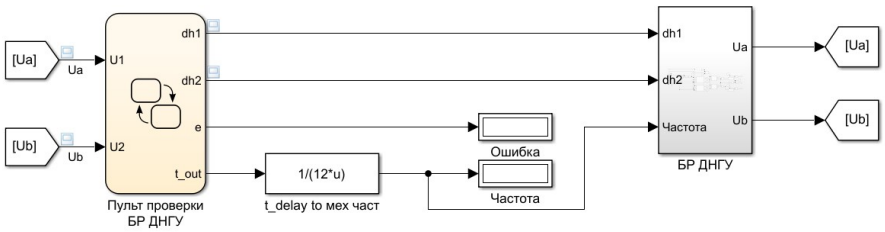


Рис. 7. Схема проверки алгоритма

Данный алгоритм проверки позволяет провести разделение напряжений в двух обмотках на основное и второстепенное для данного состояния. Напряжение на 1-й обмотке в состоянии 1 и 3 является основным, в состоянии 2 и 4 второстепенным. Напряжение на 2-й обмотке в состоянии 1 и 3 является второстепенным, в состоянии 2 и 4 основным.

Скриншоты алгоритма из программы, представлены на рис. 8-10.

В случае возникновения ошибки выдается двухзначное число.

Первая цифра обозначает номер нормального состояния (1-4) показанные на рис. 8 и рис. 9, в котором произошла ошибка. Нормальные состояния представлены наборами проверок, например, “Ошибки полярности”, “Ошибки превышения основного напряжения” и аналогичные проверки по второму напряжению.

И таким образом проходят проверки во всех четырех состояниях.

Вторая цифра обозначает неполадку в конкретном состоянии (1-8) указанная на рис. 10 в блоке выявления неполадок:

1 – Отсутствие импульса основного напряжения

2 – Неправильная полярность основного сигнала

3 – Недостаточное напряжение основного сигнала или затянувшийся переходный процесс

4 – Превышение напряжения основного сигнала

5 – Неправильная полярность второстепенного сигнала

6 – Недостаточное напряжение второстепенного сигнала или затянувшийся переходный процесс

7 – Превышение напряжения второстепенного сигнала

8 – Отсутствие перехода на напряжение стабилизации

Блок слежения за частотой позволяет определять работу по циклограмме, изображенный на рис.10.

Блок аварийного состояния, указанный на рис.10, выдает конечную последовательность цифр, которая указывает на ошибку в диагностике, получаемую из первой и второй цифр.

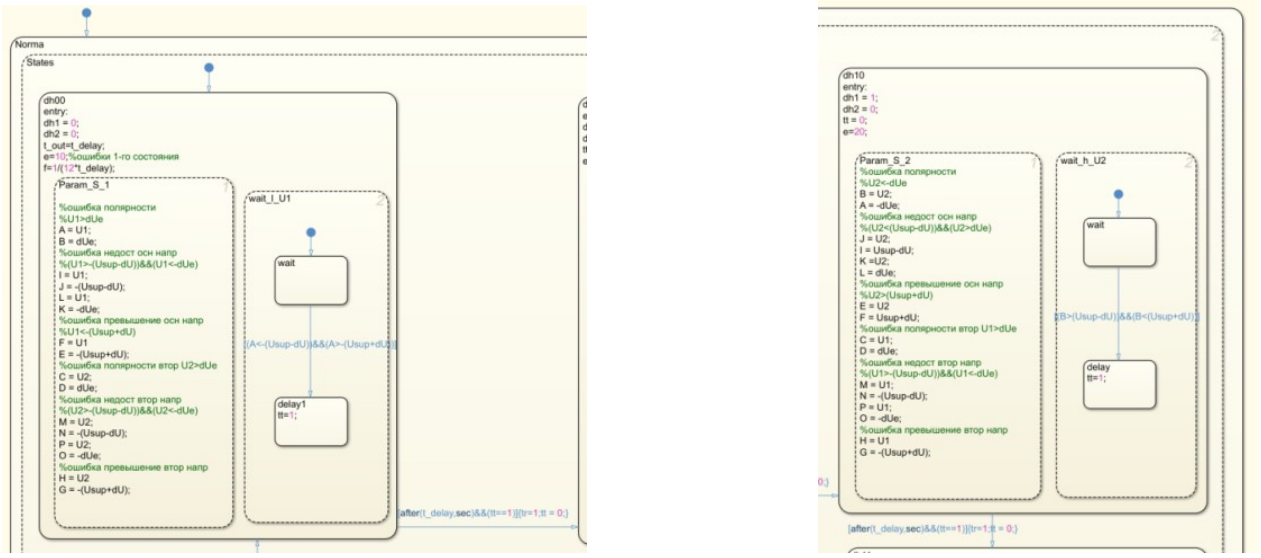


Рис. 8. 1 и 2 нормальное состояние ДНГУ

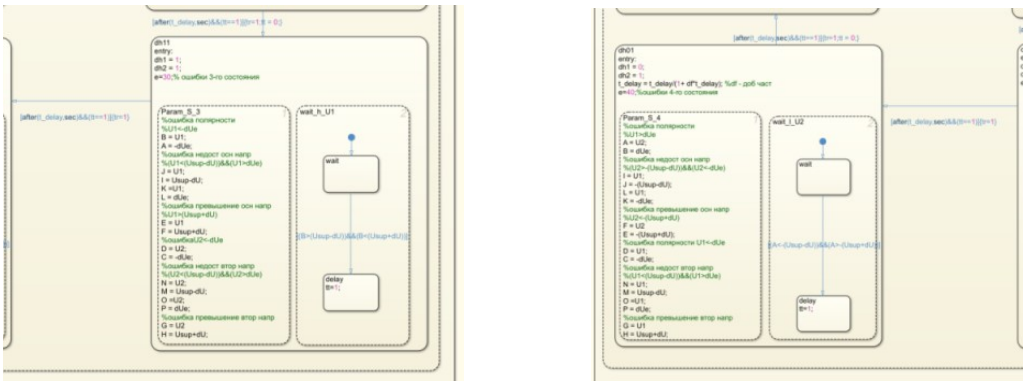


Рис. 9. 3 и 4 нормальное состояние ДНГУ

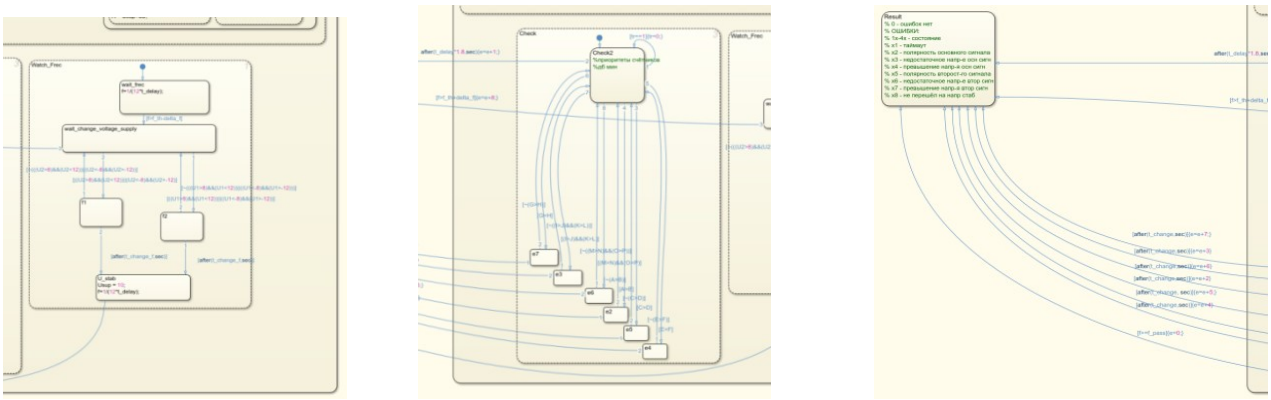


Рис. 10. Блок слежения за частотой, блок выявления неполадок и блок аварийного состояние

Представленный алгоритм успешно проводит проверку исправности и диагностику возможных неполадок математической модели БР ДНГУ, максимально приближенной к реальной.

Библиографический список

1. ***Лавричев, О.В.*** Перспективы развития ДНГ // Новый оборонный заказ – 2012. - №5 (22). – С. 18-19.

2. ***Лисенкова, Т. В.*** Разработка блока разгона динамически настраеваемого гироскопа унифицированного / Т. В. Лисенкова, Е. И. Лазарева // Социально-экономические и технические проблемы оборонно-промышленного комплекса России: история, реальность, инновации : Сборник статей по материалам IX Всероссийской научно-практической конференции, Арзамас, 11–12 апреля 2023 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2023. – С. 224-227.

3. ***Бугаенко, Р.А.*** Актуализация и модернизация блока разгона динамически настраиваемого гироскопа // – Программа и материалы XII Международной научно-технической конференции «Современная элементная база радиоэлектроники и ее применение им. О.В. Лосева» – Электрон. дан. – Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е.Алексеева, 2025. и сайт Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи (РНТОРЭС) им. А.С. Попова – С. 70-72

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПРИЕМНИКОВ

А.В. Букин
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрена система телеуправления на основе широкополосных приемников, представляющая собой устройство звукового управления питанием (УЗУП), которое будет распознавать специально сформированный звуковой сигнал с любого устройства, способного воспроизводить звук.

Ключевые слова: телеуправление, микрофон, кнопки, реле, линия связи, приемник.

Телеуправление – это техническая система для передачи команд управления на расстояние широко используемая в энергетике транспорте и промышленности. Она позволяет операторам воздействовать на объекты (включение/выключение) через каналы связи, обеспечивая надежность безопасность и экономию ресурсов. Основными элементами являются КП (контролируемый пункт) и ПУ (пункт управления).

Устройство звукового управления питанием (УЗУП) будет способно:

- распознавать и обрабатывать частотно модулированные управляющие сигналы с любого носимого устройства, например, с телефона;
- управлять электрическим прибором, подключенным к устройству, подавая или перекрывая напряжение питания к нему, при получении соответствующей звуковой команды управления на устройство.

Так как уже существуют приемники, выполняющие подобные функции, необходимо выделить преимущества разрабатываемой системы:

- устройство будет работать как самостоятельное (автономное), для обработки команд не понадобятся сторонние сервера;
- нет необходимости приобретать дорогостоящее оборудование и настаивать систему «Умного дома» для звукового управления;
- нет необходимости в интернет-подключении или поддержке любого другого беспроводного протокола;
- возможно управление с любого телефона или другого звуковоспроизводящего устройства без сторонних приложений и платных подписок;
- отсутствует возможность утечки информации или любой активности пользователя данной системы, так как информация устройством передаваться никуда не будет;
- возможность подключить все имеющиеся приборы без необходимости доработок проводки и помещения.

Для обеспечения указанных преимуществ в разрабатываемой системе была разработана схема электрическая функциональная системы телеуправления на основе широкополосных приемников представленная на рис. 1.

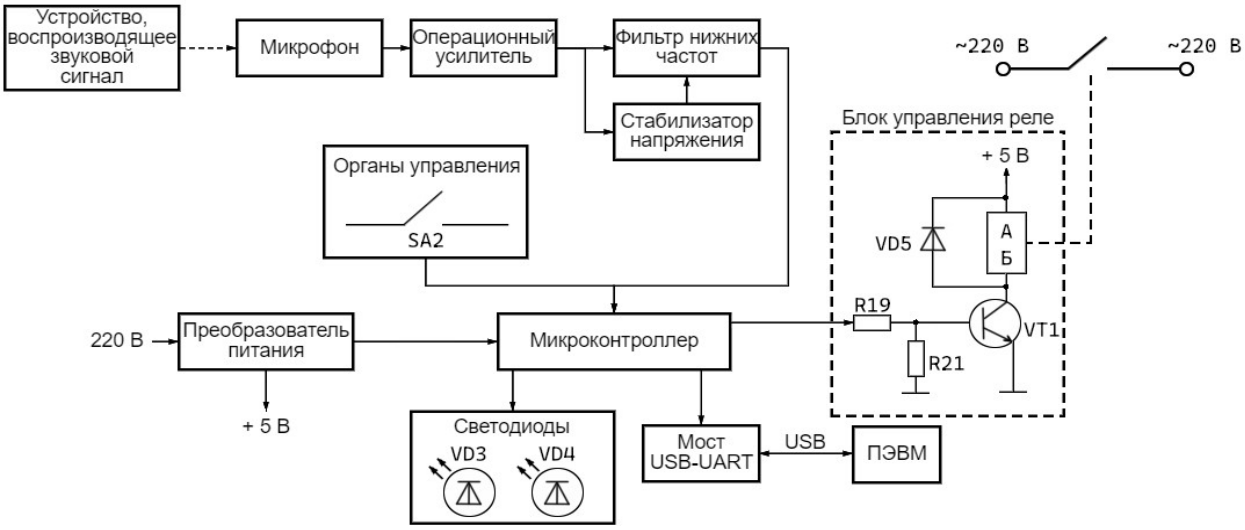


Рис 1. Схема электрическая функциональная системы телеуправления на основе широкополосных приемников

Согласно рис. 1 функциональная электрическая схема состоит из следующих компонентов:

- микроконтроллер служит главным элементом управления устройством;
- преобразователь питания преобразует входное напряжение 220 В в 5 В, которые поступают на схему и распределяются между микроконтроллером и другими компонентами;
- мост USB-UART необходим для связи с ПЭВМ;
- микрофон с аналоговым фильтром нижних частот служит для непосредственно звукового управления;
- органы управления представляет собой кнопку для ручного управления;
- блок управления реле необходим для переключения реле;
- светодиоды наглядно отражают работу устройство звукового управления питанием (УЗУП).

Обмен информацией управляющего устройства с УЗУП должен быть осуществлен дистанционным способом.

Основные части инфракрасного датчика – излучатель и приемник. Прием сигнала осуществляется через фотодиод, его излучение – через светодиод. Сам по себе фотодиод имеет высокую чувствительность и инфракрасному свету, который исходит от ИК-светодиода. Если между излучателем и приемником возникнет какое-либо препятствие, связь будет прервана, поступит соответствующий сигнал.

Именно такими датчиками снабжены все пульты инфракрасного дистанционного управления для таких устройств, как телевизор, DVD, MP3 и так далее. При совместном использовании с микроконтроллером возможно излучать модулированный сигнал, тем самым обеспечивая инфракрасную беспроводную связь.

Схема электрическая принципиальная системы телеуправления на основе широкополосных приемников представлена на рис. 2.

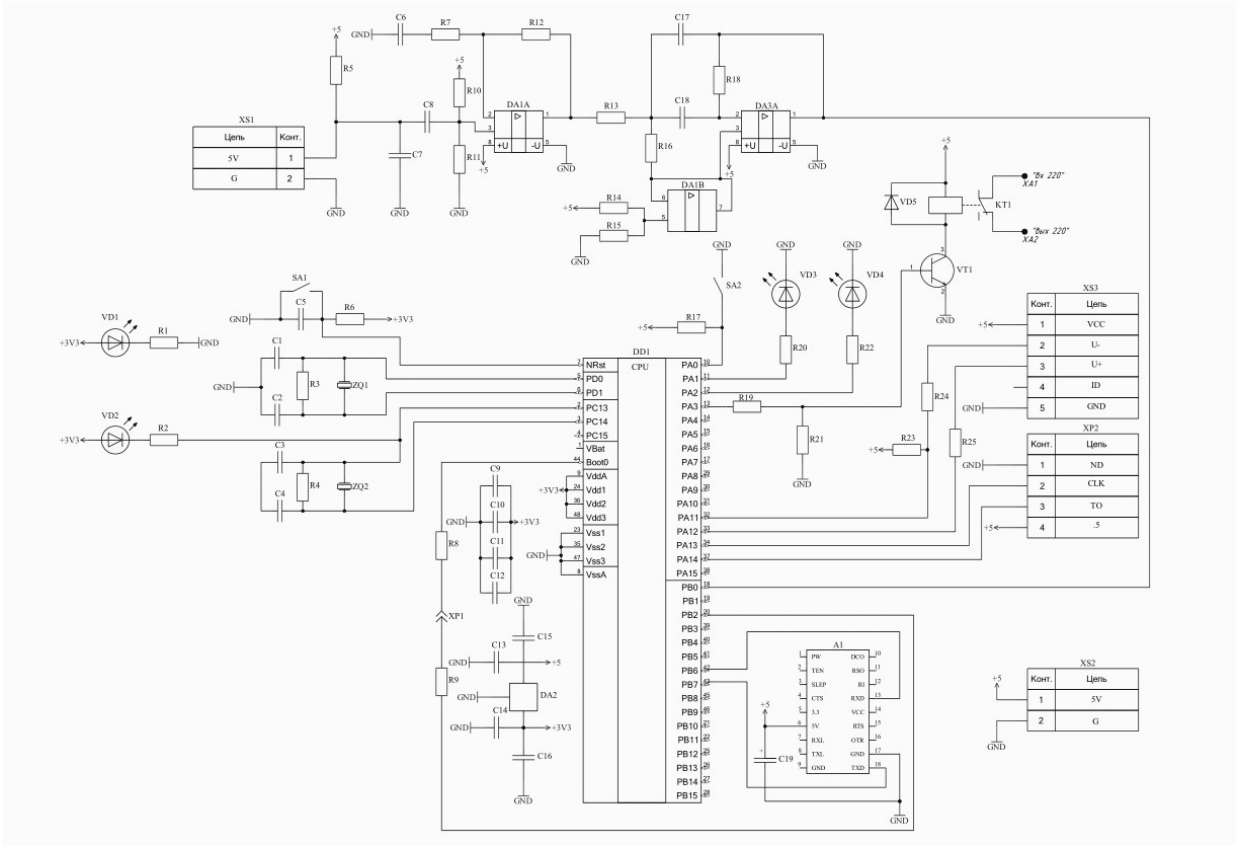


Рис 2. Схема электрическая принципиальная системы телеуправления на основе широкополосных приемников

Преобразователь питания преобразует входное напряжение 220В в 5В, которые поступают на схему и распределяются между микроконтроллеров и другими компонентами.

Конденсатор номиналом 100 мкФ подключен параллельно для увеличения общей емкости, что помогает стабилизировать напряжение и уменьшить пульсации.

Подтягивающий резистор R17 номиналом в 100 кОм, подключенный к земле, необходим для стабилизации работы кнопки SA2.

Резисторы R20 и R22 номиналом в 1 кОм необходимы для ограничения тока через светодиоды VD3 и VD4 и предотвращения избыточного тока, который может сжечь светодиоды.

В блоке защиты реле элементы реализуют следующие функции:

- резисторы R19 номиналом 1 кОм и R21 номиналом 100 кОм регулируют работу реле для предотвращения его ложного срабатывания при пробое катушки;
- транзистор VT1 предназначен для усиления тока и напряжения;
- диод VD5 включен параллельно реле, чтобы избежать повреждения близлежащих компонентов, чувствительных к высокому напряжению.

Блок микрофона предназначен для приема управляющего сигнала и разделяется на две основные части: усилитель по напряжению и аналоговый фильтр нижних частот представлен на рис. 3.

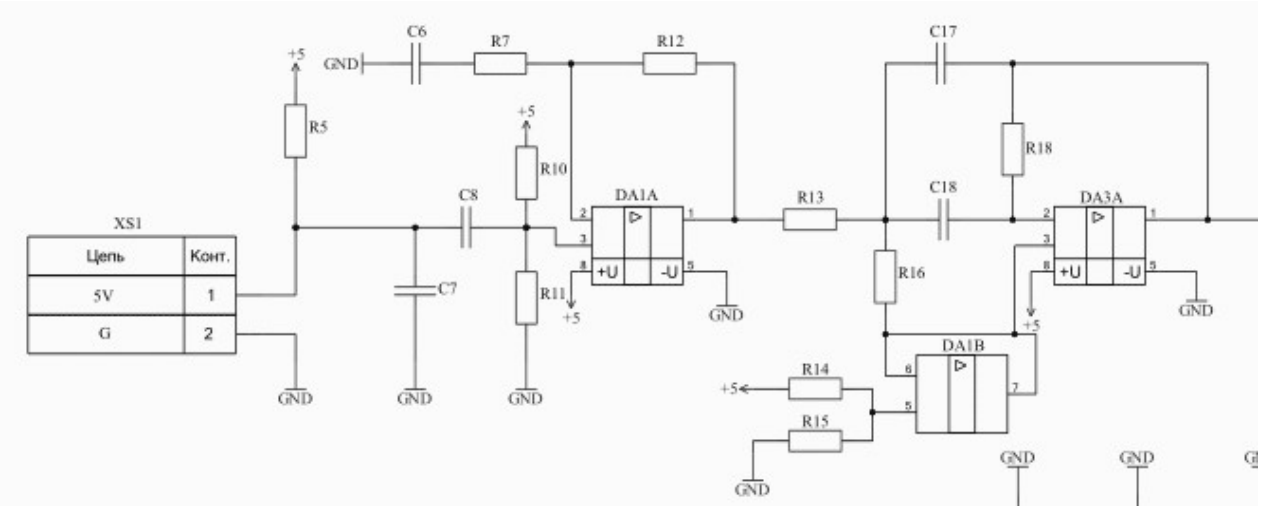


Рис 3. Схема электрическая принципиальная блока микрофона в системе телеуправления на основе широкополосных приемников

В блоке микрофона используются следующие элементы:

- к коннектору усилителя DA1A подключается микрофон;
- подтягивающие резисторы R5 номиналом 2 кОм, R7 номиналом 10 кОм и R12 номиналом 5,2 кОм;
- конденсаторы C6 и C7 номиналом 1 мкФ и C8 номиналом 0,1 мкФ;
- резисторы R10 и R11 номиналом 10 кОм и R14 и R15 номиналом 100 кОм являются делителями напряжения;
- стабилизатор напряжения DA1B нужен для формирования бесконечного сопротивления точках, отмеченных на рисунке, чтобы делитель напряжения не влиял на работу фильтра и не смещал полосу пропускания;
- непосредственно фильтр состоит из усилителя DA3A, резисторов R13 номиналом 20 кОм, R16 номиналом 200 кОм и R18 номиналом 13 кОм и конденсаторов C17 и C18 по 1 мкФ, обеспечивая фильтрацию нижних частот.

Таким образом, применение системы телеуправления на основе широкополосных приемников обеспечит возможность использования результатов разработки при масштабировании в систему автоматизации производства или управления «Умным домом», сокращение времени и усилий, затраченных на управление питанием приборов и эффективный и простой контроль питания приборов за счет введения звукового управления.

Библиографический список

1. **Журавлева, Л.В.** Основы радиоэлектроники / Л.В. Журавлева. - М.: Академия, 2014. - 608 с.

2. **Нефедов, В.И.** Основы радиоэлектроники и связи. / В.И. Нефедов. - М.: Высшая школа, 2009. - 735 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАЗОВЫХ ЗАПАЗДЫВАНИЙ В АНАЛОГО-ЦИФРОВОМ ТРАКТЕ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА

И.Д. Виноградов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье предложен метод самокалибровки ошибок фазовых запаздываний в аналого-цифровом тракте волнового твердотельного гироскопа. Данный метод происходит в режиме реального времени и предназначен для улучшения адаптивности и точности ВТГ, а также для возможности использования изделий в режиме низких температур. Этот метод можно легко расширить в будущем для определения и компенсации источников ошибок, закладывая основу для улучшения характеристик других вибрационных гироскопов.

Ключевые слова: волновой твердотельный гироскоп, ошибки фазового запаздывания, самокалибровка, температурный дрейф, идентификация параметров.

На сегодняшний день волновые твердотельные гироскопы (ВТГ) с металлическим резонатором являются одними из перспективных датчиков первичной информации подвижных объектов.

Преимуществом ВТГ в сравнение с классическими гироскопами является отсутствие подвижных частей, что позволяет создавать приборы длительного ресурса работы. Производство ВТГ не требует специальных технологий по типу фотолитографии и травления кремния как при производстве микромеханических гироскопов или объемной обработки кварцевого стекла при изготовлении полусферических резонаторов [4].

Целью данной статьи является исследование и проектирование способов выявления фазовых запаздываний в аналого-цифровом тракте (АЦТ) волнового твердотельного гироскопа.

Прототипом многих разработок ВТГ является конструкция гироскопа компании «Innalabs, Ltd» (рис. 1, *а*) [3, 4, 6]. Металлический резонатор *1* устанавливается на основание *3* при помощи винта *2*. Пьезоэлементы *5* наклеиваются на дно резонатора равномерно через 45°. Пьезоэлементы при помощи токоподводводов подключаются к гермовыводам *4*. На рис. 1, *б* приведена фотография образца «ВТГ-ДУС» без кожуха. На верхней кромке резонатора видны углубления как результат его балансировки. Резонатор закрывается кожухом *6* и вакуумируется.

При реализации «ВТГ-ДУС» для возбуждения стоячей волны на пьезоэлементы 1-1 (рис. 1, в) подается гармонический сигнал на частоте, равной частоте второй формы колебаний резонатора. Сигналы, снимаемые с пьезоэлементов 2-2, служат для контроля резонанса. С пьезоэлементов 3-3 снимается сигнал, вызванный вращением основания, который обрабатывается и подается на

пьезоэлементы 4-4, формируя цепь обратной связи. Сигнал обратной связи несет информацию об угловой скорости основания [3].

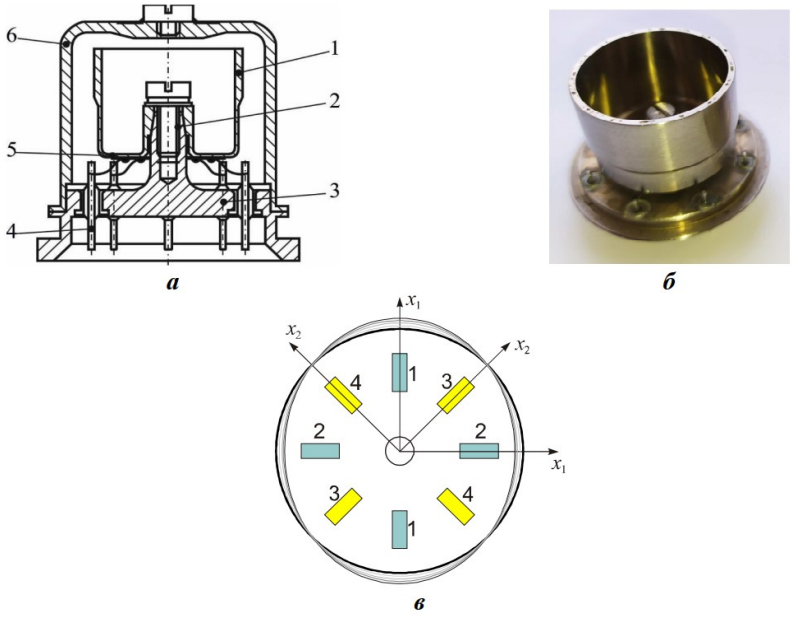


Рис. 1. ВТГ с металлическим резонатором: а) схема конструкции; б) пример образца; в) схема с пьезоэлементами

Одним из основных источников ошибок в «ВТГ-ДУС» является асимметричное несоответствие массы, жесткости и демпфирования обработанного резонатора, что является следствием присущих ограничений в процессе обработки. Также сюда относят несоответствия коэффициентов усиления и ошибки фазовых запаздываний, которые могут быть связаны с ограничениями в процессе сборки и пайки, а также несоответствиями в электронике [7].

Как правило, ошибки фазовых запаздываний неизбежно вносятся схемами преобразования, процессами измерения и демодуляцией сигнала, фильтрами нижних частот, системами АЦП и ЦАП, а также усилителями в ВТГ [5, 7].

Кроме того, к источникам фазовой ошибки также относится механическое фазовое запаздывание, проявляющееся как разность фаз между сигналом вибрации резонатора и сигналом движущей силы. Фазовое запаздывание является существенным источником неточности в ВТГ. Эти ошибки приводят к взаимной связи управляющих сигналов между каналами, что вызывает дополнительный дрейф угловой скорости и влияет на характеристики гироскопов, особенно с точки зрения динамического диапазона и стабильности смещения [7].

Фазовые запаздывания в АЦТ ВТГ, как правило, вызывают три элемента: модуль драйвера, полусферический резонатор и модуль обнаружения, как показано на рис. 2. Для удобства анализа каждая точка сигнала с задержкой по фазе обозначена буквой A-D (табл. 1).

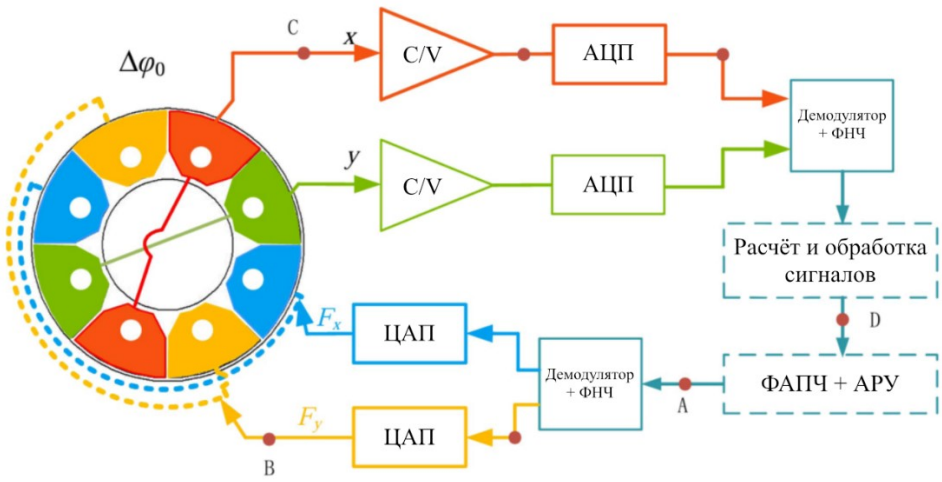


Рис. 2. Основные источники ошибок фазовых запаздываний в АЦТ ВТГ

Таблица 1

Направление сигнала и характерные точки ВТГ

Точка сигнала	Фаза
A	$cos(\omega t + \varphi)$
B	$cos(\omega t + \varphi + \Delta\varphi_1)$
C	$cos(\omega t + \varphi + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_0)$
D	$cos(\omega t + \varphi + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_0 + \Delta\varphi_2)$

В этой системе сигнал в точке A исходит от цифрового управляемого генератора, встроенного в ПЛИС. В качестве основного опорного сигнала для модуляции и демодуляции обозначается как $cos(\omega t + \varphi)$. Фазовое запаздывание модуля от A до B представлено уравнением [7, с.6]:

$$\Delta\varphi_1 = \varphi_{\text{ФНЧ}} + \varphi_{\text{ЦАП}} + \varphi_{\text{АУ}}, \quad (1)$$

где $\varphi_{\text{ФНЧ}}$ – фазовая задержка от фильтрации нижних частот,

$\varphi_{\text{ЦАП}}$ – фазовая задержка от ЦАП,

$\varphi_{\text{АУ}}$ – фазовая задержка от аналоговых усилителей.

Фазовое запаздывание в модуле обнаружения от точки C до точки D [7, с.6]:

$$\Delta\varphi_2 = \varphi_{\text{ЭС}} + \varphi_{\text{АЦП}} + \varphi_{\text{ДЕМ}}, \quad (2)$$

где $\varphi_{\text{ЭС}}$ – фазовая задержка между обнаруженным электрическим сигналом и сигналом вибрации,

$\varphi_{\text{АЦП}}$ – фазовая задержка от АЦП,

$\varphi_{\text{ДЕМ}}$ – фазовая задержка, вызванная обнаруженным сигналом через демодулятор, фильтр, вычислитель параметров и другие промежуточные компоненты.

Фазовое запаздывание между каналами *x* и *y* различается из-за различных электронных конфигураций и асимметрии электродов. Однако эксперименты показывают, что это расхождение относительно незначительно в сравнение с

общей фазовой задержкой. Следовательно, фазовое запаздывание обнаруженного сигнала равно [7]:

$$\delta\varphi = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_0 + \Delta\varphi_2. \quad (3)$$

Когда гироскоп находится в рабочем режиме, контур фазовой автоподстройки фиксирует разность фаз между обнаруженным сигналом и выходным сигналом возбуждения, которые равны $-\pi/2$. Однако при наличии фазового запаздывания $\delta\varphi$ в системе управления в контуре фазовой автоподстройки частоты наблюдается следующее соотношение фаз [7]:

$$\varphi = \Delta\varphi + \delta\varphi = -\pi/2. \quad (4)$$

Исходя из уравнения (4), фазовая задержка приводит к разности фаз между сигналом возбуждения резонатора и резонансным сигналом, который не равен $-\pi/2$. Это приводит к тому, что гироскоп не находится в резонансе. Значительная ошибка фазового запаздывания может привести к тому, что частота возбуждения будет меньше резонансной частоты в реальной операционной системе, которая затем может привести к изменению коэффициента усиления и, следовательно, повлиять на работу характеристик гироскопа.

Далее представлен метод самокалибровки ошибки фазового запаздывания для подавления дополнительных угловых ошибок скорости гироскопа. В этом случае дополнительная угловая скорость, вызванная ошибкой фазовой задержки, имеет ту же частоту, что и сигнал синусоидальной помехи.

Структурная схема системы управления для выполнения предусмотренного метода самокалибровки ошибки фазовых запаздываний в ВТГ показана на рис. 3.

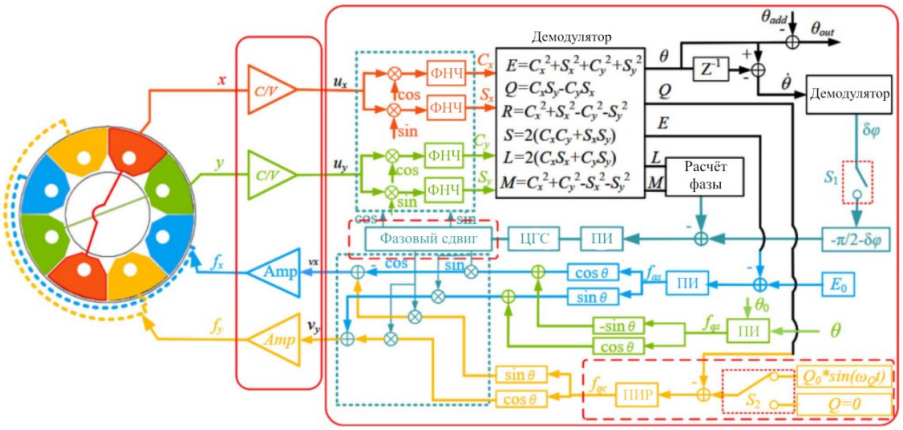


Рис. 3. Схема с методом самокалибровки ошибки фазовых запаздываний

В системе с методом самокалибровки помехи сигнала изначально равны 1 Гц. Приложенный сигнал может быть использован для демодуляции выходной угловой скорости гироскопа и для выделения дополнительной угловой скорости из-за квадратурного регулирования и фазовых ошибок. Когда ошибка, поступающая на контроллер, представляет собой синусоидальный сигнал, она вводится в квадратурный контур [7, с.7]:

$$Q = Q_0 sin(\omega_q t), \quad (5)$$

где Q_0 – амплитуда квадратурной модулированной величины,

$\omega_q = 2\pi f_q$ – угловая частота сигнала помех.

Согласно этой схеме, амплитуда дополнительной ошибки угловой скорости, обусловленная фазовой ошибкой, может быть выделена из общей угловой скорости путем демодуляции опорных сигналов $sin(\omega_q t)$ и $cos(\omega_q t)$ и ФНЧ. Впоследствии ошибка фазовых запаздываний может быть рассчитана на основе демодулированного сигнала и обратной связи с выходом системы. Этот процесс проиллюстрирован на рис. 4.

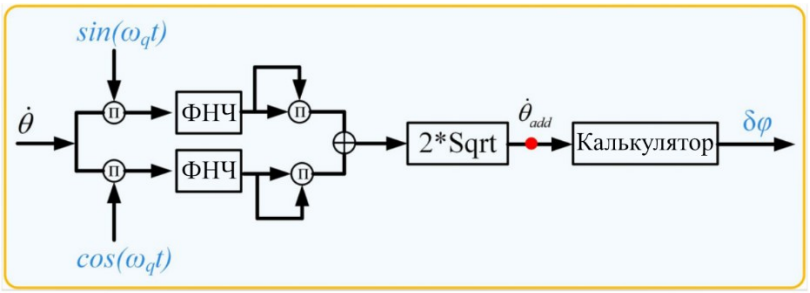


Рис. 4. Демодулятор ошибки фазовых запаздываний

Результаты изменения частоты и ошибок фазовых запаздываний для выходной угловой скорости ВТГ показаны на рис. 5.

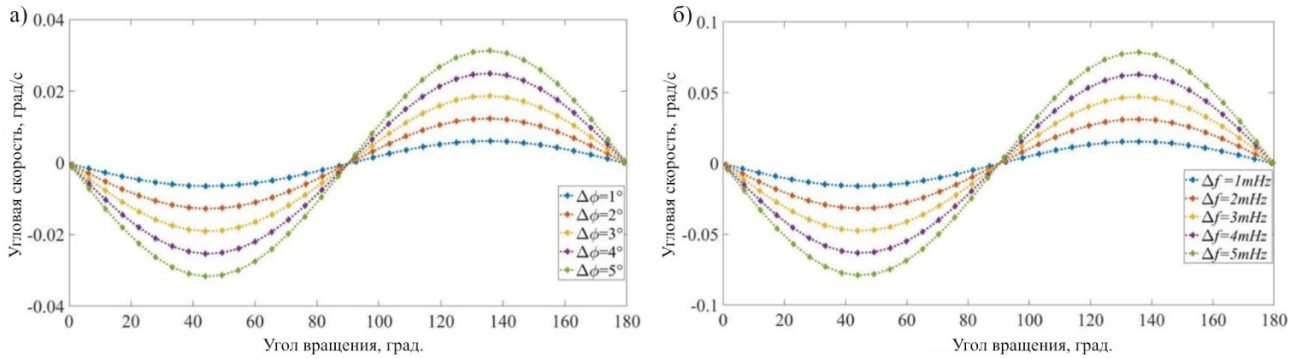


Рис. 5. Влияние фазовой ошибки на дрейф угловой скорости для ВТГ с разделением частоты на 2 МГц (а); влияние расщепления частоты на дрейф угловой скорости ВТГ с фазовой погрешностью, равной 5° (б).

В экспериментах по моделированию стоячая волна виртуально поворачивается на заданный угол в системе моделирования путем приложения силы управления виртуальным вращением f_{qs} в соответствие с моделью управления от 0° до -180°, а также проводится измерение выходной угловой скорости ВТГ в свободном состоянии стоячей волны. Влияние ошибки характеризуется устранением управляющего усилия f_{qs} при 5° в диапазоне распределение угловой скорости стоячей волны по углам вращения для частотного разделения 2 МГц и ошибки фазовой задержки $\delta\varphi$, изменяющейся от 1° до 5° (рис. 5, *а*).

Поскольку жесткость угла наклона оси θ_ω была установлена равной нулю в имитационных экспериментах, фазы этих кривых одинаковы. На основе этого же экспериментального метода проверено влияние ошибки фазовой задержки на дрейф угловой скорости ВТГ с различным частотным разделением.

На рис. 5, *б* показано распределение угловой скорости ВТГ в различных азимутах, когда ошибка фазовой задержки $\delta\varphi$ установлена равной 5°, а частотное разделение варьируется от 1 МГц до 5 МГц при 5°.

Результаты эксперимента показывают, что ошибка фазы приводит ко второй гармонике распределения стоячей волны. Кроме того, дополнительная ошибка угловой скорости увеличивается с изменением $\delta\varphi$, когда разделение частоты остается постоянным. Также наблюдается, что амплитуда дополнительной погрешности угловой скорости линейно увеличивается с разделением частоты и фазовой погрешностью, что согласуется с анализом модели.

Библиографический список

1. **Лунин, Б.С.** Волновой твердотельный гироскоп теория и технология / Б. С. Лунин, В. А. Матвеев, М. А. Басараб. – М.: Радиотехника, 2014. – 174 с.
2. **Матвеев, В.В**. Волновой твердотельный гироскоп с металлическим резонатором / В. В. Матвеев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 11. – С. 377-384.
3. **Ратхор, Т.С.** Цифровые измерения. Методы и схемотехника / Т.С. Ратхор. М.: Техносфера, 2004. 376 с.
4. **Chikovani V.V.** Digitally controlled High Accuracy Metallic Resonator CVG // Proc. Symposium Gyro Technology Stuttgart. 2006. P. 4.0 – 4.7.
5. **Ning Y.** Identification and correction of phase delay errors for hemispherical resonator gyroscopes (2025).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА НА КВАРЦЕВОМ РЕЗОНАТОРЕ

М.А. Гольцов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрено проектирование предварительного усилителя для датчика угловых скоростей волнового твердотельного гироскопа с кварцевым резонатором. Проанализированы основные требования, предъявляемые к электронике датчика, на основе полученных данных разработана электрическая принципиальная схема предварительного усилителя.

Ключевые слова: предварительный усилитель, датчик угловых скоростей волновой твердотельный гироскоп кварцевый

Основным узлом волнового твердотельного гироскопа является чувствительный элемент в виде полусферического резонатора, поэтому измерение параметров стоячей волны и управление колебаниями осуществляется емкостными управляющими датчиками и емкостными измерительными датчиками, которые размещены на плоском электродном узле, который расположен параллельно торцевой кромке полусферической оболочке резонатора. Эти составляющие спаяны между собой внутри блока, в котором создается вакуум. Измерительные системы ВТГ включают восемь датчиков линейных перемещений, размещенных по окружности резонатора с периодом 45 град (рис. 1) [1, с. 131-132].

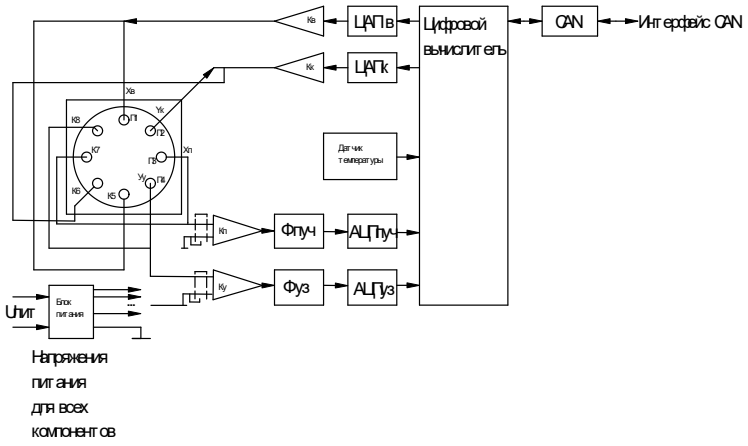


Рис. 1. Структурная схема электроники ДУС ВТГ К

На структурной схеме показана работа волнового твердотельного гироскопа в режиме ДУС. Восемь дискретных электродов с противоположных сторон попарно соединены и образуют 4 группы электродов. Для балансировки датчика необходимо подать постоянный потенциал одновременно на 2 перпендикулярные группы электродов.

Для начального возбуждения необходимо подать возбуждение на резонансной частоте до амплитуды, меньше заданной в виде переменного потен-

циала поочередно на группы электродов. После завершения начального возбуждения идет этап стабилизации амплитуды колебаний.

Восемь электродов располагаются под резонатором под углами 45˚, относительно оси возбуждения Хв. Причем электроды П1, К5, располагаются на оси Хв, П2, К6 – на оси коррекции Yк, П3, К7-на оси пучности Хп, П4, К8-на оси узла Yу. Электроды оси Хв используются для возбуждения колебаний резонатора на его резонансной частоте. Электроды осиYк используются для удержания ориентации стоячей волны в случае вращения ВТГ. Электроды осей Хп и Yу являются датчиками изгиба. Они используются для вычисления следующих параметров: отключение текущей частоты колебаний резонатора от его резонансной частоты, текущей ориентации стоячей волны резонатора.

На основании данных вычисленных значений рассчитываются сигналы управления для электродов оси возбуждения Хв (П1, К5), оси коррекции Yк и текущая угловая скорость ВТГ.

Измерение сигналов электродов П3, К6, П4, К8 осуществляется с помощью двух АЦП (АЦППуч, АЦПуз), при этом сигналы предварительно проходят через прецизионные усилители Кп и Ку и фильтры Фпуч, Фуз. Фильтры отсекают постоянную составляющую, вызванную особенностями крепления электродов и ориентации резонатора по отношению к вектору ускорения свободного падения. При разработке схемы необходимо учитывать, что фазовые запаздывания фильтров на резонансной частоте не должны превышать нескольких тысяч градусов [4].

Сигнал, оцифрованный с помощью АЦП входящий в состав микровычислительного устройства (микроконтроллера) обрабатывается с помощью цифрового вычислителя, в результате формируются сигналы управления, подающиеся на встроенный ЦАП для получения аналоговых управляющих сигналов электродов П1, К5 и П2, К6.

Вычислительный блок, проводит сравнение амплитуды первой моды и производит передачу на генератор сигнал ошибки, тем самым обеспечивая регулирование амплитуды. Вторая вибрационная мода при вращении гироскопа ориентирована по осям. Сигнал, который поступает с электродов, попадает в измерительный блок. Блок управления, получает данные, которые соразмерны амплитуде узла по определенной оси, срабатывает управляющее воздействие и подает его на электроды.

Вследствие изгибных деформаций дна резонатора возникает изгибающий момент, который вызывает эллиптические деформации упругого подвеса по второй форме колебаний, в результате чего в рабочей сфере возбуждается стоячая волна с четырьмя областями пучности, ориентированными вдоль электродов и четырьмя узловыми областями.

Съем сигнала производят с использованием электродов, первые из них используются для съема сигналов с пучностей стоячей волны, вторые – для съема сигналов с узлов.

При вращении гироскопа с колеблющимся резонатором вокруг его центральной оси с постоянной угловой скоростью возникает Кориолисовы силы,

которые способствуют смещению узловых областей стоячей волны по окружности, в результате чего на электродах расположенных в узлах появляется сигнал, пропорциональный угловой скорости Ω, который поступает в электронный блок управления для выработки сигнала компенсации инерциального смещения стоячей волны [4].

Сигнал компенсации выводится из блоков электроники в качестве выходного сигнала, пропорционального измеряемой угловой скорости Ω.

Чаще всего применяются емкостные датчики, где проводящая поверхность резонатора является одной обкладкой конденсатора, а другая – внешний электрод, нанесенный на поверхность специальной платы и расположенный на небольшом расстоянии от резонатора. В упрощенных конструкциях вибрационных гироскопов иногда используются пьезоэлектрические датчики, прикрепленные в определенных местах резонатора. Сигналы с датчиков, расположенных под углами 0, 90, 180 и 270 градусов, дифференциально складываются, формируя так называемый косинусный канал информации. Дифференциальное сложенные сигналы с датчиков под углами 45, 135, 225 и 315 градусов образуют синусный канал информации. Формирование этих сигналов осуществляется с помощью специальных усилителей, способных работать как на постоянном, так и на переменном токе.

Предварительные усилители являются наиболее важными элементами системы съема, они должны обеспечивать точную передачу амплитуды и фазы входных сигналов при малом уровне шума. Рассмотрим более подробно.

Для достижения высокого входного сопротивления буферный усилитель строится по схеме повторителя напряжения и дополнительно охватывается положительной обратной связью – этот подход был использован уже в первых конструкциях ВТГ [2, с.51-55].

Датчик угловых скоростей на основе ВТГ с кварцевым резонатором является ключевым компонентом навигационной системы. Благодаря кварцевому резонатору увеличилась добротность, так как кварц имеет очень низкие внутренние потери, что обеспечило высокую добротность. Это позволило достичь более стабильных колебаний и чистый сигнал. Но возникает вопрос в модернизации буферного усилителя, так как для металлического резонатора предыдущая схема не подходит. Схема буферного усилителя для кварцевого резонатора приведена на рис. 3.

Схема на рис. 3 обеспечивает входное сопротивление на уровне нескольких гектоом (сотен миллионов Ом). Это означает, что она практически не нагружает резонатор, не вносит искажения в его колебания и не влияет на его резонансную частоту. Переменный конденсатор в входном каскаде, как видно по схеме, специально разработан для компенсации влияния паразитных емкостей резонатора на измерительный канал, что повышает точность и стабильность измерений [3].

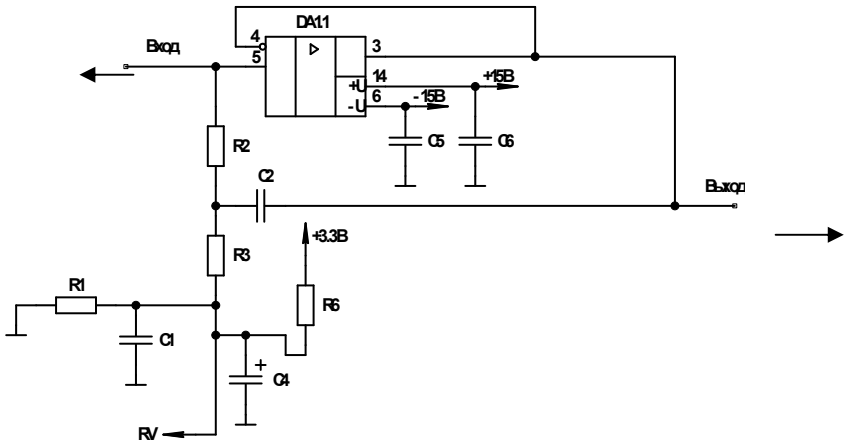


Рис. 2. Схема основного узла предварительного усилителя для ДУС ВТГ К

Схема способна обеспечивать высокую точность преобразования амплитуды и фазы колебаний резонатора в электрический сигнал. Это критически важно для ДУС, где даже малые изменения фазы или амплитуды сигнала несут информацию об угловой скорости. Схема разработана с учетом экранирования и фильтрации для минимизации влияния внешних электромагнитных помех на сигнал резонатора, что особенно важно в условиях реальной эксплуатации ДУС. Схема разрабатывалась для системы с емкостными датчиками, которые, как правило, генерируют очень слабый сигнал. Поэтому схема может быть более чувствительна, чем стандартный буфер, и способна захватывать даже малейшие изменения характеристик колебаний резонатора.

Для упрощения общей конструкции ВТГ К на предварительный усилитель возложена дополнительная функция: преобразование двухполярного сигнала в однополярный, с целью обеспечения функционирования однополярного АЦП в составе микроконтроллера.

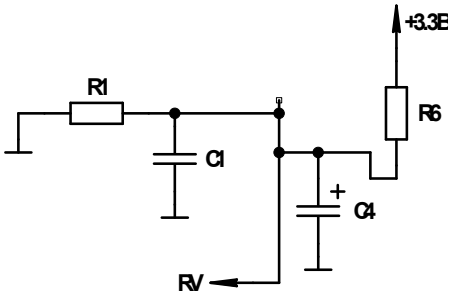


Рис. 3. Узел RC ВЧ – делитель напряжения предварительного усилителя

R1= 200 Ом, R6=210 Ом, C1= 1000 пФ, C4=33 мкФ.Смещение выхода операционного усилителя до середины диапазона измеряемого АЦП, с целью дальнейшего измерения гармонического сигнала с (ЧЭ). Представленная схема является RC–фильтром и одновременно делителем напряжения. Формула для частоты среза $fc=\frac{1}{2\pi RC}=30$ Гц. Линия питания 3.3 В идет с помехами от процессора, если подать такое питание напрямую в сигнальную цепь, на выходе

будут выдавать ошибки. Резистор R6 и конденсатор C4 образуют фильтр, в точке соединения получается чистое стабильное напряжение. Емкость в данной расчетной формуле рассчитывается как сума двух конденсаторов. Данный фильтр защищает схему от высокочастотных помех, которые могут возникнуть на входе. Так же используется делитель напряжения для установки рабочих точек смещения для последующих каскадов или для формирования опорного напряжения.

В ходе макетирования датчика угловых скоростей ВТГ К выявилась влияние помехи от высоковольтного источника напряжения, возникла необходимость дополнить электрическую схему предварительного усилителя фильтром низких частот с полосой пропускания 160 Гц. Выбор номинала элементов в ходе вычислений: R7=1 МОм, C7=1000 пФ.

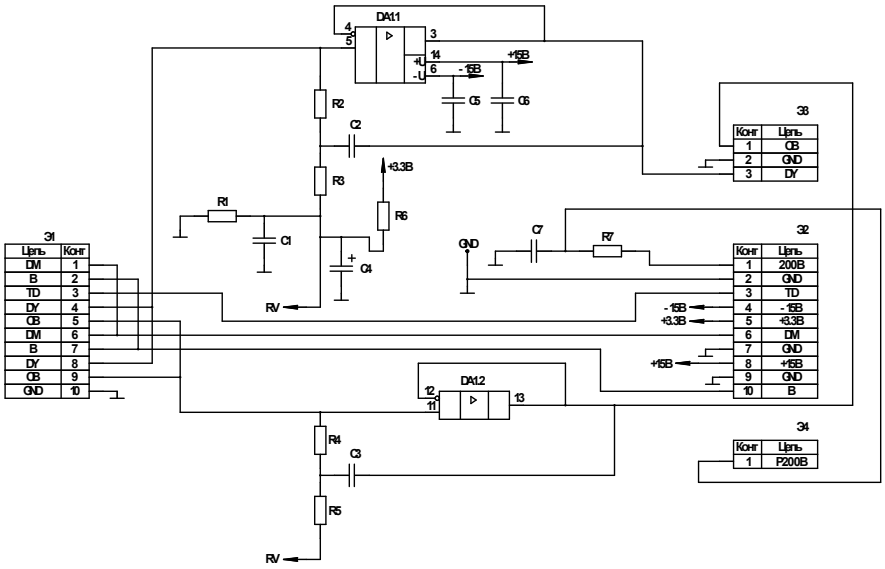


Рис. 4. Схема предварительного усилителя ДУС ВТГК

По результатам разработки электрической структурной и принципиальной схем, предварительный усилитель обеспечивает точную передачу амплитуды и фазы входных сигналов емкостных датчиков кварцевого резонатора при малом уровне шума.

Библиографический список

1. **Лунин Б. С.** Волновой твердотельный гироскоп теория и технология / Б. С. Лунин, В. А. Матвеев, М. А. Басараб. – М.: Радиотехника, 2014. - 174 с.

2. **Матвеев, В. А.** Проектирование волнового твердотельного гироскопа Учеб. пособие для студентов высш. техн. учеб. заведений / В. А. Матвеев, В. И. Липатников, А. В. Алехин. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. – 166 с.

3. Волновой твердотельный гироскоп/ В. Ф. Журавлев, Д. М. Климов: отв. ред. А. Ю. Ишлинский ; АН СССР, Ин-т пробл. механики М.: Наука, 1985 125 с.:

4. Волновой твердотельный гироскоп с металлическим резонатором (цветные рисунки) : Монография / Распопов В. Я., Волчихин И. А., Волчихин А. И. [и др.] 1– Старый Оскол : ТНТ, 2024. – 36 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЛЕРА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО ПРИБОРА

В. А. Гроздов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрена модернизация приемопередающего модуля, предназначенного для обеспечения физического уровня сигналов интерфейса ГОСТР52070, и модернизация контроллера интерфейсов, выполняющего задачу по сбору, обработке и передачи данных с датчиков телеметрического прибора МБКИ-02.

Ключевые слова: приемопередающий модуль, контроллер интерфейсов печатная плата.

Бортовой комплекс «Орбита» в авиастроении обеспечивает измерение параметров и контроль процессов на борту, преобразуя данные в единый телеметрический сигнал для передачи по радиоканалам [3].

Этот комплекс осуществляет летные испытания ракет на практически всей траектории полета. Он включает в себя телеметрический приборМБКИ-02, который занимается измерением, сбором, преобразованием и обработкой телеметрической информации, а также запоминает результаты для передачи через радиоканал системы РТС СК-2.

Недостатками существующего устройства сбора, преобразованием и обработкой телеметрической информации можно отнести то, что:

- в схеме приемника настройка частоты, осуществляется микросхемой TDA7000, которая снята производства 2013 году [1];

- применение импортных микроконтроллеров не отвечает требованиям политики РФ по импортозамещению и усложняет разводку печатной платы [1].

Модернизация прибора МБКИ-02 предусматривает добавление приемопередающего модуля с контролем интерфейсов, что позволит оптимизировать взаимодействие компонентов изделия МБКИ-02 при передаче и приеме сигнала между двумя физически разными средами системы связи, которая позволит осуществить взаимодействия изделия МБКИ-02 в полудуплексном режиме [2].

Структурная схема модернизированного прибора МБКИ-02 представлена на рис. 1.

Структурная схема модернизированного прибора, представленная на рис. 1, работает в двух основных режимах технологическом и рабочем.

Режим работы, в котором функционирует прибор после включения питания, определяется сигналом DSR3V3, после чего прибор переходит в рабочий режим;

В рабочем режиме прибора МБКИ-02 загружается топология ПЛИС, а также стартует программа загрузчик.

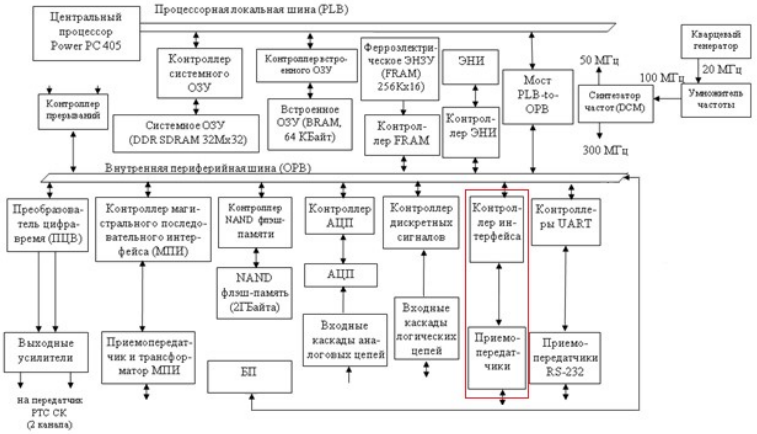


Рис 1. Структурная схема модернизированного прибора

Программа – загрузчик процессора используется для определения вариантов загрузки ПО прибора МБКИ-02 (технологический или рабочий режим).

В технологическом режиме работы программа-загрузчик ожидает команд по интерфейсу RS-232 с персонального компьютера. Технологический режим работы позволяет загружать и запускать тестовые программы, предназначенные для проверки функционирования прибора МБКИ-02 при изготовлении и отладке.

В рабочем режиме программа-загрузчик загружает рабочую программу, хранящуюся в энергонезависимой FRAM-памяти, и передает ей управление. Дальнейшая работа в этом режиме осуществляется под управлением рабочей программы.

На основании технического задания, режим работы модуля должен быть – непрерывным. Питание приема-передатчика должно осуществляться от источника переменного напряжения 9 В, 50 Гц, потребляемая мощность не более 2 Вт, напряжение вторичного электропитания +5 В. Была разработана структурная схема приемопередающего модуля, представленная на рис. 2.

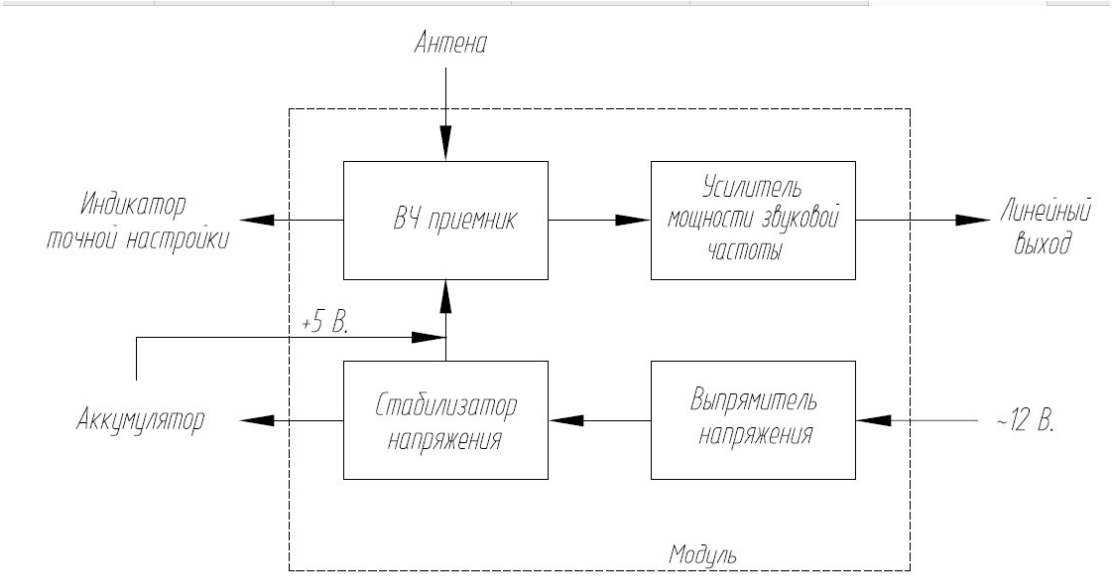


Рис 2. Структурная схема приемопередающего модуля

Приемопередающий модуль состоит из следующих блоков:

- высокочастотный приемник;
- усилитель мощности звуковой частоты (УМЗЧ);
- выпрямитель напряжения;
- стабилизатор напряжения.

Схема электрическая принципиальная приемопередающего модуля, представленная на рис. 3, построена на базе специализированной микросхемы DA1.

Усилитель высокой частоты реализован на транзисторе VT1, первый гетеродин – на VT2, а смеситель – на VT3.

Усилитель промежуточной частоты реализован на транзисторах VT4, VT5.

При приеме сигнала от антенны частота второго гетеродина, входящего в состав микросхемы, будет равна 10,625 МГц.

Между выводами 5 и 6 микросхемы DA1 подключен опорный контур L4C23C24 и емкость варикапа VD2.

Благодаря тому, что в микросхеме DA1 есть система фазовой автоподстройки частоты (устройство сжатия девиации частоты), то на выходе микросхемы получается достаточно качественный и разборчивый сигнал. Далее сигнал проходит через фильтр низких частот C22R23 и разделительный конденсатор C21. Такое схемотехническое решение позволило отказаться от катушек индуктивности в тракте ПЧ, заменив их активными RC-фильтрами.

УМЗЧ представлен микросхемой DA2.

Стабилизатор тока заряда аккумулятора реализован на микросхеме DA3 и транзисторе VT8. Транзистор VT8 включен в цепи отрицательной обратной связи. При зарядке аккумулятора загорается светодиод HL3.

Светодиод HL2 индицирует разряд батареи, управляющий сигнал приходит с транзисторов VT6 и VT7.

Схема электрическая принципиальная приемопередающего модуля представлена на рис. 3.

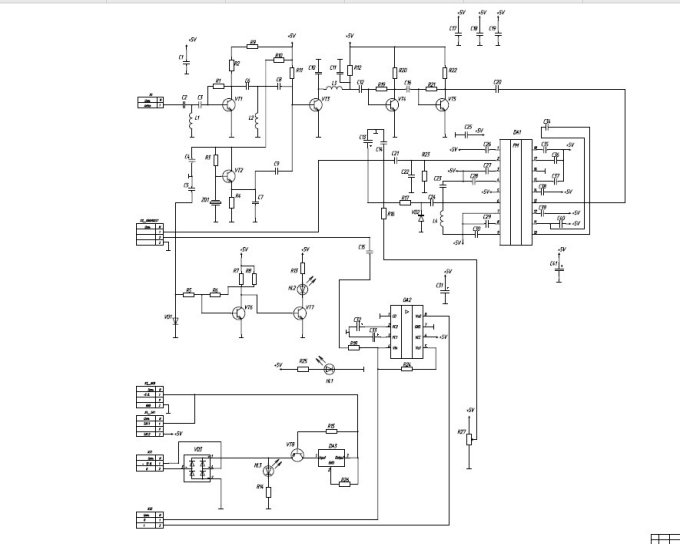


Рис 3. Схема электрическая принципиальная приемопередающего модуля

В схеме электрической принципиальной, которая служит источником разработки, предполагается применение корпусированной элементной базы со штыревыми выводами, что повышает ее защиту от электромагнитного поля и других внешних воздействующих факторов.

Поскольку прибор МБКИ-02 входит в состав бортового комплекса «Орбита», применяемого в авиастроении, то критичными для его конструкции параметрами будут являться габариты и масса [3].

Библиографический список

1. **Аксенов, А.И.** Элементы схем бытовой радиоаппаратуры. Конденсаторы. Резисторы Справочник. – М. : Радио и связь, 1995. – 271 с.
2. Элементы приборных устройств (Основной курс). В 2-х ч. Ч. 1. Детали, соединения и передачи Тищенко О.Ф., Киселев Л.Т., Коваленко А.П. и др.; под ред. Тищенко О.Ф. - М._ Высш. школа, 1982. - 304 с.
3. **Назаров, А.В** Современная телеметрия в теории и на практике учебный курс /., Козырев Г.И., Шитов И.В. [и др.]. – Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2007. – 667 с. ил.;
4. **Васильев, А.Н.** Программирование на C# для начинающих. Особенности языка: Учебное пособие. – М.: Москва, 2019 г. – 528 с.
5. **Шаров, В.А.** Аналоговая схемотехника: учеб. Пособие /В.А. Шаров; Нижегород. гос. техн. университет им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2022. – 178 с.

ИНФОРМАЦИОННАЯ И СТРУКТУРНАЯ ИЗБЫТОЧНОСТЬ В НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

К.О. Гущин, А.А. Гуськов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье приведен обзор и анализ патентов, научных источников по теме избыточных навигационных систем. Представлены варианты компоновки измерительных систем с различным расположением датчиков относительно друг друга на разных типах оснований. Сделан вывод о возможности применения рассмотренных патентов в новых исследованиях.

***Ключевые слова**:* структурная избыточность, информационная избыточность, гироинерциальный блок, избыточная БИНС, акселерометр, гироскоп.

С момента своего появления любая система развивается и изменяется. В инженерии это обусловлено не только неидеальностью технических решений, но и эволюцией смежных направлений деятельности человека. Не являются исключением навигационные системы – требования к их точности и надежности непрерывно растут, что побуждает исследователей искать новаторские решения. Некоторые из них опережают технический прогресс и момент реализации наступает значительно позже. Такие решения могут оставаться актуальными на протяжении многих десятков лет и находить свое применение в современных устройствах и технике. Поэтому любая новая или существующая идея должна рассматриваться в рамках доступных технических возможностей и области применения. Тема бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) и гироинерциальных блоков (ГИБ) с информационной и структурной избыточностью исследуется со второй половины XX века и остается актуальной сегодня. С момента появления избыточных БИНС было опубликовано немало патентов, часть которых не получила развития из-за отсутствия технических или экономических возможностей, поэтому в рамках исследования данной темы необходимо провести обзор и анализ идей для оценки их потенциала и целесообразности реализации.

В 1976 году американская компания *Litton Systems Inc.* зарегистрировала патент *«Tetrahedral redundant inertial reference unit»* (в пер. с англ. «Тетраэдрический инерциальный измерительный блок с резервированием») [1], в котором представлен гироинерциальный блок с резервированием, состоящий из четырех инерциальных измерительных модулей (ИИМ), включающих в себя двухстепенный гироскоп и два акселерометра. Оси вращения гироскопов ориентированы перпендикулярно граням равностороннего тетраэдра. Каждый из ИИМ расположен симметрично относительно друг друга, а угол между осями вращения гироскопов составляет примерно 109,4 градуса. ИИМ 12, 14, 16 и 18, изображенные на рисунке 1, содержат по две чувствительные оси, параллельные соответствующей плоскости равностороннего тетраэдра. На рисунке 2, а, изображен тетраэдр *ABCD*, а на рисунке 2, б, – оси вращения четырех ИММ, установлен-

ных на гранях тетраэдра. Эта система может предоставлять информацию о трехмерной ориентации даже в случае выхода из строя двух ИММ.

Патент 1976 года ссылается на две более ранних работы. Одна из них *«A Redundant Strapdown Inertial Reference Unit (SIRU)»* (в пер. с англ. «Избыточный инерциальный блок отсчета») [2] рассматривает избыточную структуру навигационной системы из шести одностепенных гироскопов, расположенных таким образом, что векторы вращения образуют массив перпендикуляров к граням додекаэдра. Такое расположение осей вращения в инерциальной системе отсчета позволяет сохранить работоспособность системы при двух отказах. Симметрия системы позволяет устанавливать каждый гироскоп и сопутствующее оборудование в опорном блоке модульно, так что каждый модуль можно заменить любым другим, а система может функционировать при удалении до двух модулей.

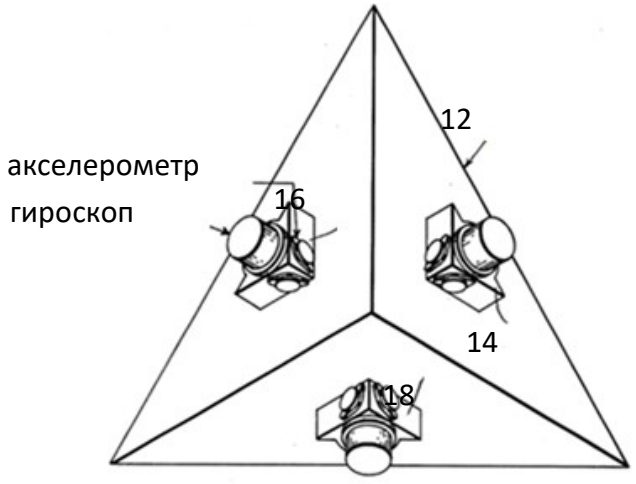


Рис. 1. Тетраэдрическая конфигурация ИИМ

Другой работой является отчет *NASA* [3]. В нем описана схема с использованием четырех двухстепенных гироскопов. Три гироскопа расположены таким образом, что их оси вращения ортогональны друг другу. Ось вращения четвертого гироскопа образует практически одинаковый угол с каждой из трех других осей. Такая конфигурация также позволяет получать достаточно данных, чтобы игнорировать ошибочные выходные сигналы от любых двух гироскопов и при этом иметь достаточно данных для определения местоположения в пространстве. Основным преимуществом данной конфигурации, по сравнению с описанным выше расположением в форме додекаэдра, является меньшее количество датчиков. Однако конфигурация из четырех гироскопов не обладает симметрией и не позволяет использовать модульный подход к упаковке, характерный для конфигурации в форме додекаэдра.

В 2010 году шведской компанией *Imego AB* был опубликован патент «*Inertial measurement unit*» (в пер. с англ. «Инерциальный измерительный блок») [4], представляющий собой решение, в котором с целью создания дифференциальных сигналов датчиков используются четыре одноосевых гироскопа и четы-

ре акселерометра, размещенные таким образом, чтобы угол наклона между осью чувствительности и плоскостью *xy* составлял угол α.

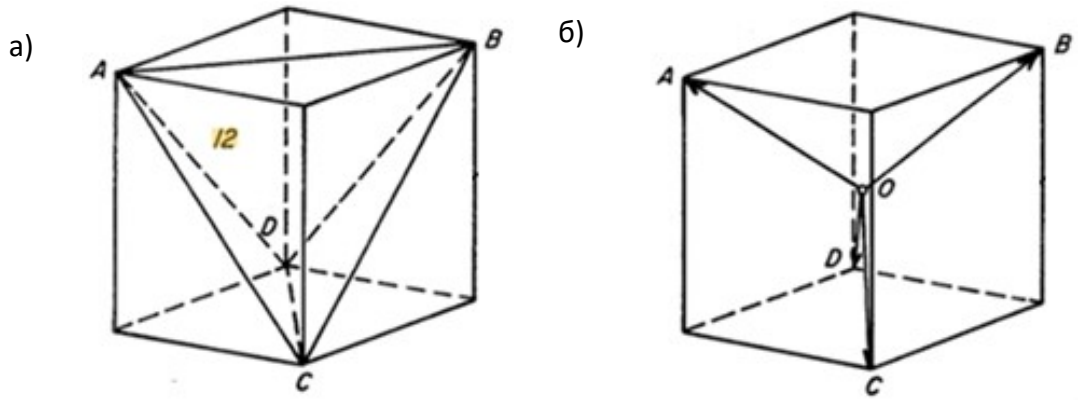


Рис. 2. а) тетраэдрическая конфигурация гироскопов;
б) ориентация осей вращения гироскопов

На рис. 3, *а,* оси чувствительности соответствующих датчиков показаны стрелками и направлены относительно датчиков *1* и *2* под углом α, в то время как оси чувствительности датчиков *3* и *4* направлены наружу под углом β.

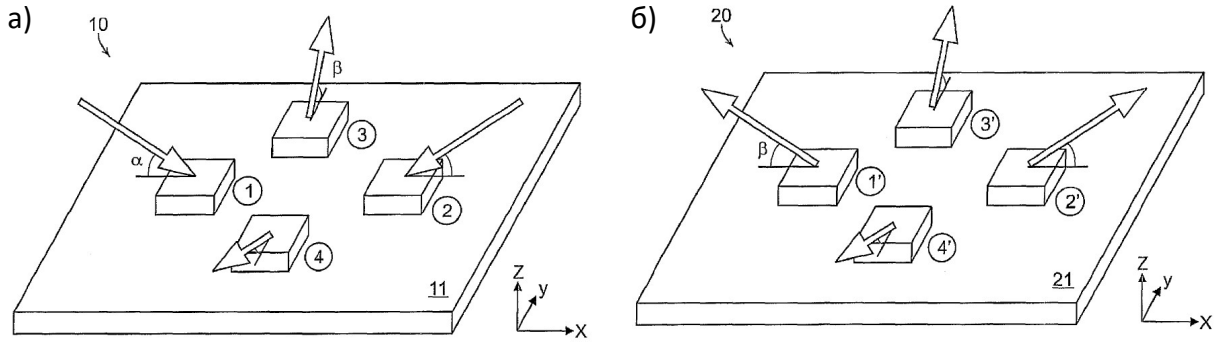


Рис. 3. а) принцип 1 установки датчиков; б) принцип 2 установки датчиков

Сигналы ускорений по осям *x, y, z* получаются следующим образом:

$$x_{\text{сигнал}} \propto 1_{\text{сигнал}} - 2_{\text{сигнал}},$$
$$y_{\text{сигнал}} \propto 3_{\text{сигнал}} - 4_{\text{сигнал}},$$
$$z_{\text{сигнал}} \propto -1_{\text{сигнал}} - 2_{\text{сигнал}} + 3_{\text{сигнал}} + 4_{\text{сигнал}},$$
$$0 = -1_{\text{сигнал}} + 2_{\text{сигнал}} + 3_{\text{сигнал}} - 4_{\text{сигнал}}.$$

Для получения точных измерений во всех направлениях угол наклона α между плоскостью *xy* и соответствующей осью чувствительности датчиков должен находиться в диапазоне от 25 до 50 градусов, предпочтительно около 35 градусов, то есть $\tan^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$.

Более простым способом установки измерителей с точки зрения производства является их ориентация в одном направлении (рис.3, *б*). Оси чувствительности датчиков показаны стрелками и направлены наружу под углом β′.

Рис. 4 иллюстрирует принцип размещения датчиков на пирамидальных подложках. Возможно размещение датчиков таким образом, что ось чувствительности параллельна плоскостям несущих конструкций и направлена вверх или вниз по отношению к плоскостям для получения оптимальной конфигурации с приблизительным углом наклона α к основанию.

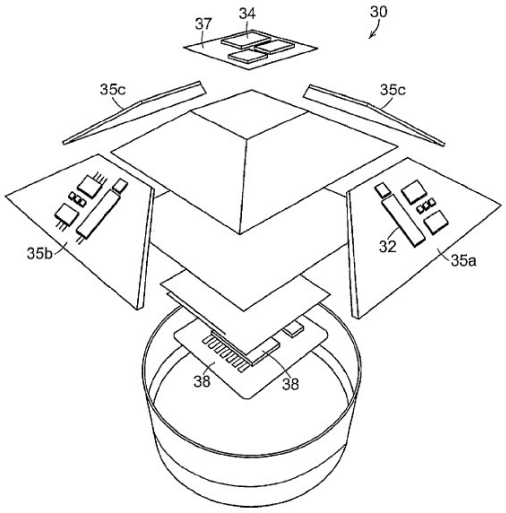


Рис. 4. Установка датчиков на пирамиду

Кроме того, датчики могут быть установлены под «правильным» углом с помощью подложки или посредством анизотропного травления кремния. Последний вариант показан на рис. 5. В подложке *61* вытравливается канавка с наклонными стенками, к одной из которых примыкает гироскоп *62,* образуя угол α между плоскостью и осью чувствительности.

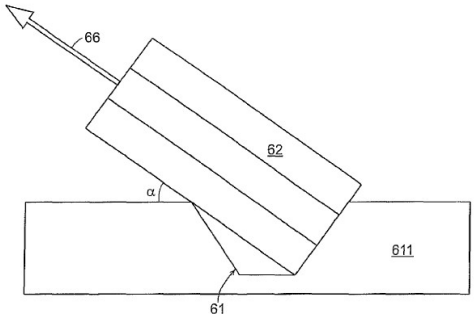


Рис. 5. Установка датчика с помощью анизотропного травления

Среди российских разработчиков БИНС с информационной избыточностью следует выделить группу исследователей из ФГУП «НПЦАП», зарегистрировавших в 2018 году патент «Бесплатформенный инерциальный блок» [5] с применением конфигурации, в основе которой используется додекаэдр, по которому ориентированы шесть акселерометров (АКС) или шесть датчиков угловой скорости (ДУС). На одной из граней пары граней из шести пар граней додекаэдра, параллельных друг другу, установлено по одному датчику с направлением измерительной оси (ИО) относительно нормали к грани додекаэдра. ИО

центрального ДУС1 совпадает с нормалью к грани додекаэдра и с осью направления движения объекта в связанной с объектом движения системе координат, ИО остальных пяти ДУС направлены по нормалям к каждой из пяти граней додекаэдра, как показано на рис. 6, *а*. ИО центрального акселерометра совпадает с нормалью к грани додекаэдра и отклонена от оси направления движения объекта на угол 25 градусов, ИО остальных пяти акселерометров направлены по нормалям к каждой из пяти граней додекаэдра, примыкающих к грани додекаэдра центрального акселерометра (рис. 6, *б*).

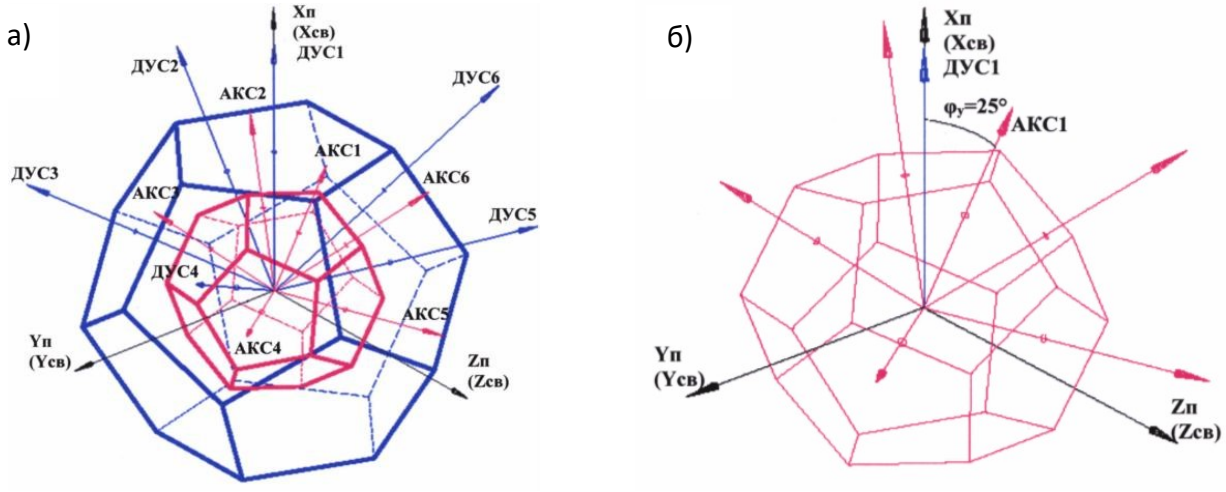


Рис. 6. а) додекаэдр ИО ДУС и АКС; б) додекаэдр ИО АКС

Рассматриваемый патент [5] является развитием работы «Блок преобразователей механической величины в виде линейного ускорения или угловой скорости» [6], зарегистрированной ОАО «РПЗ». В предложенной конфигурации применяются шесть однотипных преобразователей механической величины: акселерометры или датчики угловой скорости, измерительные оси которых ориентированы по многограннику (додекаэдру). Недостатком этой конфигурации является невозможность одновременного измерения параметров движения: линейного ускорения и угловой скорости, так как устанавливается шесть преобразователей одного типа.

Таким образом, развитие избыточных навигационных систем, начавшееся в 1970-х годах, продолжается в настоящее время. В рассмотренных патентах основное внимание уделяется расположению осей чувствительности датчиков относительно друг друга, разной конфигурации оснований: тетраэдр, пирамида, додекаэдр. Варьируется количество используемых датчиков и состав измерительных блоков, а также способы достижения необходимой направленности осей чувствительности. Наиболее актуальными для развития являются патенты [4] и [5]. Представленная в них конфигурация измерителей обеспечивает наибольшую точность измерений при полной работоспособности, однако форма додекаэдра имеет в среднем более высокую точность измерений при отказах датчиков [7]. За счет применения современных микромеханических датчиков

обе разработки могут быть реализованы в минимальных размерах, однако конфигурация с додекаэдром является более сложной из-за двух отдельных оснований для АКС и ДУС. Решение о применении этих патентов должно приниматься с учетом не только их преимуществ и недостатков, но также целей и задач, которые необходимо решить.

Библиографический список

1. Патент № 4179818 США, МПК G01C 19/02. Tetrahedral redundant inertial reference unit: № US 05/730419: заявл. 07.10.1976: опубл. 25.12.1979 / Robet J.G. Craig; заявитель Litton Systems, Inc.: ил. // Google Patents. URL: https://patents.google.com/patent/US4179818A/en (дата обращения: 10.03.2026).
2. **Gilman J. P., McKern R. A**. A Redundant Strapdown Inertial Reference Unit (SIRU)// Journal of Spacecraft and Rockets. – 1972. – Т. 9, № 1. – С. 39–47.
3. Study of the application of two-degree-of-freedom gyroscopes to stabilized navigation systems / Teledyne Systems Company. – NASA CR-132419. – Washington: NASA, 1973.
4. Патент № 7814791 B2 США, МПК G01C 19/00. Inertial measurement unit: № US 11/260877: заявл. 04.09.2007: опубл. 19.10.2010 / G. Andersson, H. Rodjegard; заявитель Imego AB: ил. // Google Patents. URL: https://patents.google.com/patent/US7814791B2/en (дата обращения: 10.03.2026).
5. Патент № 2690004 C1 Российская Федерация, МПК G01C 21/00 (2006.01). Бесплатформенный инерциальный блок: № 2018131664: заявл. 03.09.2018: опубл. 30.05.2019: Бюл. № 16 / Межирицкий Е.Л., Казаков С.В., Смирнов Е.С., Виноградов И.Е., Казаков А.С., Капустин А.С., Тюгова Е.М.: ил. // ФИПС. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2690004&TypeFile=html (дата обращения: 11.03.2026).
6. Патент № 2432548 C1 Российская Федерация, МПК G01C 19/00. Блок преобразователей механической величины в виде линейного ускорения или угловой скорости: № 2010129994/28: заявл. 21.07.2010: опубл. 27.10.2011 / Яковлев В.А., Федоров А.Е., Баженов В.И. Бала О. В.: ил. // Google Patents. URL: https://patents.google.com/patent/RU2432548C1/ru (дата обращения: 11.03.2026).
7. Инерциальные измерительные блоки перспективных изделий ракетно-космической техники: обеспечение отказоустойчивости / Л. В. Водичева, Л. Н. Бельский, Ю. В. Парышева, А. А. Лысцов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 28-44.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАНАЛА АУДИОСИСТЕМЫ

А.Т. Живечкова
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматривается проектирование центрального канала аудиосистемы автомобиля. Описываются основные решения по обеспечению согласованности с другими аудиоканалами и подавлению помех бортовой сети. Предложенное техническое решение позволяет повысить качество звукового сопровождения внутри автомобиля без применения дорогостоящих аудиосистем.

Ключевые слова: аудиоусилитель, центральный канал, усилитель мощности, усилитель звуковой частоты.

Использование центрального канала в автомобильной аудиосистеме набирает популярность вместе с ростом спроса на премиальные мультимедийные решения. Штатные системы часто не обеспечивают четкости речи и вокала из-за отсутствия выделенного канала, а прямое подключение динамика без усилителя вызывает дисбаланс уровней и искажения. Специализированное устройство для центрального канала решает эти проблемы: оно адаптирует многоканальный звук к условиям салона и гармонизирует работу всех компонентов аудиосистемы – это особенно актуально при прослушивании музыки высокого качества [1].

Целью настоящей работы является проектирование усилительного устройства для центрального канала автомобильной аудиосистемы с качественным преобразованием сигнала от головного устройства к центральному динамику.

Структурная схема проектируемого центрального канала аудиосистемы представлена на рис. 1. Она имеет два аудиовхода. Линейный вход предназначен для приема сигнала от автомобильной аудиосистемы и вход усилителя звуковой частоты (УЗЧ) для приема сигнала от автомобильного аудиоусилителя.

С линейного входа сигнал поступает на блок усилителя-вычитателя. Данный блок выполняет предварительное усиление и фильтрацию.

Далее сигнал проходит через фильтр средних частот. Данный узел необходим, так как основная задача центрального канала сбалансировать речевую полосу частот аудиосигнала. Данный фильтр должен обеспечивать минимальное время задержи для согласования стереообраза. Далее сигнал проходит через блок усилителя мощности и поступает на центральный динамик автомобильной аудиосистемы.

Для управления питанием схемы предусмотрен ключ управления питанием, позволяющий дистанционно включать и выключать устройство.

Узел гальванической развязки питания обеспечивает изоляцию схемы от наводок в бортовой сети автомобиля, предохраняет от статического электричества и бросков напряжения.

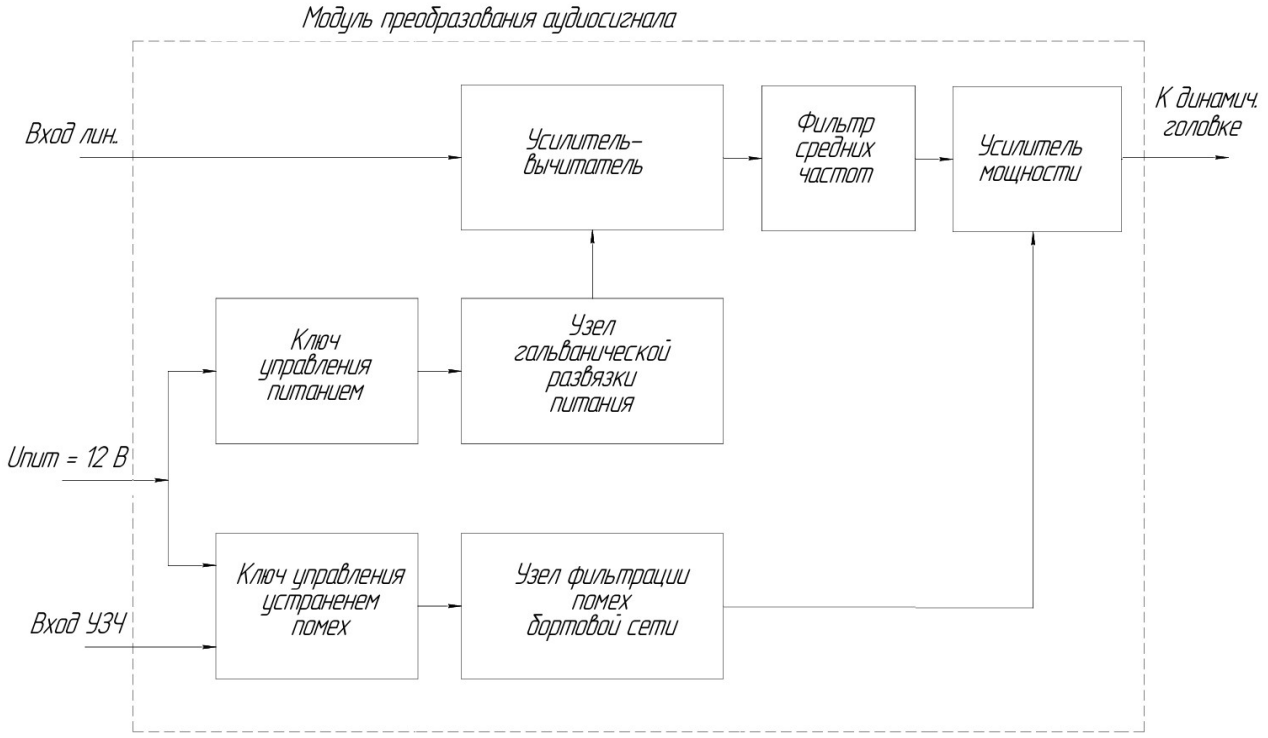


Рис. 1. Структурная схема центрального канала

Дополнительно в схеме предусмотрен ключ управления устранением помех, который автоматически активирует механизмы подавления помех при их обнаружении – например, в момент запуска двигателя.

Узел фильтрации помех бортовой сети выполняет защиту схемы от электромагнитных наводок, возникающих при работе мощных потребителей в автомобиле: зажигания, стартера, кондиционера и прочих систем [2].

Возможность интеграции с внешними процессорами звука или эквалайзерами реализуется через вход УЗЧ. Это расширяет функциональность системы за счет предварительной эквализации (коррекции амплитудно-частотной характеристики до подачи сигнала на усилитель-вычитатель), применения динамической обработки (компрессии и лимитирования для защиты динамиков от перегрузок), а также выполнения мультиканального микширования – суммирования сигналов с различных источников перед подачей на центральный канал.

На рис. 2 представлена схема электрическая принципиальная центрального канала аудиосистемы. Линейный вход представлен разъемом XS3, вход с УЗЧ – разъем XP3.

Усилитель-вычитатель реализован на операционном усилителе (ОУ) DA1. Фильтр средних частот представлен элементами R14, C8, C9. Полоса пропускания фильтра составляет от 320 до 4850 Гц.

Сигнал поступаемый с УЗЧ первоначально проходит через ключ управления устранением помех, данный блок реализован в виде реле K1, K2. Данные реле коммутируют входной сигнал, подавая его либо напрямую на динамик через разъем XS5 либо подключают узел фильтрации помех бортовой сети.

Узел фильтрации помех бортовой сети содержит пассивный RC-фильтр нижних частот, реализованный на компонентах R1 и C5, с частотой 16 кГц, а

также высокочастотный помехоподавляющий фильтр на основе дросселей L1 и L2, предназначенный для минимизации проникновения электромагнитных помех из бортовой сети транспортного средства в тракт усиления сигнала.

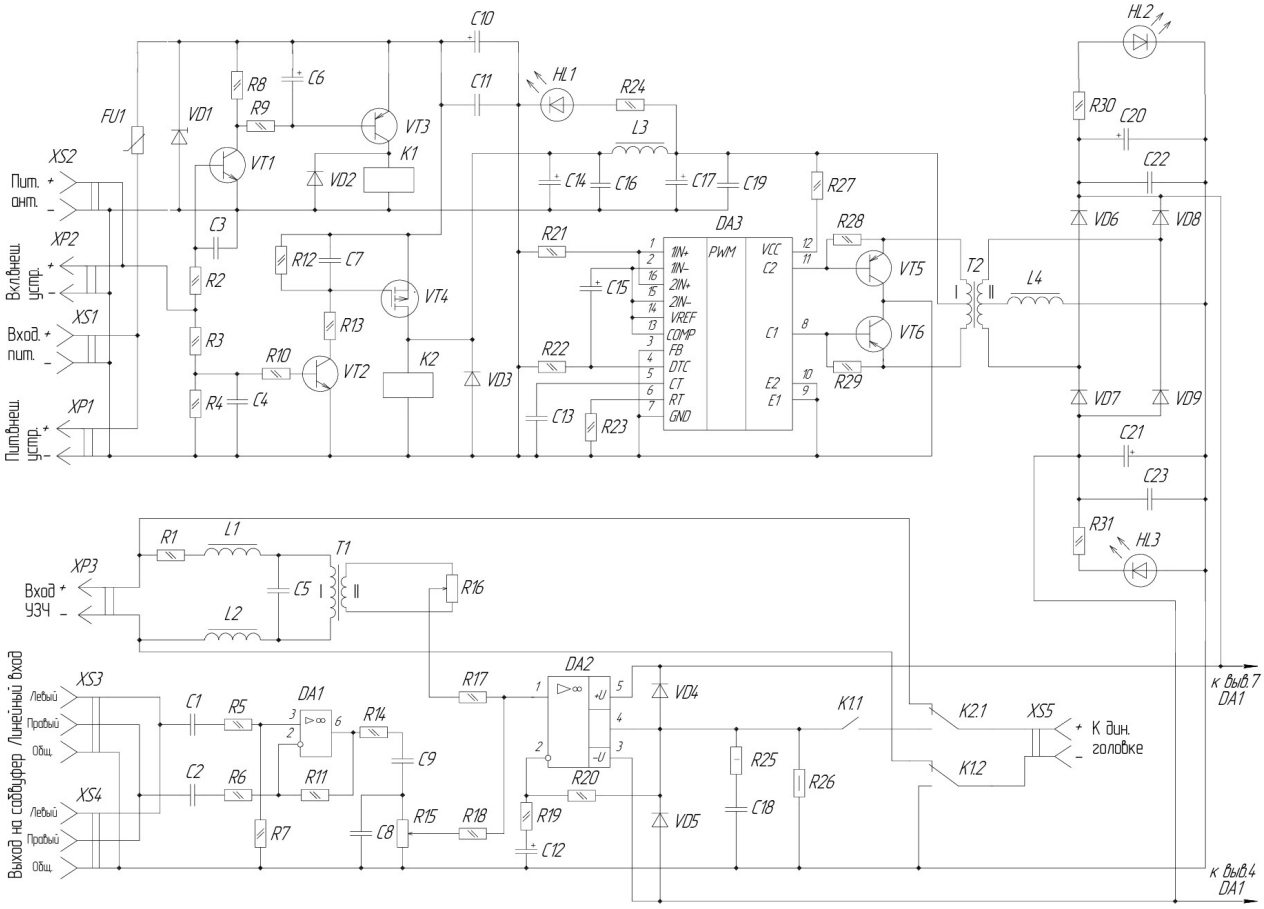


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная центрального канала

Узел усилителя мощности реализован на микросхеме DA2.

Коэффициент усиления для линейного входа и входа УЗЧ настраивается резисторами R15 и R16 соответственно.

Для реализации гальванической развязки в цепи питания применен импульсный преобразователь напряжения DA3. Транзисторы VT5 и VT6 выполняют функцию силовых ключей, коммутирующих ток в первичной обмотке трансформатора T2, который обеспечивает гальваническое разделение входной и выходной цепей.

В схеме управления питанием реализован транзисторный ключ на элементах VT2 и VT4, обеспечивающий коммутацию питающего напряжения по управляющему сигналу от автомагнитолы. Данный узел выполняет функции включения и отключения электропитания нагрузки в соответствии с логическим уровнем входного управляющего сигнала, гарантируя синхронную работу системы с головным аудиоустройством.

Ключ управления устранением помех реализован на транзисторах VT1, VT3 и реле К2. Данный узел осуществляет включение центрального динамика с задержкой, после окончания переходных процессов при подаче питания на уст-

ройство. Задержка составляет около 2 с после получения команды на включение.

Библиографический список

1. **Родин А.В., Тюнин Н.А.** Автомобильные и стационарные аудиосистемы: практическое пособие / А. В. Родин, Н. А. Тюнин. – Москва: Издательство «СОЛОН-Пресс», 2020. – 112 с Валов А.В**.**
2. **Селф Д.** Проектирование усилителей мощности звуковой частоты / Д. Селф; пер. с англ. В. Н. Митрохина; под ред. А. В. Котова. – 2-е изд., испр. – Москва: ДМК Пресс, 2019. – 768 с

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СУББЛОКА ФОРМИРОВАТЕЛЯ КОДОВ УПРАВЛЕНИЯ СИНТЕЗАТОРОМ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ

С.С. Жолоб
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

Проведено проектирование как электрических схем, так и конструкции формирователя кодов управления синтезатором частоты. Обоснован выбор элементной базы и конструктивных решений, приведены технологические требования к изготовлению и монтажу, отмечены особенности компоновки блока и меры по повышению надежности и устойчивости к внешним воздействиям, рассчитаны основные эксплуатационные параметры.

Ключевые слова: формирователь кодов управления, синтезатор частоты, аналого-цифровое преобразование, элементная база, надежность

В системах автоматической подстройки частоты (АПЧ) разработанный формирователь кодов выполняет следующие основные функции:

- формирование цифровых кодов управления режимами работы синтезатора частоты и обеспечение интерфейсов уровней сигналов (TTL, 24–30 В и др.);
- обеспечение синхронизации и согласования входных видео- и синхроимпульсов, а также усиление/формирование управляющих сигналов для последующих блоков;
- реализация аналого-цифрового преобразования управляющих воздействий для повышения надежности и помехоустойчивости системы.

Используя прототип, доработана электрическая и структурная схема формирователя кодов управления (рис.1).

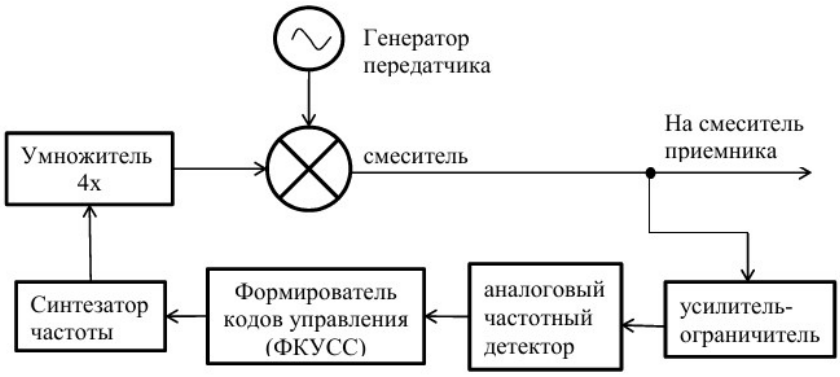


Рис.1. Структурная схема формирователя кодов управления

Проведено проектирование электрических схем формирователя кодов управления синтезатором частоты и разработана его электрическая принципиальная схема. Обоснован выбор микроконтроллера и аналоговых узлов, отмечены особенности схемотехники (инструментальный усилитель, компараторы, преобразователь напряжения), обеспечивающие автоматическую и ручную

подстройку частоты, сохранение настроек и надежность работы в штатных условиях. Рассчитаны основные рабочие режимы и реализованы меры по защите и сохранению данных при отключении питания.

Функции и конструктивные решения

- Микроконтроллер D8 выступает в качествевычислительного узла, который формирует временные задержки, обрабатывает сигналы синхронизации и управляющие команды, обеспечивает переключение каналов, ручную настройку частоты и записывает управляющие коды в выходные буферные регистры D10 и D11.
- Аналоговая часть построена на инструментальном усилителе (D2) и компараторах (D6, D7). Дифференциальный импульсный сигнал детектора преобразуется в однополярный сигнал, усиливается и сдвигается на опорное напряжение 2,5 В для корректной работы триггеров Шмитта компараторов.
- Для получения отрицательного питания (порядка −4,3 В) применен импульсный «зарядовый насос» (D1), обеспечивающий работоспособность ИУ при одном источнике +5 В.
- При отклонении частоты компараторы формируют сигналы «увеличить/уменьшить», которые микроконтроллер интерпретирует и выдает соответствующие коды на регистры управления, изменяя частоту синтезатора на один дискрет (~22 кГц).
- Синхронизация и основной входной сигнал подаются дифференциально и преобразуются приемопередатчиком интерфейса (аналог MAX3088) в однополярные импульсы.
- Предусмотрены ручное управление кнопками «Больше/Меньше» с возможностью записи текущего кода частоты в EEPROM и монитор питания (D9), обеспечивающий перевод МК в RESET при снижении питания для сохранности данных.

Вычислительным ядром системы ФКУСС, структурная схема которого представлена (рис. 2).

Используя прототип, доработана и оформлена электрическая принципиальная схема устройства (рис.3).

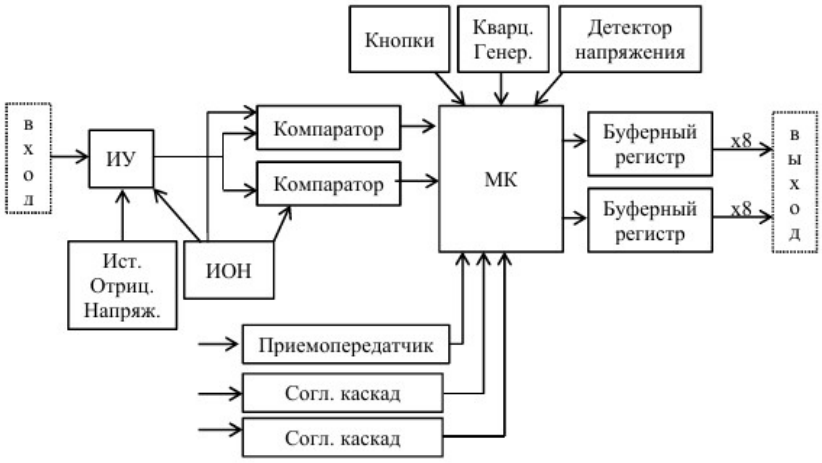


Рис. 2. Структурная схема субблока

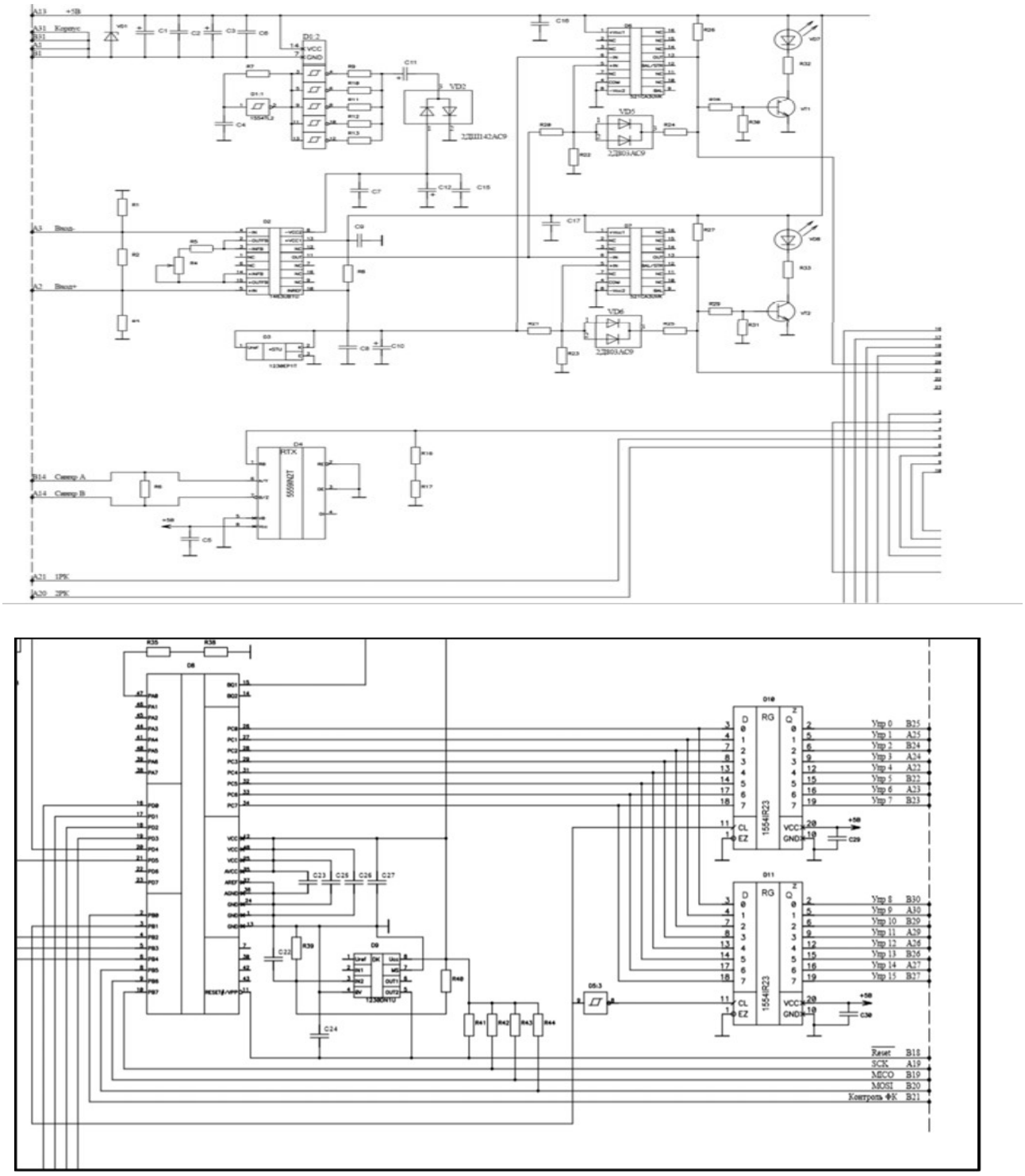


Рис. 3. Электрическая принципиальная схема формирователя кодов управления

Чтобы снизить массу и размеры изделия, применяются SMD-компоненты, так как они компактнее и легче навесных элементов. На рис. 3 приведен сборочный чертеж печатного узла, на рис. 5 – 3D модель печатного узла формирователя кодов управления синтезатором системы АПЧ (ФКУСС). Эксплуатационные условия: диапазон температур −40…+50 °С при атмосферном давлении ниже 60 кПа. Дополнительно конструкция должна сохранять работоспособ-

ность при синусоидальной вибрации с ускорением 2 g в частотном диапазоне 10-70 Гц и обеспечивать наработку на отказ не менее 25 000 часов.

Особенности конструкции ПУ: двухсторонняя печатная плата с монтажом всех элементов на одной стороне, материал основания – фольгированный стеклотекстолит СФ2 35Г, класс точности изготовления – 3, толщина медной фольги – 35 мкм, габариты платы 170×70 мм. Разъем располагается на краю платы с отступом от края и крепежных отверстий не менее 5 мм. Масса изделия должна быть не более 0,65 кг; габариты субблока не более 200×88×30 мм; резьбовое крепление субблока; подключение разъемное; диапазон частот до 25 Гц; питание 4,5…5,5 В.

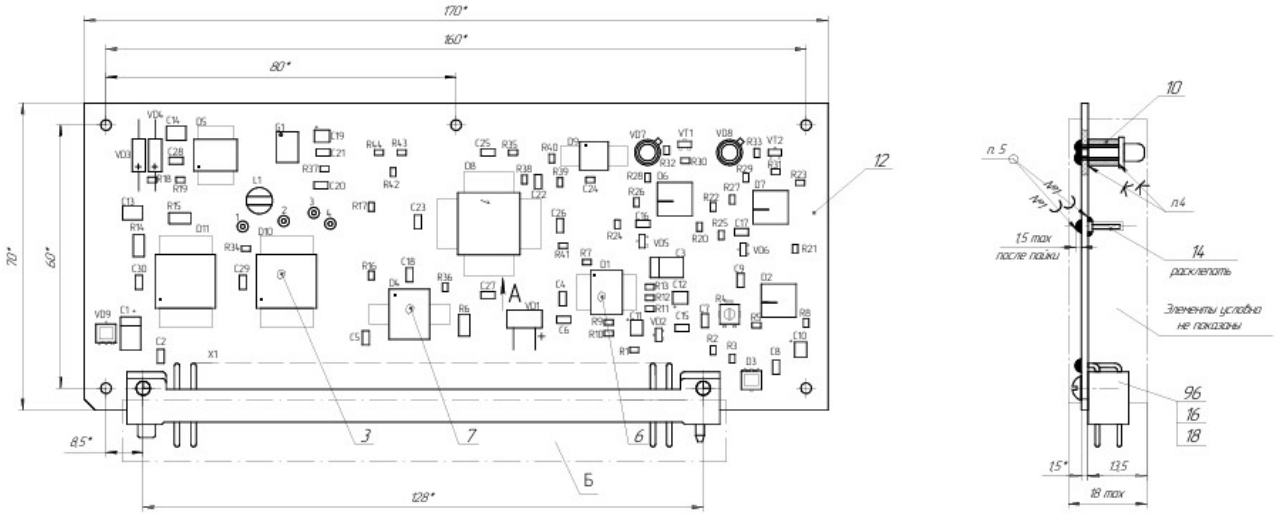


Рис. 4. Сборочный чертеж печатного узла

Целевой субблок формирования управляющих кодов для синтезатора системы АПЧ (ФКУСС) выступает как ключевой элемент конструкции радиотехнического изделия, объединяя печатный узел (ПУ), коммутирующие узлы и сопутствующие электрические компоненты. Существуют два подхода к проектированию несущих конструкций: использование типовых базовых решений и применение оригинальных несущих конструкций. В настоящем исследовании применен второй подход – моноконструкция, предполагающая создание РЭС с оригинальными несущими элементами. Преимущество моноконструкции заключается в возможности учесть специфические функциональные и экологические требования данного субблока, снизить взаимные помехи и оптимизировать размещение высокочастотных и логических ветвей, несмотря на более высокие затраты на проектирование и изготовление. Так как субблок является лабораторным образцом, целесообразно обеспечить достаточную жесткость и устойчивость без применения сложных амортизирующих устройств. Принято решение твердо закрепить ПУ ФКУСС к основанию корпуса по четырем сторонам с применением стоек, гаек и винтов, что обеспечивает требуемую механическую жесткость и надежность контактов при сборке и транспортировке в лабораторных условиях. Установка выполнена в горизонтальном положении относительно основания блока, что повышает устойчивость на рабочих поверхностях и

облегчает доступ к разъемам и элементам во время наладки и ремонта, а также упрощает экранирование и прокладку кабелей [2].

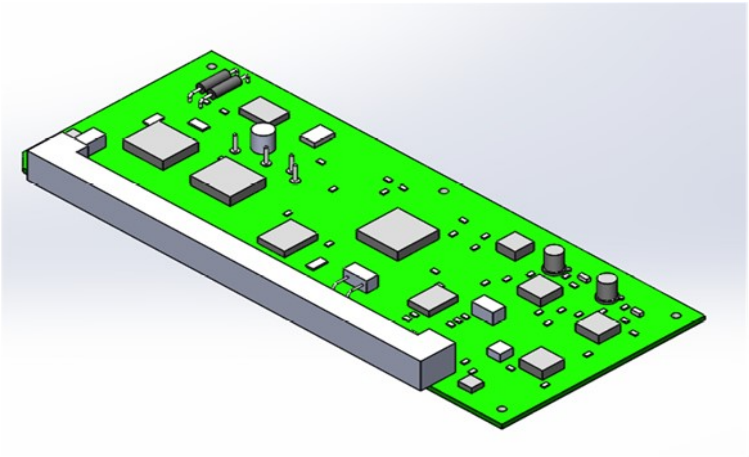


Рис.5. 3D-модель печатного узла формирователя кодов управления синтезатором системы АПЧ (ФКУСС)

Выбор материала корпуса субблока формирователя кодов управления синтезатором системы АПЧ (ФКУСС) выполнен с учетом назначения изделия, условий его эксплуатации и требований технологичности, изложенных в прикрепленной работе и общедоступных источниках. Поскольку корпус будет подвергаться вибрациям и механическим воздействиям в стендовых и лабораторных условиях, а также должен обеспечивать отвод тепла от печатной платы и экранирование от внешних электромагнитных помех, за материал выбран алюминиево-магниевый сплав марки АМг-5052. Этот сплав сочетает достаточную жесткость и прочность при низкой массе изделия, хорошую коррозионную стойкость, хорошую обрабатываемость и теплопроводность, что обосновано требованиями к теплоотведению и защите электрорадиоэлементов.

Для изготовления листовых заготовок выбран способ лазерного раскроя, обеспечивающий высокую точность кромок, минимальную деформацию деталей и экономичность при выпуске партии на листах размером 2500×1500 мм.

Учитывая ограниченное пространство в блоке для горизонтального размещения печатного узла, принято вертикальное расположение ФКУСС. Это диктует требование к повышенной жесткости стенки корпуса, к которой будет закреплен печатный узел, поэтому толщина несущих стенок должна быть не менее 5 мм: уменьшение толщины ведет к снижению механической прочности конструкции и ограничивает размер и надежность крепежных элементов, обеспечивающих фиксирование платы.

Для повышения прочности конструкции и технологичности изготовления целесообразно минимизировать число сварных швов и узлов крепления корпуса. Рекомендуется выполнение основания из цельной пластины с последующей фрезеровкой. Учитывая фиксацию печатного узла к одной стенке, крышку целесообразно выполнить толщиной 2 мм, что снижает массу и упрощает ее изго-

товление и монтаж. На рис. 6 приведен чертеж корпуса, а на рис. 7. представлена 3D-модель блока без крышки.

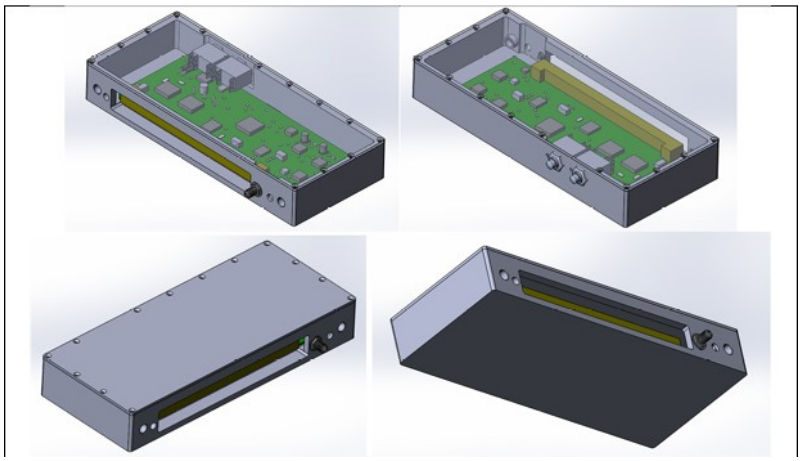


Рис.7. 3D-модель субблока ФКУСС

Вид ячейки, в которой устанавливается субблок ФКУСС, представлен на рис. 8.

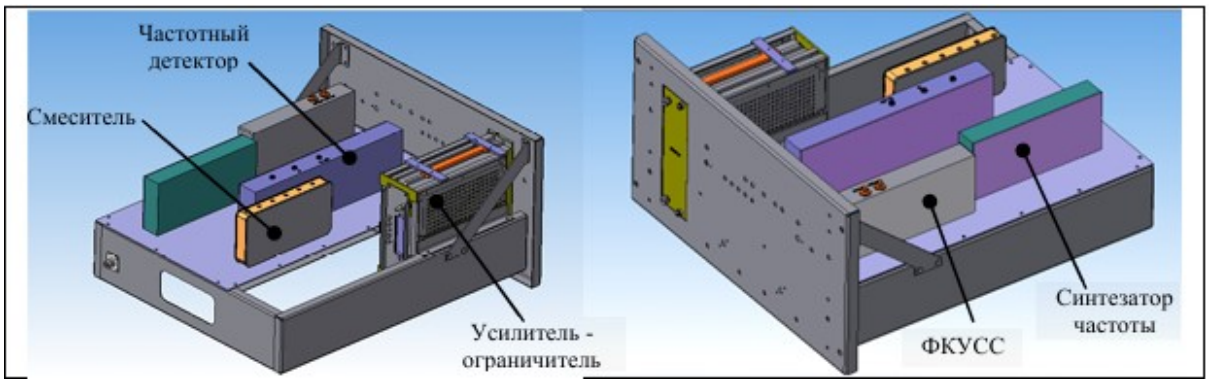


Рис. 8. Внешний вид ячейки

При расчете надежности ориентировочным методом, который используется на этапе эскизного проектирования при наличии электрической принципиальной схемы: наработка на отказ составила 25000 час.

Библиографический список

1. Разработка конструкции субблока формирователя кодов управления для системы АПЧ: технический отчет / авторский коллектив. – 2023.
2. Стандарты и нормативы в области радиотехники и электроники: ГОСТы и ОСТы. – М.: Минпромторг РФ, 2022.
3. Регулировка системы АПЧ. – Текст: электронный // ozlib.com. – URL: https://ozlib.com/995622/tehnika/regulirovka_sistemy
4. Архитектура микроконтроллера LPC2378. Блок ФАПЧ. – Текст: электронный // ids-scheer.ru. – URL: https://ids-scheer.ru/study/courses/1824

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

П.Р. Завгородний, Р.В. Свердлов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрен процесс проектирования устройства измерения давления. Описаны основные технические требования, представлена схема электрическая структурная, описана схема электрическая принципиальная. Обоснован выбор ключевых функциональных узлов и проанализировано их взаимодействие. Показана возможность интеграции устройства в автоматизированные системы управления, сочетающая локальное управление и цифровую передачу данных для надежного мониторинга давления в реальных условиях.

Ключевые слова: устройство измерения давления, датчик давления, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер.

В работе описано проектирование устройства измерения давления. Актуальность разработки данного устройства обусловлена тем, что давление является одним из важнейших параметров многих процессов, от промышленности и энергетики до медицины и науки, следовательно, создание устройства для его измерения, имеющего высокую точность, универсальность, возможность работы с разными видами датчиков является важной задачей. Разрабатываемое устройство должно обеспечивать высокую точность, энергоэффективность, устойчивость к внешним воздействиям, а также возможность интеграции в автоматизированные комплексы [1], для чего должна быть предусмотрена поддержка интерфейсов передачи данных (например, RS-485) и соответствующих протоколов обмена [2].

Для разработки данного устройства были проанализированы его существующие аналоги [2] и условия его эксплуатации. Исходя из анализа были определены технические требования к устройству: питание от источника постоянного напряжения 24 В, потребляемая мощность не более 2 Вт, диапазон измерения давления от минус 100 кПа до 100 кПа, тип выхода – последовательный интерфейс RS-485, наличие выходного силового реле, точность измерения не менее ±3% во всем диапазоне и период обновления информации 100 мс.

На первом этапе разработки была синтезирована структурная схема устройства. Схема представлена на рис. 1. Работа устройства измерения давления представляет собой циклический процесс преобразования физической величины (измеряемого давления рабочей среды) в управляющее воздействие. Датчик давления воспринимает текущее значение давления и формирует пропорциональный по напряжению аналоговый сигнал. Этот сигнал передается на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который преобразует его в цифровой код, пригодный для обработки микроконтроллером.

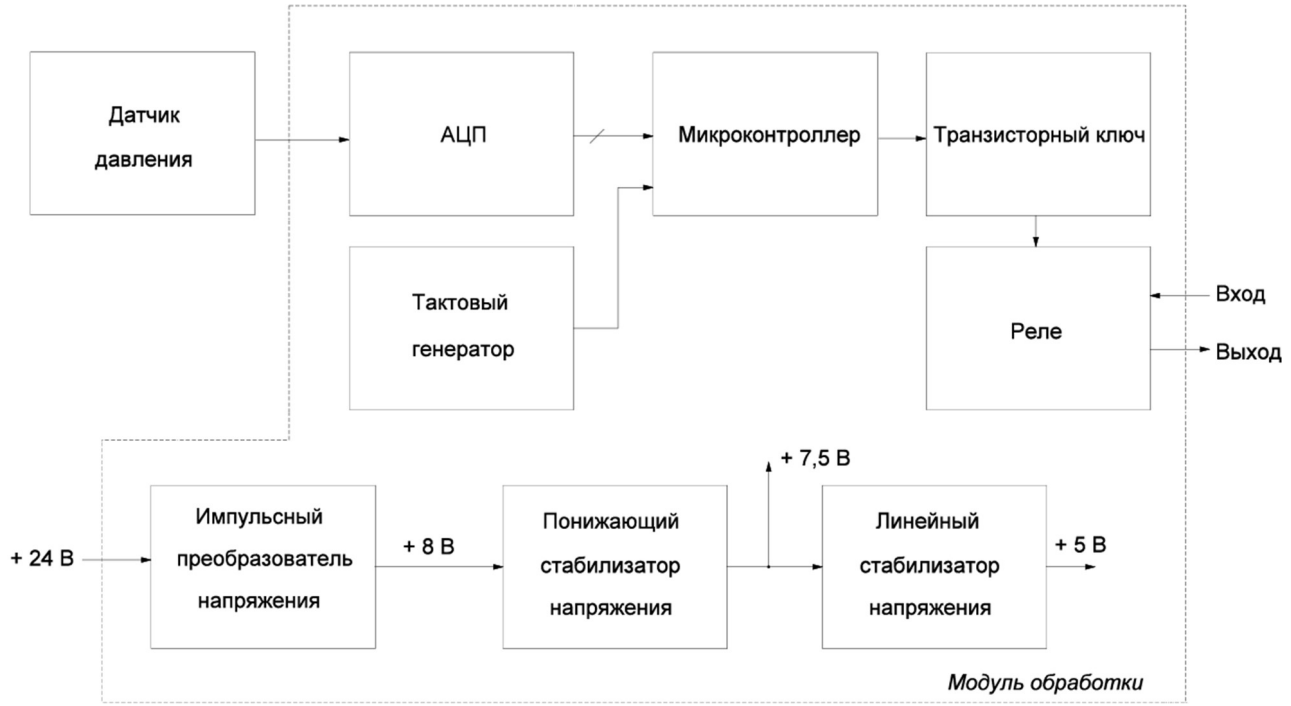


Рис. 1. Структурная схема устройства измерения давления

Микроконтроллер, получив цифровые данные, выполняет их комплексную обработку: применяет цифровые фильтры для подавления высокочастотных помех, вычисляет усредненные значения за определенный интервал времени, а также проводит сравнительный анализ с предустановленными пороговыми значениями давления. На основе результатов анализа микроконтроллер формирует логические решения – например, о необходимости активации исполнительного механизма при выходе давления за допустимые границы. В случае срабатывания условия микроконтроллер генерирует управляющий сигнал, который подается на транзисторный ключ. Ключ, работая в режиме электронного переключателя, коммутирует цепь питания реле, обеспечивая подачу требуемого тока на его обмотку.

Срабатывание реле приводит к замыканию или размыканию силовой цепи, что физически реализует управляющее воздействие – например, включает насос для нормализации давления, активирует сигнализацию при аварийной ситуации или перекрывает клапан.

На втором этапе разработки были синтезированы электрические принципиальные схемы функциональных узлов, представленных на структурной схеме. Осуществлен предварительный выбор основной элементной базы.

На рис. 2 представлена принципиальная схема функциональных узлов: АЦП, микроконтроллер, тактовый генератор.

Схема состоит из трех основных функциональных узлов: АЦП на микросхеме DD1 (AD7192BRUZ), микроконтроллера на микросхеме DD2 (ATmega8-16AU) и тактового генератора на кварцевом резонаторе ZQ1 с частотой 16 МГц. Вход схемы реализован через разъем X1, на который поступает аналоговый сигнал с датчика давления. Питание всех узлов обеспечивается напряжением +5 В по цепи «Ucc».

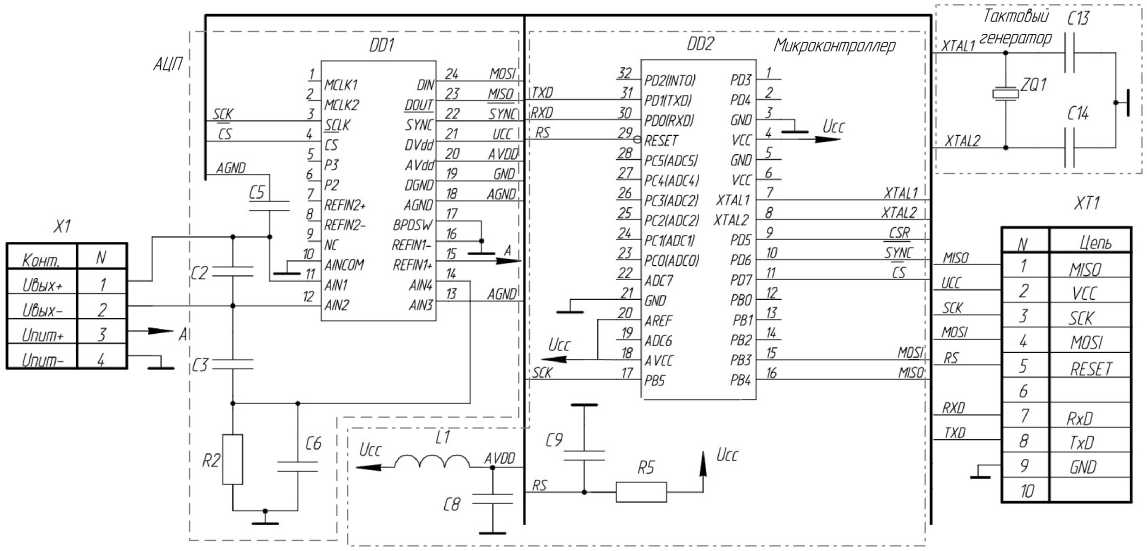


Рис. 2. Схема узлов АЦП, микроконтроллер и тактовый генератор

Микросхема DD1 принимает входной аналоговый сигнал с датчика давления через контакты 1 и 2 разъема X1, выполняет его обработку и передает оцифрованные данные на микроконтроллер через соответствующие сигнальные линии (SCK, MOSI, MISO). Через контакты 3 и 4 разъема X1 осуществляется питание датчика от формируемого АЦП опорного напряжения. Микроконтроллер DD2 обрабатывает полученные данные, выполняет необходимые вычисления и в соответствии с записанной в память микроконтроллера функциональной программой формирует сигнал «CSR».

Дополнительной функцией микроконтроллера является передача оцифрованной информации через интерфейс RS-485. Микроконтроллер формирует данные для передачи и выводит их через разъем XT1, контакты 7, 8. Через контакты 1-5 разъема X1 осуществляете программирование микроконтроллера.

На рис. 3 представлена схема электрическая принципиальная транзисторного ключа и реле устройства измерения давления

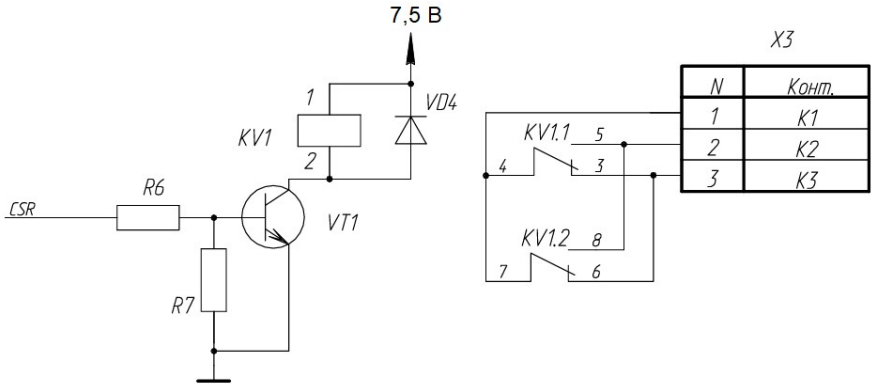


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная транзиторного ключа и реле

Схема содержит транзисторный ключ на VT1 и реле KV1. На вход схемы подается управляющий сигнал «CSR», который через делитель R6R7 поступает

на базу транзистора VT1. При подаче высокого уровня «CSR» на вход, транзистор VT1 открывается, замыкая цепь питания катушки реле KV1. Питание схемы осуществляется от источника напряжением 7,5 В. Диод VD4 защищает транзистор от обратного выброса напряжения, возникающего при отключении катушки реле.

Импульсный преобразователь напряжения и понижающий стабилизатор напряжения представлены на рис. 4.

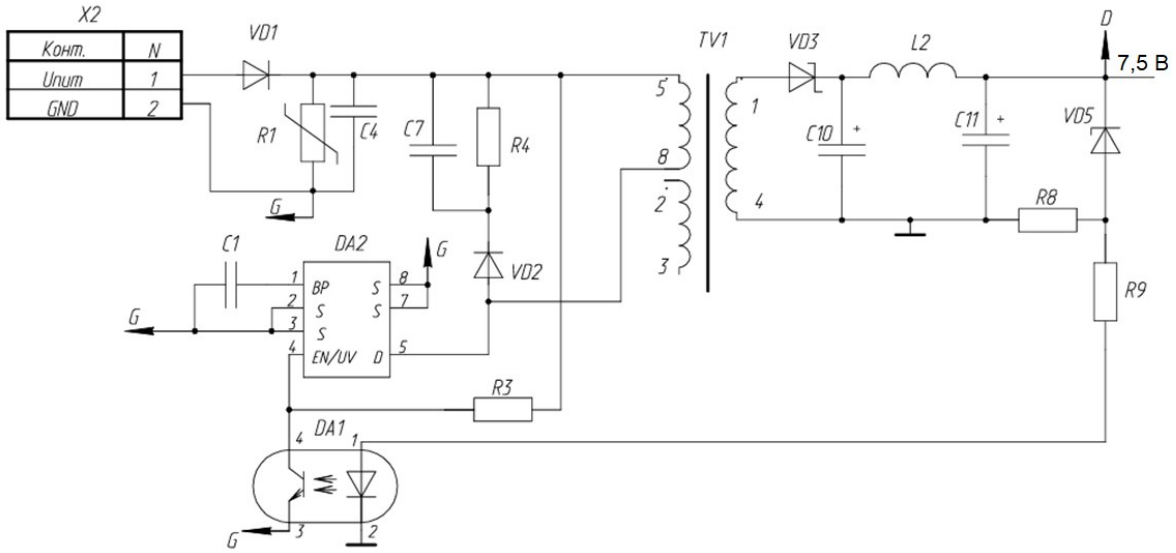


Рис. 4. Схема импульсного преобразователя напряжения

Основным элементом схемы является микросхема DA2 (ШИМ-контроллер TNY264GN-TL). В общем случае преобразователь состоит из нескольких ключевых блоков: входной цепи с выпрямителем и фильтрацией, ШИМ-контроллера, управляющего ключом, трансформатора TV1 и цепи обратной связи для стабилизации выходного напряжения.

Через разъем X2 подается постоянное напряжение уровнем 24 В, далее оно поступает на защитный диод VD1 который предохраняет схему от неправильной полярности питающего напряжения. После диода напряжение поступает на варистор R1, защищающий схему от перенапряжения. Конденсатор C4 является фильтрующим по входной цепи питания.

Работа схемы строится на основе широтно-импульсной модуляции. ШИМ-контроллер DA2 генерирует управляющие импульсы для трансформатора, контролирует обратную связь по выходному напряжению и защищает схему от перегрузок (через вход EN/UV). Импульсы с выхода микросхемы DA2 подаются на первичную обмотку понижающего трансформатора TV1. Трансформатор преобразует напряжение, передавая его на вторичную обмотку с измененным уровнем. Выпрямительный диод VD3 и фильтрующие конденсаторы C10, C11 преобразуют и сглаживают высокочастотные импульсы в стабильное постоянное напряжение. Обратная связь через резисторы R8 и R9 передает сигнал, пропорциональный выходному напряжению, обратно на DA2, позволяя контроллеру корректировать ширину импульсов для стабилизации напряжения.

Такая схема широко применяется в блоках питания, зарядных устройствах и адаптерах, где важны компактность, высокая эффективность и стабильность выходного напряжения.

Схема линейного стабилизатора представлена на рис. 5.

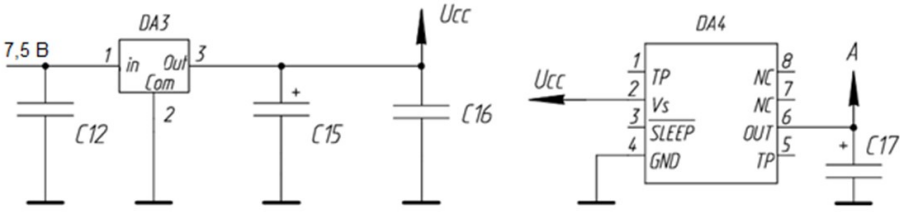


Рис. 5. Схема линейного стабилизатора напряжения

Схема состоит из двух основных компонентов: линейного стабилизатора напряжения DA3 (UA78L05ACLP) и прецизионного источника опорного напряжения DA4 (REF192ESZ). На вход схемы подается напряжение 7,5 В, которое сначала проходит через стабилизатор DA3. Конденсаторы C12, C15 и C16 выполняют функцию фильтрации, сглаживая пульсации входного напряжения и обеспечивая стабильную работу DA3. На выходе DA3 формируется стабилизированное напряжение +5 В, которое используется для питания DA4 и других элементов схемы.

Разработанный вариант устройства измерения давления работает с аналоговыми мембранными датчиками давления, что обеспечивает простоту интеграции и надежность измерений в базовых сценариях применения. Однако такое решение ограничивает возможности применения устройства – оно не совместимо с цифровыми датчиками и может оказаться неэффективным в сложных распределенных системах, где требуются удаленная настройка и расширенная диагностика. Однако, в ходе дальнейших работ будет рассмотрен вариант повышения универсальности устройства путем расширения типа подключаемых датчиков (тензорезистивный, емкостной, вибрационно-частотный, тензорезисторный), расширения поддержки стандартных промышленных интерфейсов обмена данными и добавления функций самодиагностики, что позволит расширить область применения устройства и адаптировать его к требованиям современных автоматизированных систем управления.

Библиографический список

1. **Раннев, Г. Г.** Методы и средства измерений : учебник / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 330 с.
2. **Фрайден, Дж.** Современные датчики / Дж. Фрайден. – М. : Техносфера, 2006.
3. **Угрюмов, Е. П.** Цифровая схемотехника / Е. П. Угрюмов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2017. – 816 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ 3Д-МОДЕЛЕЙ В СРЕДЕ BLENDER ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ В СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

С.М. Зотов, М.А. Кожевяткина
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматривается проблема интеграции высокодетализированных фотограмметрических моделей в интерактивные среды виртуальной реальности (*VR*). Основное препятствие заключается в избыточной полигональной сложности исходных сканов, что приводит к снижению производительности рендеринга и нарушению требований к частоте кадров в *VR*-шлемах. Предложен методологический подход к оптимизации геометрии и текстур с использованием программного пакета Blender. Проведен сравнительный анализ методов ретопологии и запекания карт нормалей.

***Ключевые слова*:** фотограмметрия, виртуальная реальность, оптимизация 3D-моделей, Blender, ретопология, производительность рендеринга

Виртуальная реальность находит применение в различных сферах деятельности: образование, музейное дело, архитектурное проектирование, промышленный дизайн, медицинская визуализация. Для обеспечения эффекта присутствия и достижения высокого уровня погружения объекты виртуального мира должны выглядеть реалистично и максимально соответствовать своим реальным прототипам. Особенно это важно в образовательных приложениях, где учащиеся изучают реальные объекты, и в музеях, где создаются цифровые копии экспонатов.

Самый простой способ сделать цифровую копию физического объекта – это сфотографировать его под разными углами, а потом обработать эти снимки, чтобы получить 3D-модель. Этот метод называется фотограмметрией. Суть в том, что человек фотографирует объект со всех сторон, а программа самостоятельно собирает из этого трехмерную модель. Фотограмметрия стоит относительно недорого, потому что не требует применения специальных приборов, будет достаточно обычной камеры и компьютера.

Тем не менее, у фотограмметрии, как метода, есть серьезный минус. Программа строит модель с чрезмерным количеством деталей, применяя миллионы полигонов, чтобы точно показать все недостатки поверхности.

Для обычного просмотра такая детализация подходит, но для виртуальной реальности это может создать серьезные трудности. *VR*-шлемы требуют высокой частоты обновления – от 72 кадров в секунду, а для комфортной работы – от 90 кадров в секунду. Это нужно, чтобы мозг воспринимал картинку как реальность без дискомфорта.

Именно поэтому 3D-модели, созданные с помощью фотограмметрии, перед внедрением в виртуальную среду требуют оптимизации, которая обычно включает уменьшение количества полигонов, сжатие текстур, исправление геометрических ошибок и подготовку материалов, чтобы они корректно показывались в реальном времени.

Качество и детализация модели зависят от качества исходных фотографий. Ошибки на этапе съемки почти невозможно полностью исправить потом. Поэтому данному этапу уделяется особое внимание. Исследователь должен снимать с помощью цифровой камеры с фиксированным фокусом, переключая ее в ручной режим для настройки экспозиции. Так все фотографии получаются с одинаковой яркостью и цветом.

Объект ставят на ровную поверхность с нейтральным фоном и фотографируют, двигая камеру вокруг него по кругу. Важно, чтобы освещение было равномерным и мягким, без резких теней или бликов.

Снимают объект с разных углов – сбоку, сверху и снизу – чтобы охватить всю форму. Кроме того, фото делают не только по горизонтали, но и с наклоном камеры под разными углами, чтобы программа могла увидеть все поверхности модели. Каждый последующий кадр должен перекрывать предыдущий примерно на 50-70%. Такое перекрытие обеспечивает достаточное количество общих точек на соседних фотографиях.

Для создания качественной модели делается в среднем от 40 до 100 фотографий.



Рис. 1. Примеры фотографий объекта, сделанные с разных ракурсов

На рис. 1 представлены исходные фотографии объекта. Объект находится в фокусе, детали поверхности четко различимы, видна фактура материала. Фотографии сделаны с достаточным перекрытием, что позволяет программе надежно сопоставить соседние кадры. Данные материалы послужили основой для построения 3D-модели.

Сначала фотографии загружают в программу *Agisoft Metashape*. Программа анализирует кадры. Он находит участки с контрастом и особой текстурой. Затем система ищет одинаковые точки на разных снимках.

По найденным точкам вычисляется позиция камеры. Программа определяет ее угол наклона для каждого кадра. Так формируется разреженное облако точек. После этого строится плотное облако. В нем содержатся 3Д-координаты миллионов точек поверхности. На плотность облака влияет разрешение фото. Также важна детализация объекта.

На следующем этапе облако точек преобразуется в полигональную сетку путем соединения соседних точек треугольными гранями. Завершающий этап – наложение текстур. Программа проецирует исходные фотографии на полигональную сетку, создавая цветное покрытие модели. Для повышения качества применяют сшивание текстур, чтобы сделать переходы между фотографиями менее заметными. Полученная модель точно повторяет форму объекта, но при этом имеет слишком сложную структуру. Количество полигонов может достигать нескольких миллионов, а сетка состоит из треугольников разных размеров и форм, расположенных хаотично. В деталях полигонов слишком много, тогда как на гладких участках детализация излишняя и не нужна. Текстуры тоже занимают много места.

Использовать такую модель в виртуальной реальности сложно, потому что она слишком нагружает систему. Видеокарта не успевает обрабатывать миллионы полигонов и текстуры высокого разрешения в реальном времени, из-за чего частота кадров сильно падает и становится слишком низкой. Требуется тщательная оптимизация для адаптации модели к требованиям VR-приложений.

Для оптимизации модели выбрана программа *Blender* – профессиональный инструмент для работы с трехмерной графикой. Основная задача заключается в снижении сложности модели без потери качества. Необходимо уменьшить количество полигонов на один-два порядка, оптимизировать текстуры и исправить геометрические ошибки, сохранив при этом узнаваемость объекта и детализацию его поверхности.

После загрузки модели в *Blender* удаляются посторонние элементы и геометрический шум. Модели, полученные методом фотограмметрии, часто содержат части фона, артефакты реконструкции, шумовые выбросы точек. С помощью инструментов выделения и редактирования в данной программе можно удалить все посторонние объекты, оставив только геометрию целевого объекта.

Далее выполняется проверка и исправление топологии сетки. С помощью встроенных инструментов устраняются основные дефекты.

Ключевой этап – уменьшение числа полигонов. Исходная модель состоит из миллионов мелких элементов. С помощью инструментов *Blender* количество граней можно сократить примерно в сто раз.

При уменьшении количества полигонов модель неизбежно теряет мелкие геометрические детали. Для компенсации этих потерь применяется техника запекания карт нормалей – специальных текстур, которые хранят информацию о

направлении нормалей (перпендикуляров к поверхности) для каждой точки. Текстуру накладывают на упрощенную модель. Графический движок рассчитывает освещение особым образом. Свет ложится так, будто геометрия сложная. На самом деле поверхность остается гладкой.

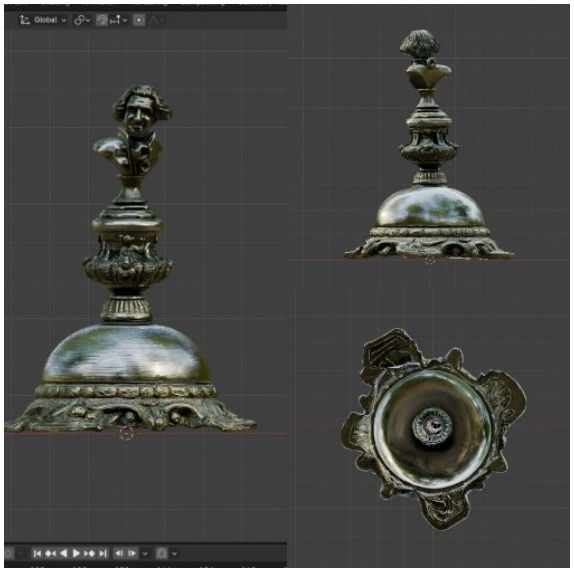


Рис. 2. Оцифрованная модель в ПО *Blender*

Оптимизированная модель далее загружается в среду *Unity*.

Исходная модель обеспечивала частоту обновления около 20 кадров в секунду на тестовой системе среднего уровня, что недостаточно для комфортной работы. Наблюдались значительные задержки, артефакты изображения и нестабильная работа приложения. После оптимизации частота увеличилась до 90 кадров в секунду, изображение стало плавным и четким.

Практический опыт подтверждает возможность эффективного использования фотограмметрии для создания контента виртуальной реальности. Важным условием является обязательная постобработка моделей.

Библиографический список

1. ***Соколов, А.В.*** Фотограмметрия: учебное пособие для вузов / А.В. Соколов, И.С. Петров. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – 384 с.

2. Академия цифровых технологий. Оптимизация 3D-моделей для реального времени: учебный курс: офиц. сайт. - URL: https://adt.edu.ru/courses/3d-optimization (дата обращения: 09.03.2026).

3. Российская ассоциация по компьютерной графике. Методические рекомендации по созданию контента для виртуальной реальности. – М.: РАКГ, 2023. – 56 с.

4. Центр цифрового культурного наследия. Фотограмметрия в музейной практике: практическое руководство. – Санкт-Петербург: ЦЦКН, 2022. – 128 с.

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Н.В. Зубков
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье предложен подход к реализации цифрового двойника газотурбинного двигателя, основанный на интеграции физических параметров, получаемых с измерительной аппаратуры, в качестве входных воздействий модели. Описана структура разработанной компьютерной модели. Рассмотрены особенности реализации интеграции измерительных данных с использованием встроенных Embedded-библиотек и средств автоматической генерации кода.

***Ключевые слова*:** газотурбинный двигатель, цифровой двойник, Simulink, Matlab

Современные газотурбинные двигатели являются сложными многофизическими объектами, работа которых сопровождается значительными динамическими нагрузками, тепловыми процессами и вибрациями. Надежность и безопасность эксплуатации ГТД напрямую зависят от своевременного обнаружения отклонений в работе узлов и агрегатов [1].

Традиционные методы диагностики основаны на анализе измеряемых параметров (вибрации, температуры, давления), однако они часто не позволяют в полной мере оценить внутренние процессы двигателя и прогнозировать развитие дефектов [2].

В связи с этим особую актуальность приобретает применение цифровых двойников – математических моделей, синхронизированных с реальным объектом.

Актуальность разработки цифровых двойников ГТД определяется следующими факторами:

1) необходимость повышения надежности, ресурса работы двигателей;
2) переход к предиктивному обслуживанию оборудования;
3) увеличение требований к точности диагностики;
4) развитие технологий моделирования и вычислительных средств;
5) возможность интеграции реальных измерительных данных в модель в режиме, близком к реальному времени.

Использование цифрового двойника позволяет не только фиксировать текущее состояние двигателя, но и прогнозировать его поведение при различных режимах работы и внешних воздействиях.

Одной из основных проблем в данном направлении исследования является отсутствие универсального инструмента, позволяющего объединять математические модели газотурбинного двигателя и реальные измерительные данные с датчиков.

Для устранения указанного недостатка в работе предложен подход, основанный на разработке цифрового двойника газотурбинного двигателя, реализованного в среде Simscape Simulink, с возможностью прямой интеграции данных измерительной системы [3].

Предлагаемое решение позволяет объединить физическую модель газодинамических и механических процессов с потоками данных, поступающих от вибрационных датчиков, обеспечивая тем самым синхронизацию расчетного и реального состояния объекта.

Компьютерная модель цифрового двойника газотурбинного двигателя, которая является результатом применения данного подхода, представлена на рис. 1.

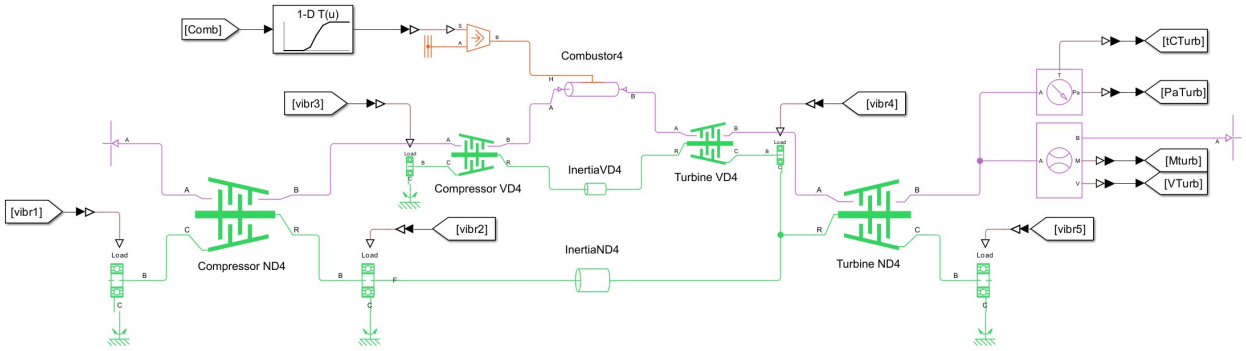


Рис. 1. Компьютерная модель цифрового двойника газотурбинного двигателя

Функциональные элементы компьютерной модели

1. Компрессор высокого и низкого давления (в схеме: Compressor ND4, VD4). Функционально обеспечивают сжатие газа в рабочем канале. Модель позволяет учитывать динамику давления, расхода и механическую связь с валом.

2. Блок камеры сгорания (в схеме: Combustor) моделирует в схеме процесс подачи топлива и преобразование в тепловую энергию, формируя высокотемпературный газовый поток на выходе.

3. Турбина высокого и низкого давления (в схеме: Turbine ND4, VD4). Функционально блок реализует преобразование энергии газа в механическую работу. Механическая связь с компрессорами высокого и низкого давления осуществляется через инерционных блоки.

4. Механические инерционные блоки (в схеме: Inertia) описывают динамику вращающихся масс (роторных систем), обеспечивая механическую передачу момента.

5. Измерительные блоки газовоздушного тракта формируют выходные параметры:

- давление (PaTurb);
- температура (tCTurb);
- массовый расход (MTurb);
- объемный расход (VTurb).

6. Входные воздействия в модели: значения вибрации (vibr1–vibr5), которые имитируют или передают реальные данные с датчиков на опорах.

Особое значение в разработанной системе имеет механизм ввода внешних воздействий в модель, представленных сигналами вибрации (vibr1–vibr5).

В отличие от традиционного моделирования, где входные воздействия задаются программно, в предлагаемом подходе используется поток реальных измерений. Измеренные параметры физических величин поступают с вибрационных датчиков, которые установлены на опорах газотурбинного двигателя.

Реализация описанного подхода обеспечивается в результате применения встроенных в Simulink Embedded библиотек. Данные библиотеки ориентированы на работу с микроконтроллерными платформами. Встроенный библиотеки предоставляют доступ к различным периферийным модулям, таким как: аналого-цифровые преобразователи, таймеры и интерфейсы связи (USART, I2C, SPI), что существенно упрощает разработку измерительных алгоритмов для встраиваемых систем.

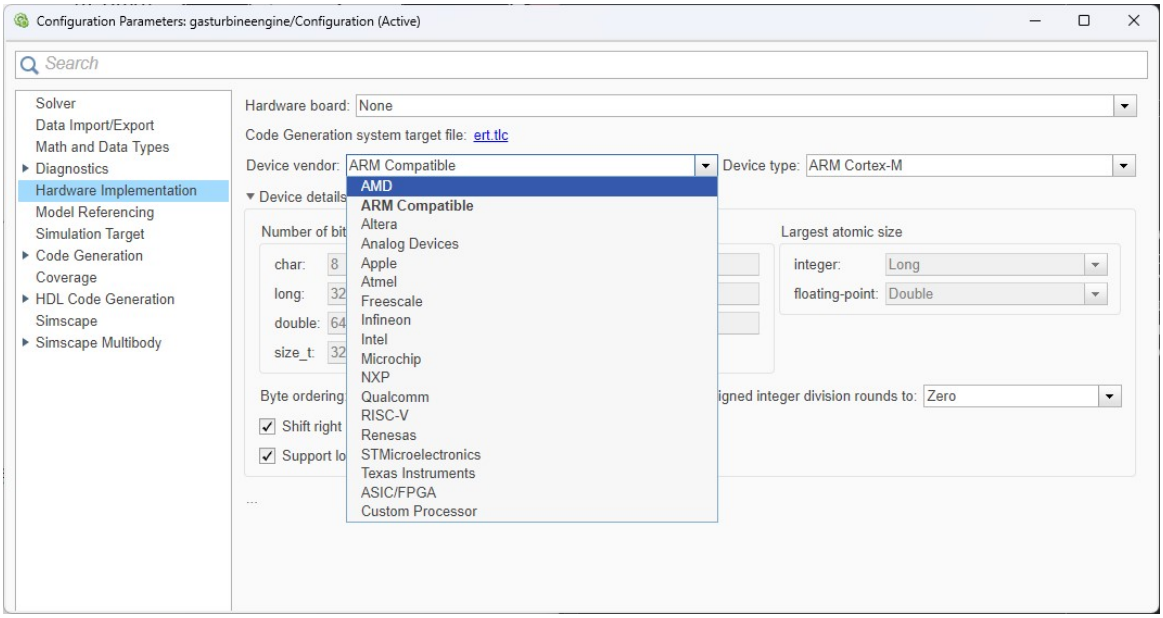


Рис. 2. Настройка аппаратно-зависимых параметров и выбор целевого устройства при генерации кода (Embedded Coder)

Дополнительным преимуществом применяемого подхода является автоматическая генерация программного кода на основе, построенной в среде Simulink модели. Данное преимущество позволяет разрабатывать код (прошивку), в которой алгоритмы сбора и передачи данных структурно соответствуют математической модели, используемых в цифровом двойнике.

Интеграция с компьютерной моделью осуществляется на базе инструментов, который обеспечивают обмен данными между вычислительной средой и аппаратной частью системы. Измеренные сигналы, используемые в модели в качестве входных воздействий, в данном случае интегрируются в модель в режиме реального времени.

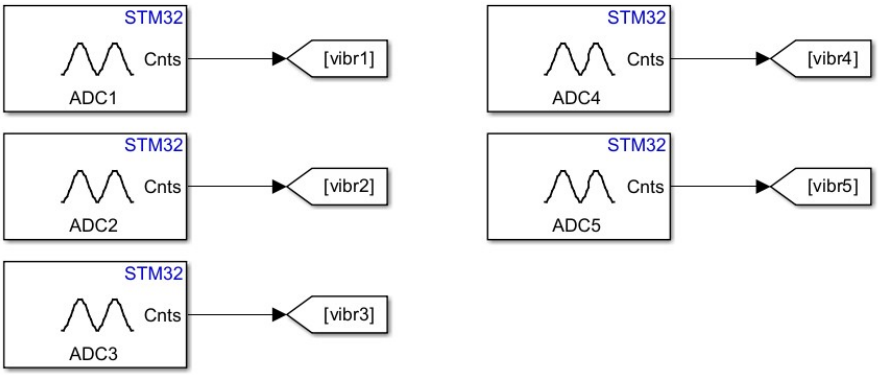


Рис. 3. Формирование входных сигналов вибрации (vibr1–vibr5) на основе данных АЦП

Особое внимание при реализации данного подхода уделяется согласованию временных параметров измерительной и компьютерной модели (частота дискретизации, шаг расчета). Для того чтобы исключить ошибки в моделировании и обеспечить корректность проводимых расчетов частота дискретизации измерительной системы должна быть синхронизирована с шагом интегрирования компьютерной модели.

Таким образом, в данном подходе реализуется замкнутая расчетно-измерительная система, в которой цифровой двойник представлен как динамическое отражение реального двигателя. Вибрационные воздействия, измеренные на реальном двигателе, влияют на поведение компьютерной модели в Simulink. Подход реализации цифрового двойника позволяет: проводить анализ реакции системы на реальные эксплуатационные воздействия, выявлять отклонения от номинальных режимов.

Предложенный подход реализации цифрового двойника отличается объединяет средства физического моделирования и реальные измерительные данные в рамках единой вычислительной среды. Использование встроенных библиотек и средств автоматической генерации кода обеспечивает универсальность и масштабируемость решения, позволяя адаптировать его к различным типам датчиков и аппаратных платформ.

Библиографический список

1. ***Губанов, В.П.*** Диагностика технического состояния газотурбинных двигателей [Текст]/ В.П. Губанов. – М.: Машиностроение, 2018. – 320 с.
2. ***Болдырев, В.В.*** Методы анализа вибрации в задачах диагностики машин и механизмов // Вестник машиностроения. – 2019. – №5. – С. 45–52.
3. MathWorks. Embedded Coder Documentation. – URL: https://www.mathworks.com (дата обращения: 10.03.2026).

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ

Е.М. Кангин, В.В. Глебов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрены принципы и методы защиты машин, оборудования или конструкций от воздействия нежелательной вибрации.

Ключевые слова: виброизоляция, демпфирование вибрации, уход от резонанса, передача энергии связанной колебательной системе, активная виброзащита.

Для снижения вредного воздействия вибрации на машины, технические устройства и строительные конструкции применяют несколько базовых способов вибрационной защиты. К числу наиболее распространенных относятся:

1) виброизоляция;
2) демпфирование;
3) уход от резонанса;
4) вибропоглощение за счет передачи энергии дополнительной колебательной системе;
5) активные методы виброзащиты.

Сущность виброизоляции заключается в установке между источником колебаний и защищаемым объектом специальных упругих элементов – виброизоляторов. Их назначение состоит в ослаблении передачи динамических усилий от источника к конструкции.

При использовании виброизолирующих устройств снижается поток механической энергии, поступающей в систему, что приводит к уменьшению амплитуды ее колебаний по сравнению с вариантом жесткого соединения без изоляции. Таким образом, основной эффект достигается за счет разобщения источника возбуждения и защищаемого объекта.

Другим распространенным способом является демпфирование, основанное на рассеянии энергии колебательного процесса. В этом случае в систему вводится элемент с заданными демпфирующими свойствами, который поглощает часть механической энергии.

Если при виброизоляции энергия преимущественно ограничивается на пути передачи, то при демпфировании она рассеивается непосредственно в самой системе. Часть кинетической энергии преобразуется, как правило, в тепловую, что приводит к уменьшению амплитуды колебаний.

Данный метод особенно эффективен в области собственных частот системы, то есть вблизи резонанса. Как известно, при совпадении частоты внешнего воздействия с собственной частотой объекта амплитуда колебаний существенно возрастает. Введение демпфирования позволяет ограничить этот рост и снизить динамические нагрузки.

Параметры колебательной системы определяются ее массой, жесткостью и величиной демпфирования. Изменение массы или упругих характеристик приводит к смещению собственной частоты. За счет корректировки этих параметров можно добиться расхождения между собственной частотой и частотой возбуждения, что позволяет вывести систему из резонансного режима и уменьшить интенсивность вибраций.

Уход от резонанса. Метод ухода от резонанса основан на изменении динамических характеристик системы. Чаще всего это достигается увеличением или уменьшением массы, а также изменением жесткости конструкции. В результате собственная частота смещается, и совпадение с частотой внешнего воздействия устраняется.

Передача энергии связанной колебательной системе. Уменьшить амплитуду колебаний системы можно еще одним способом, а именно: связать (соединить) ее с другой колебательной системой – инерционным демпфером (иначе называемым «инерционным гасителем»), настроить параметры связанной системы: массу, демпфирующие свойства и жесткость таким образом, чтобы она эффективно поглощала энергию исходной системы.

Отдельную группу составляют активные системы подавления вибраций. Они включают датчики, регистрирующие параметры колебаний, и исполнительные устройства, формирующие компенсирующее воздействие. Управляющая система обрабатывает сигнал и создает динамическую реакцию, направленную на снижение вибрации.

В отличие от пассивных гасителей, активные устройства могут адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации и корректировать параметры работы при изменении частоты возбуждения. За счет этого достигается более гибкое и эффективное подавление колебаний.

Каждый из рассмотренных методов имеет собственную область рационального применения. Виброизоляция ограничивает передачу динамических воздействий, демпфирование обеспечивает рассеяние энергии, отстройка от резонанса позволяет избежать опасных режимов, использование инерционных гасителей способствует поглощению части энергии, а активные системы обеспечивают адаптивное подавление колебаний. Комплексное использование этих подходов позволяет существенно снизить уровень вибрации и повысить долговечность оборудования и конструкций.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ ИЛИ КОНСТРУКЦИЙ НА НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е.М. Кангин, В.В. Глебов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрено оборудование для испытания машин, оборудования или конструкций на нежелательные воздействия.

Ключевые слова: вибрационные испытания, электромагнитный возбудитель, график частотной характеристики.

Рост рабочих скоростей машин и применение облегченных конструкций в современной технике привели к тому, что традиционные испытания на статическое растяжение и сжатие перестали в полной мере отражать реальные условия эксплуатации изделий. Для адекватной оценки прочности и надежности требуется анализ поведения конструкций под действием переменных нагрузок, что обусловило активное внедрение методов динамических, в том числе вибрационных, испытаний.

В лабораторной практике вибрационные испытания входят в состав комплексных программ контроля качества наряду с климатическими воздействиями – температурными циклами и проверкой на устойчивость к повышенной влажности. В ходе таких испытаний изделие подвергается воздействию вибрации с заданными параметрами, регламентированными действующими национальными и международными стандартами (рис. 1).

При исследовании динамических характеристик конструкции ключевое значение имеет ее отклик на приложенное воздействие, а не само по себе значение возбуждающей вибрации. Именно анализ реакции позволяет оценить способность системы передавать колебания, эффективно их демпфировать, а также выявить собственные формы колебаний, проявляющиеся в области резонансных частот.

Вибрационные установки используются и в метрологических целях. При поверке или калибровке вибродатчиков измерительные характеристики проверяемого преобразователя сопоставляют с показаниями эталонного датчика при заданном уровне колебаний, что обеспечивает требуемую точность и прослеживаемость результатов измерений.

Формирование требуемого режима колебаний осуществляется с помощью электромагнитного вибровозбудителя. Данное устройство преобразует электрический сигнал в механическое перемещение и обеспечивает поддержание установленного уровня ускорения или возбуждающей силы в течение всего испытательного цикла.

Принцип работы электромагнитного возбудителя основан на взаимодействии проводника с током и магнитного поля. При протекании тока через катушку, размещенную в магнитном зазоре, возникает сила, вызывающая пере-

мещение подвижной системы. Величина этой силы зависит от значения тока и магнитной индукции, поэтому изменение тока позволяет регулировать интенсивность создаваемой вибрации.

В установках малой мощности магнитное поле формируется постоянными магнитами, тогда как в более производительных системах применяются электромагниты. Максимально достижимое ускорение определяется допустимым током и массой присоединенной нагрузки. Следует учитывать, что в области низких частот амплитуда ускорения ограничивается предельным ходом подвижной части, а верхняя граница рабочего диапазона определяется собственным резонансом подвижной системы.



Рис. 1. Проведение испытаний машин, оборудования или конструкций на нежелательные воздействия

Эксплуатационные возможности вибровозбудителя обычно представляют в виде зависимости предельного ускорения от частоты. При построении такой характеристики в двойном логарифмическом масштабе участок, ограниченный максимально допустимым перемещением подвижной системы, отображается прямой линией с наклоном 12 дБ на октаву. В ряде случаев, особенно при использовании крупногабаритных установок, дополнительно учитывается ограничение по максимальной скорости перемещения; соответствующий участок графика имеет наклон 6 дБ на октаву.

Если возбудитель работает в режиме питания постоянным током, его частотная характеристика условно подразделяется на три области. Две из них связаны с динамикой колебательной системы, образованной подвижной массой и элементами подвески. Для этой системы характерен собственный резонанс, который, как правило, располагается вблизи 20 Гц. Третья область соответствует более высоким частотам; здесь проявляется продольный резонанс подвижного

элемента, ограничивающий верхний диапазон работы устройства. Для мощных вибровозбудителей этот предел часто находится выше 5 кГц.

При питании от источника с постоянным напряжением амплитудно-частотная характеристика сохраняет аналогичную зональную структуру, однако выраженность нижнего резонансного пика существенно уменьшается. Это упрощает поддержание заданного уровня колебаний, поэтому в испытательной практике чаще применяется управление по напряжению с использованием усилителя с малым выходным сопротивлением. Тем не менее, в отдельных задачах предпочтителен режим управления по току, например, когда возбудитель используется как источник заданной силы либо при работе без системы обратной связи в среднем частотном диапазоне. В этом случае требуется усилитель с высоким выходным сопротивлением, что объясняет наличие у многих моделей возможности выбора выходного импеданса.

В процессе испытаний необходимо обеспечить стабильный уровень вибрации на поверхности вибростола. Однако его собственная амплитудно-частотная характеристика содержит резонансные участки, а установка испытуемого изделия приводит к появлению дополнительных колебательных форм. В результате при изменении частоты требуется корректировать подводимую мощность. Эта задача решается с помощью системы автоматического регулирования, которая анализирует сигнал обратной связи от измерительного датчика и изменяет параметры возбуждения.

Таким образом, система управления включает генератор сигнала, измерительный канал и устройство регулирования уровня вибрации, обеспечивающие согласованную работу всей установки.

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ ИЛИ КОНСТРУКЦИЙ НА НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е.М. Кангин, В.В. Глебов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрены основные методы испытания машин, оборудования или конструкций на нежелательные воздействия.

Ключевые слова: синусоидальное возбуждение, случайное возбуждение, испытания на воздействие окружающей среды.

В состав базового комплекса оборудования для вибрационных испытаний, как правило, входят возбудитель колебаний, усилитель мощности, система управления возбудителем, датчик ускорения либо датчик силы, а также формирующий усилитель.

Выбор типа вибровозбудителя в первую очередь определяется требуемым уровнем ускорения и величиной создаваемой динамической силы. Однако при подборе оборудования необходимо учитывать и ряд сопутствующих параметров, способных повлиять на точность и стабильность испытаний. К таким факторам относятся восприимчивость системы к боковым нагрузкам, наличие паразитных поперечных колебаний, а также степень нелинейных искажений формируемого сигнала.

Как правило, вибровозбудитель монтируется на упругой подвеске, выполняющей функцию развязки с опорной поверхностью. В типовых лабораторных условиях подобная схема обеспечивает достаточное снижение передачи внешних вибраций при установке оборудования непосредственно на пол. В то же время при использовании установок высокой мощности, генерирующих значительные динамические усилия, возникает необходимость в дополнительных мерах изоляции. В таких случаях применяют специальные амортизирующие основания, эластичные прокладки либо массивные сейсмоизолированные фундаменты, позволяющие минимизировать передачу колебаний на строительные конструкции.

Наиболее распространенным видом входного воздействия для возбудителя являются синусоидальные сигналы, как фиксированной частоты, так и с плавным изменением частоты. Их широкое применение объясняется рядом преимуществ: относительной простотой регулирования, хорошей методической проработанностью и удобством регистрации отклика объекта испытаний. При использовании режима качающейся частоты управление, как правило, осуществляется по замкнутому контуру с обратной связью, который в испытательной практике часто называют компрессором.

Результативность функционирования компрессора определяется его способностью оперативно изменять параметры сигнала в ответ на возникновение резонансных пиков, в том числе при интенсивном изменении частоты возбуждения. Высокое быстродействие особенно критично в системах, где присутствуют резонансы с малым коэффициентом демпфирования, поскольку в таких условиях амплитуда колебаний может резко возрастать. В практических испытательных установках используются устройства, обеспечивающие динамический диапазон не менее 80 дБ при скорости регулирования, достигающей приблизительно 1000 дБ/с.

Гармоническое (синусоидальное) воздействие характеризуется двумя ключевыми величинами – частотой колебаний и их амплитудой. В области вибрационных испытаний амплитуду чаще всего оценивают по пиковому значению, то есть по полному размаху перемещения между положительным и отрицательным экстремумами. Рабочий частотный диапазон при таких испытаниях обычно находится в пределах от 2 до 10 000 Гц.

Случайное возбуждение

Наряду с гармоническим воздействием в виброиспытаниях широко используется случайное возбуждение. Случайный сигнал характеризуется непрерывным спектром, а его мгновенные амплитуды распределяются по закону, близкому к гауссовскому. В заданном диапазоне частот в идеальном случае должны присутствовать все составляющие, однако реальные возможности генераторов и усилителей накладывают определенные ограничения на формирование такого спектра.

При проведении испытаний считается необходимым, чтобы пиковые значения случайного сигнала примерно втрое превышали его среднеквадратическое значение. Следует учитывать, что сила, развиваемая возбудителем, в значительной степени ограничивается тепловыми эффектами, возникающими при прохождении тока, то есть фактически среднеквадратическим уровнем нагрузки. При этом номинальные параметры усилителя мощности в большей степени определяются пиковыми значениями. Поэтому для получения силового воздействия, сопоставимого с синусоидальным режимом, при случайном возбуждении требуется усилитель большей мощности.

Характеристикой случайного вибрационного воздействия служит спектральная плотность мощности либо ускорения, которая обычно задается в единицах ((м/с2)2/Гц). Для получения сигнала с заданным спектральным распределением требуется проведение анализа в узких частотных интервалах с последующей корректировкой параметров в каждой полосе посредством системы регулирования. В современных испытательных комплексах подобные операции выполняются цифровыми алгоритмами, основанными на преобразовании Фурье, а поддержание требуемой формы спектра осуществляется автоматически с использованием вычислительной техники. Процедура согласования фактического сигнала с заданным профилем нередко называется спектральным уравновешиванием.

Предельные энергетические возможности вибровозбудителя при реализации случайного режима определяются максимальным уровнем спектральной плотности ускорения, достижимым при различных значениях присоединенной массы. При этом конфигурация формируемого спектра должна соответствовать положениям международного стандарта ISO 5344.

Испытания данного типа направлены на оценку способности технических изделий сохранять работоспособность и целостность при воздействии вибрации, ударных нагрузок, температуры, влажности и других внешних факторов. Необходимые режимы испытаний определяются заказчиком либо изготовителем и, как правило, устанавливаются на основании национальных, отраслевых или военных нормативных документов. Такие стандарты, как правило, регламентируют методику проведения испытаний, но не всегда задают конкретные численные уровни воздействий для каждого случая.

К числу наиболее широко применяемых нормативных источников относятся стандарты серии IEC (МЭК) 68, включая процедуры Fc и Fd, которые в ряде государств утверждены в качестве национальных регламентирующих документов. Их положения охватывают несколько ключевых аспектов проведения испытаний: требования к способу крепления изделия, принципы воспроизведения эксплуатационных нагрузок с учетом допустимых предельных значений, а также методы регистрации и анализа вибрационного отклика.

Установка испытуемого объекта

Так как испытания направлены на имитацию реальных условий работы оборудования, способ фиксации объекта на вибрационном столе должен максимально соответствовать его штатному креплению. Вместе с тем в практических условиях часто требуется применение вспомогательных приспособлений, позволяющих обеспечить передачу колебаний в строго определенных направлениях или вдоль заданных координатных осей.

В сопроводительной документации к испытаниям должна быть подробно указана схема установки объекта, место крепления контрольного акселерометра, а также необходимость функционирования изделия в процессе воздействия. Эти сведения имеют принципиальное значение для воспроизводимости результатов и корректности интерпретации данных.

Если непосредственное крепление объекта к поверхности вибростола невозможно, применяют специальные зажимные приспособления, которые нередко имеют сложную конструкцию. Основное требование к такой оснастке заключается в достаточной жесткости: она должна передавать возбуждаемую силу или перемещение равномерно по всей зоне крепления, не внося в систему дополнительных резонансных явлений. Проверка пригодности конструкции осуществляется экспериментально путем измерения уровней вибрации на поверхности приспособления с помощью акселерометра. Все выявленные собственные резонансы должны находиться вне рабочего диапазона испытательных частот.

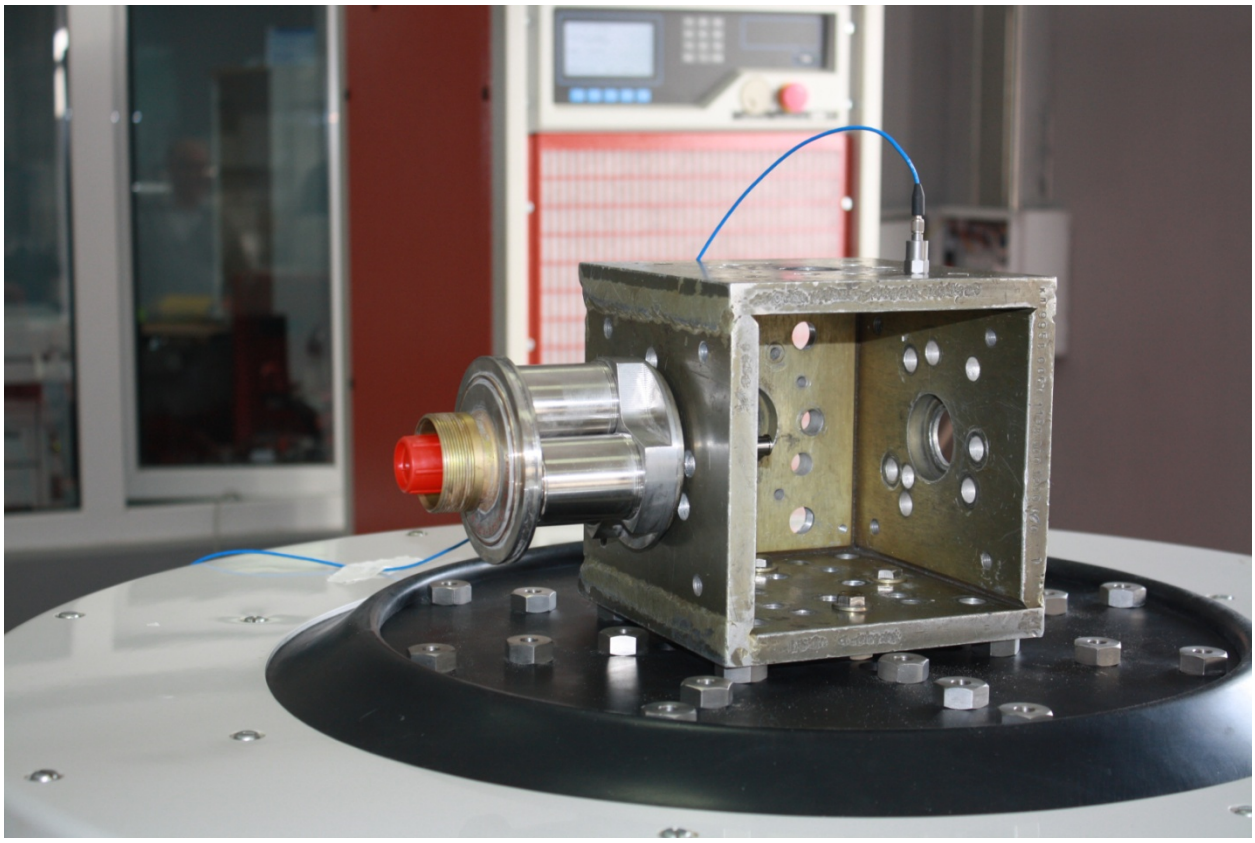


Рис. 1. Зажимное приспособления для фиксации объект на вибростоле

Собственная частота приспособления определяется в большей степени его геометрией и жесткостью, чем выбором материала. Тем не менее, с учетом ограничений по общей массе системы «объект-оснастка» при работе с вибровозбудителем в качестве конструкционного материала чаще используют алюминий, поскольку он обеспечивает приемлемое соотношение прочности и массы.

При необходимости работы в области повышенных частот конструкция оснастки должна обладать заведомо избыточной жесткостью. По этой причине отдельные мероприятия, направленные исключительно на повышение механической прочности, как правило, не требуются.

Для снижения массы зажимное приспособление нередко изготавливают из тонких пластин, усиленных ребрами жесткости. Преимуществом такого подхода является простота геометрии элементов, что облегчает расчет их собственных частот и динамических характеристик.

Если полностью исключить возникновение резонансов невозможно, их влияние может быть ослаблено путем увеличения демпфирования. С этой целью используют, например, резиновые прокладки, а внутренние полости конструкции заполняют пеноматериалами.

СПОСОБ ВИБРОИСПЫТАНИЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВНЫХ ПРИБОРОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

***И. И. Клоков*[1, 2], *Е. О. Кокуленко*[1, 2]**

[1]*АО «Арзамасское научно-производственное предприятие «ТЕМП-АВИА»,*
[2]*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт*

В статье рассмотрен способ виброиспытаний интегрированной системы резервных приборов летательных аппаратов методом компьютерного моделирования. Проведена проверка адекватности математической модели путем сравнения полученных результатов с результатами натурных испытаний. Описаны методы устранения резонансных частот в подобных конструкциях систем.

Ключевые слова: интегрированная система резервных приборов, летательный аппарат, вибрация, компьютерное моделирование, натурные испытания.

Для обеспечения безопасности экипажа и пассажиров во время эксплуатации летательных аппаратов (ЛА) гражданской авиации к приборам и информационно-измерительным системам бортового оборудования предъявляются жесткие требования по устойчивости к различным внешним воздействующим факторам (ВВФ): климатическим, механическим, электромагнитным и др.

Информационно-измерительные приборы и системы ЛА традиционно принято подразделять на:

– пилотажно-навигационные приборы и системы – определение и индикация параметров движения, а также углов пространственной ориентации ЛА;

– приборы контроля работы двигателей – измерение и индикация оборотов, температуры, давления масла и расхода топлива;

– приборы контроля вспомогательных систем – измерение и индикация гидравлических параметров, электропитания, топливной системы и др. [1]

К основным пилотажно-навигационным приборам относятся курсовертикали, измерители скорости и высоты, а также приборы навигации. Для повышения надежности на борту каждого ЛА кроме оборудования основного контура также должны быть установлены резервные автономные приборы и системы [2]. При этом для оперативного принятия решений экипажем по пилотированию ЛА при аварийных ситуациях, в составе каждого гражданского самолета и вертолета чаще всего применяют автономные информационно-измерительные системы, объединяющие функции сразу нескольких пилотажно-навигационных приборов, и работающие в режиме горячего резервирования [3].

Так, на АО АНПП «ТЕМП-АВИА» ведется разработка интегрированной системы резервных приборов (ИСРП) для гражданских самолетов (рис. 1) – автономного резервного пилотажного прибора, объединяющего в себе функции курсовертикали и барометрического измерителя высотно-скоростных параметров.

Среди отечественных предприятий, осуществляющих разработку аналогичных резервных приборов, можно выделить АО «АП ВОСХОД», АО «УКБП», ООО «ВАИС-Техника», АО «Навигатор», среди зарубежных – *Garmin*, *L-3 Technologies*, *Aspen Avionics*. Как правило, большинство таких систем имеет схожие внешние конструктивные характеристики и способ крепления на приборной доске ЛА, поэтому приведенные далее результаты исследований могут быть актуальны для предприятий, решающих аналогичную проблему.



Рис. 1. Интегрированная система резервных приборов разработки АО АНПП «ТЕМП-АВИА»

Одним из основных негативных ВВФ, влияющих на работу пилотажного оборудования, является воздействие вибрации – механического колебания, возникающего в результате работы двигателей, аэродинамических нагрузок, неровностей на поверхности взлетно-посадочной полосы и др. Вид и уровень воздействия вибрации зависит от типа воздушного судна (ВС) и зоны размещения оборудования на ВС [4]. Разрабатываемая ИСРП предназначена для установки на приборную доску самолета с неподвижным крылом, поэтому для нее предъявляются требования к обеспечению стандартной синусоидальной вибрации, имеющей место в условиях нормальной эксплуатации ВС.

Поэтому было предложено до начала натурных испытаний опытного образца провести оценку воздействия вибрации на ИСРП способом компьютерного моделирования. Для этого в САПР *T-FLEX CAD* разработана упрощенная модель ИСРП (рис. 2), в которой отсутствуют незначительные элементы, но при этом сохранены массогабаритные параметры.

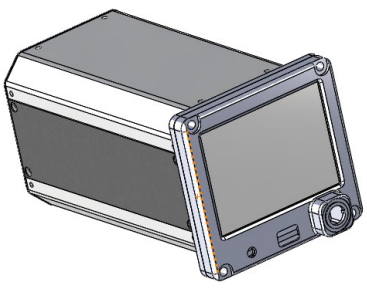


Рис. 2. Компьютерная модель в САПР *T-FLEX CAD*

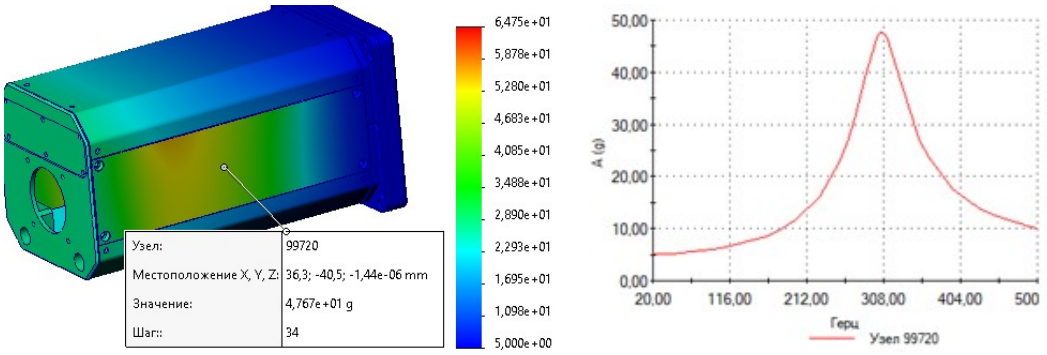
Затем разработанная модель ИСРП была импортирована в формат *«.step»* для исследования вибрации в программе *Solid Works Simulation*. Для исследуемой модели заданы материалы каждого элемента конструкции, соответствующие разработанной документации, контрольные точки приложения воздействия по осям *X*, *Y*, *Z*, а также направление и величина вибрации. Исследование модели проводилось по принципу «консольной балки» (жесткое защемление с одного конца) [5], т.е. модель зафиксирована в 4 точках крепления (сквозных отверстиях рамки видеомодуля), что соответствует реальному закреплению ИСРП на приборной панели ЛА.

Перед проведением динамического анализа на поиск резонанса конструкции необходимо выявить собственные частоты исследуемого объекта. Экспериментальное определение собственных частот основано на возбуждении колебаний конструкции и измерении ее отклика. По результатам частотного анализа в диапазоне частот до 500 Гц выявлено 6 собственных частот и их распределение по координатным осям *X*, *Y*, *Z* (представлены на рис. 3). Анализируя результаты частотного анализа, можно сделать вывод, что резонанс конструкции приходится на частоты 305,72 Гц по оси *X* и 353,64 Гц по оси *Y*.

Режим No.	Частота (Герц)	Направление X	Направление Y	Направление Z
1	190,8	4,3659e-08	1,5698e-06	0,0017042
2	265,92	3,2382e-08	0,00018208	1,095e-07
3	305,72	1,5123	0,0006172	1,2408e-07
4	353,64	0,00069634	1,3163	0,00031095
5	435,17	0,0032627	0,00010176	6,5557e-08
6	493,72	1,1492e-06	4,0905e-09	7,3593e-07
		СуммаX = 1,5163	СуммаY = 1,3172	СуммаZ = 0,00201

Рис. 3. Частотный анализ компьютерной модели диапазоне до 500 Гц

Динамический анализ модели по оси *X* (рис. 4) показал, что на боковых стенках изделия в контрольной точке наблюдается ускорение 47 *g*, а в соседних областях максимально достигает 65 *g* при резонансной частоте 305,75 Гц, то есть происходит усиление вибрации от 10 до 13 раз по причине резонансного отклика. Виброустойчивость конструкции не обеспечивается.



а) б)

Рис. 4. а) распределение ускорений на поверхности модели;
б) амплитудно-частотная характеристика модели по оси *X*

Динамический анализ модели по оси *Y* (рис. 5) показал, что на верхней стенке изделия в контрольной точке наблюдается ускорение 23 *g* и увеличивается до максимального значения 41 *g* на задней стенке при резонансной частоте 353,64 Гц, то есть происходит усиление вибрации от 5 до 8 раз по причине резонансного отклика. Виброустойчивость предложенной конструкции не обеспечивается.

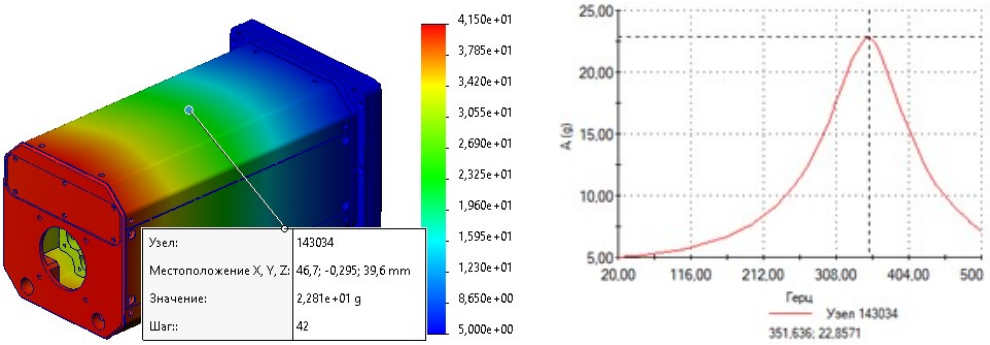


Рис. 5. а) распределение ускорений на поверхности модели; б) амплитудно-частотная характеристика модели по оси *Y*

Динамический анализ модели по оси *Z* (рис. 6) показал, что резонансов не наблюдается, по всей конструкции ускорения находятся в пределах 5 *g*, следовательно обеспечивается виброустойчивость конструкции.

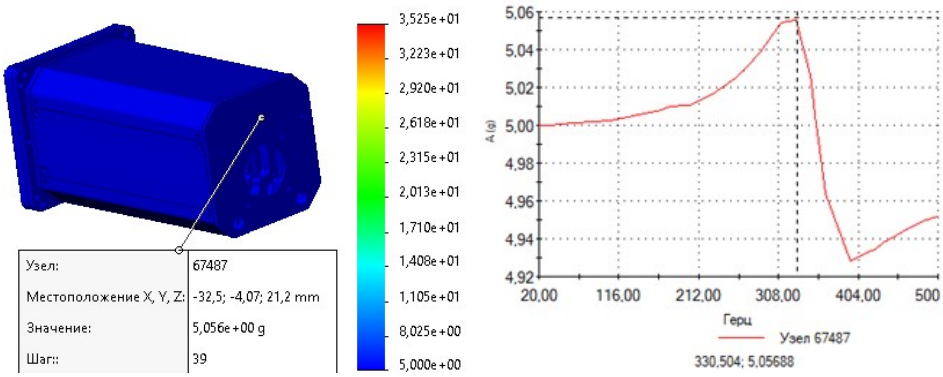


Рис. 6. а) распределение ускорений на поверхности модели; б) амплитудно-частотная характеристика модели по оси *Z*

Для проверки адекватности разработанной модели и полученных результатов, были проведены испытания опытного образца изделия (рис. 7) на поверенных вибростендах ВЭДС-080А (для оси *Y*) и ВЭД-120 (для осей *X*, *Z*). Съем сигнала в контрольных точках производился при помощи пьезоэлектрического виброизмерительного преобразователя ДН-4-М1.

Результаты испытаний опытного образца ИСРП представлены на рис. 8. По оси *X* выявлен резонанс на частоте 290,5 Гц, по оси *Y* резонанс на частоте 365,8 Гц, по оси *Z* резонансы отсутствуют. Данные результаты соответствуют результатам, полученным при моделировании в САПР *Solid Works Simulation*. Исходя из этого, можно утверждать, что разработанная математическая модель

адекватна, и ее можно использовать для дальнейшей оценки устойчивости ИСРП при воздействии других механических ВВФ (воздействия ударных эксплуатационных нагрузок, импульсного воздействия на безопасность разрушения, воздействия линейных ускорений и пр.).

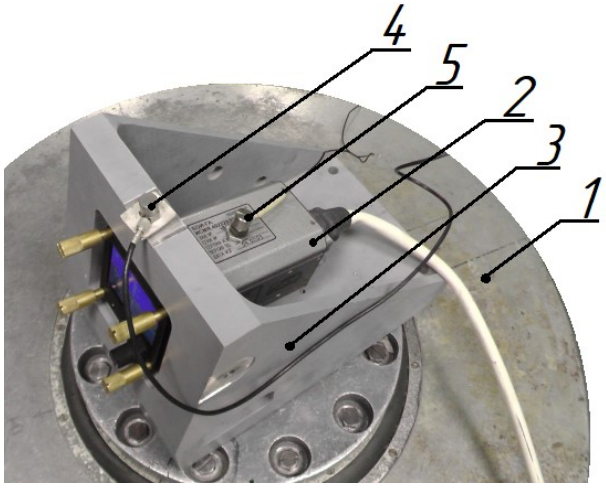


Рис. 7. Натурные испытания по оси *Y*: 1) вибростенд ВЭДС-080А; 2) опытный образец изделия; 3) испытательный кронштейн; 4) вибропреобразователь ДН-4-М1 для измерения параметров вибрации; 5) вибропреобразователь ДН-4-М1 в контрольной точке изделия

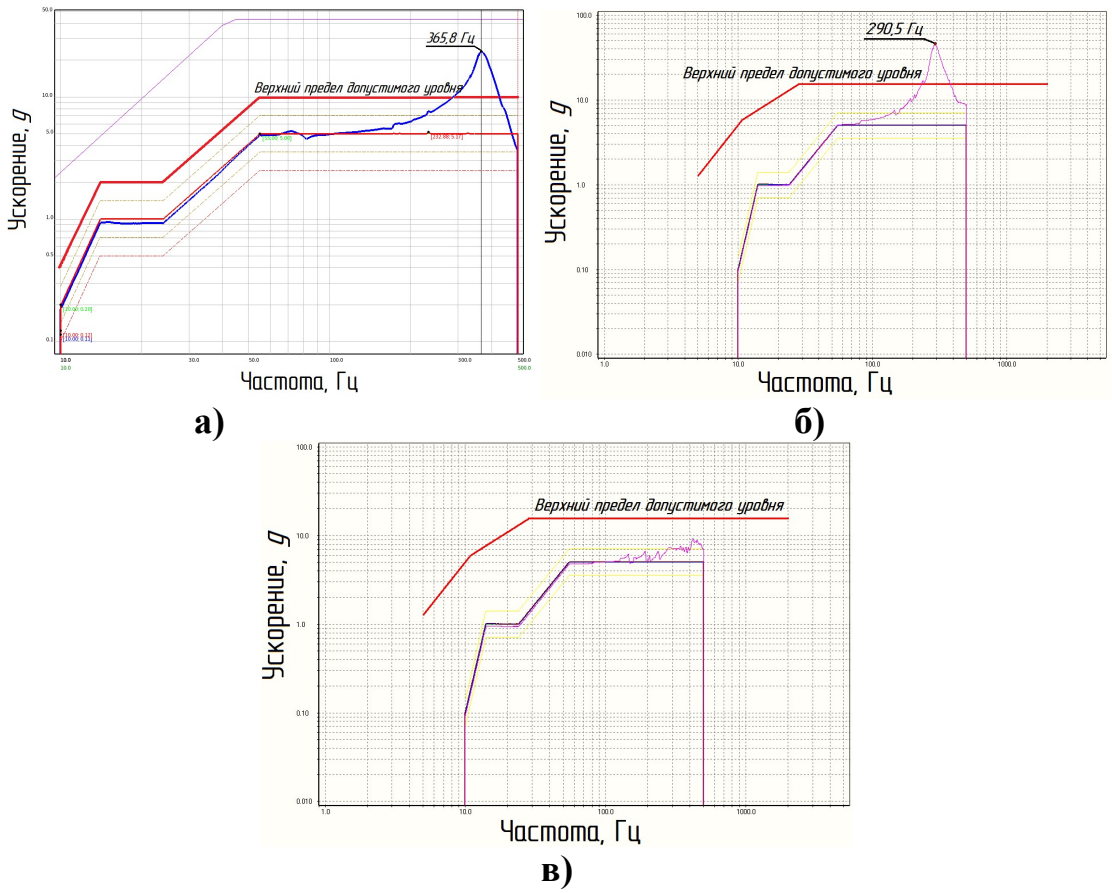


Рис. 8. Амплитудно-частотная характеристика опытного образца: а) по оси *Y*; б) по оси *X*; в) по оси *Z*

Как показало проведенное исследование, требование КТ-160G/14G по виброустойчивости интегрированной системы резервных приборов в диапазоне частот до 500 Гц в имеющейся конструкции не обеспечивается. В дальнейших исследованиях задачу по устранению резонансных частот конструкции предполагается решить двумя основными методами:

1) проведение исследования в САПР *Solid Works Simulation* в части увеличения толщины (массы) стенок корпуса или увеличения сечения рамки видеомодуля компьютерной модели ИСРП для смещения величины резонанса за верхний предел, требуемый по КТ-160G/14G диапазона: получение такой жесткости изделия, чтобы значение первой резонансной частоты составляло не менее 750 Гц;

2) проведение исследования в САПР *Solid Works Simulation* в части перераспределения нагрузки из задней части конструкции ИСРП, то есть перемещения элементов с наибольшей массой из задней части ближе к точке закрепления ИСРП, тем самым, уменьшив изгибающий момент и, как следствие, уменьшения ускорения g в этой точке.

Библиографический список

1. ***Прилепский, В.А.*** Авиационные приборы: учеб. пособие / В.А. Прилепский. - Самара: Изд-во Самарского университета, 2016. – 316 с.

2. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории, 2014.

3. ***Белецкий, В.В.*** Теория и практические методы резервирования радиоэлектронной аппаратуры, М.: Энергия, 1977. – 360 с.

4. Квалификационные требования КТ-160G/14G. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. Требования, нормы и методы испытаний. Авиационный регистр межгосударственного авиационного комитета, 2014.

5. ***Дарков, А. В.*** Сопротивление материалов. / А. В. Дарков, Г. С. Шпиро. М.: Высшая школа, 1989. – 624 с.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ЗЕРКАЛ НА ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА

Т.В. Карасева, М.А. Коннова
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье представлены эксплуатационные особенности применения лазерных гироскопов (ЛГ): описан принцип работы лазерного гироскопа и его составные элементы, причины возникновения резонаторных потерь и факторы, влияющие на точностные характеристики.

Ключевые слова: лазерный гироскоп, резонатор, зеркало, ширина зоны захвата

Лазерный гироскоп (ЛГ) является инерциальным навигационным прибором, принцип действия которого основан на эффекте Саньяка. Эффект Саньяка заключается в возникновении разности хода световых лучей, распространяющихся в противоположных направлениях по замкнутому контуру.

В основе ЛГ лежит интерферометр, в котором два лазерных луча, генерируемых одним источником (или двумя когерентными источниками), разделяются и проходят по двум противоположным путям замкнутого оптического контура. При отсутствии вращения, оба луча возвращаются в точку разделения с одинаковой фазой, интерферируя конструктивно. При вращении контура, благодаря эффекту Саньяка, возникает разность фаз между лучами, пропорциональная угловой скорости вращения. Эта разность фаз преобразуется в измеряемый сигнал, например, в виде изменения частоты или интенсивности интерференционной картины.

В свете текущей геополитической напряженности и усиливающейся необходимости обеспечения технологического суверенитета, вопрос об импортозамещении ключевых компонентов, таких как высокоточные зеркала для лазерных гироскопов, приобретает особую актуальность. Безопасность и стабильность функционирования навигационных и инерциальных систем, критически важных для обороноспособности и развития инфраструктуры, напрямую зависят от надежности источников их комплектующих. В связи с этим, стимулирование отечественного производства зеркал для лазерных гироскопов становится не просто желательным, а стратегически необходимым шагом для поддержания и наращивания производственного потенциала страны.

Оптический контур является ключевым элементом ЛГ, определяющим его чувствительность, стабильность и точность. Форма и размеры контура влияют на величину эффекта Саньяка и его зависимость от внешних факторов. Однако, помимо геометрических характеристик самого контура, функциональность всего оптического пути критически зависит от качества его составляющих, в частности, от зеркал, обеспечивающих отражение лазерного излучения. Именно здесь проявляется значимое влияние вариативности построения чувст-

вительного элемента. Величина ухудшения зоны захвата зависит от индивидуальных особенностей зеркал, чувствительность которых к примесям возрастает в зависимости не только от количества дефектов, но и от их распределения в многослойной структуре.

Устойчивая повторяющаяся связь встречных волн (СВВ) проявляется в процессе изменения ширины зоны захвата генератора и среднеквадратическое отклонение (СКО). Это закономерный процесс, который определяется свойствами оптического резонатора и, главным образом, его зеркалами.

Среднее значение ширины зоны захвата, измеренное при нормальных климатических условиях (НКУ) в максимумах усиления при симметричном управлении пьезокорректорами может быть в два и более раза меньше максимального значения ширины зоны захвата в максимумах усиления, измеренного в полном диапазоне температур и в максимальном диапазоне геометрии резонатора (работа генератора при возможных изменениях длины, формы резонатора и «рабочих точек» зеркал в условиях эксплуатации).

Если существуют причины для появления источников обратного рассеяния (ОР) на зеркалах, то вследствии этих причин может возникать узкое распределение интенсивности рассеянного света (индикатриса) в обратном направлении в апертуру резонатора. Это вызывает формирования аномально высокого суммарного ОР, усиления СВВ и увеличение ширины зоны захвата.

Поэтому в таких случаях модель формирования СВВ на основе параметров зеркал не всегда корректна и требуется производить измерение ширины зоны захвата в максимально широком диапазоне однородных тепловых или угловых деформаций резонатора при реальных смещениях оптического контура и изменениях расстояний между точечными источниками ОР.

Уменьшение периметра резонатора приводит к существенному увеличению порога чувствительности по угловой скорости. Увеличение диаметра лазерного пучка на зеркалах приводит к уменьшению порога чувствительности, но гораздо менее существенному. Следует отметить, что расчетные значения степени зависимостей в работах не однозначны. В частности, это связано с применением либо упрощенных расчетов, либо более детальными, с учетом влияния активной среды на величину частоты синхронизации. В резонаторах с большим и малым периметром частота синхронизации в процессе перестройки на одну длину волны может изменяться по-разному. Здесь уже учитывается конфигурация резонатора: форма, количество зеркал, радиусы кривизны зеркал, дисперсионные свойства активной среды и коэффициент ее усиления.

Некоторые моменты следует учитывать при разработке конструкции резонатора. Например, в треугольном резонаторе снижается ширина зоны захвата из-за снижения суммарного рассеяния из-за уменьшения количества зеркал, но за счет уменьшения угла между встречными лучами обратное рассеяние в канал увеличивается. Также теоретически следует увеличивать радиус кривизны зеркал с 4 до 6-8 м, тем самым диаметр лазерного пучка увеличивается в 1.5 - 2 раза, но при этом сильно снижается устойчивость реальных резонаторов.

Также следует учитывать вклад полезного пропускания зеркал, при снижении пропускания снижаются резонаторные потери, повышается уровень превышения усиления над потерями, снижается влияние засветок от внешних элементов генератора, снижается уровень шумов в выходных сигналах. С другой стороны, увеличение коэффициента отражения зеркал может приводить к увеличению коэффициента связи встречных волн за счет увеличения амплитуды вектора обратного рассеяния. В этом случае необходимо учитывать достигнутый уровень качества изготовления зеркал, т.к. наличие разного рода дефектов по-разному формирует диаграмму рассеяния и их вклад в комплексный коэффициент связи встречных волн (КСВВ) существенно отличается.

Статистическое распределение по ширине зоны захвата генераторов с периметром 16 см., изготовленных за последние три года и измеренных на рабочем месте проверки параметров генераторов (РМППГ) приведено на рис. 2.

Распределение показывает, что большинство генераторов (~70%) сосредоточено в определенных интервалах значений, при этом плотность распределения пропорциональна ширине интервала. Уширение интервала пропорционально величине значения ширины зоны захвата, с которой изготовлено больше всего генераторов (наибольшая выборочная частота). Это подтверждает гипотезу векторно-фазового взаимодействия ВВ – чем больше амплитуда векторов обратного рассеяния каждого зеркала, тем больше разброс по значению захвата (медианному) и правосторонняя выраженность асимметрии статистического распределения.

В табл. 1 приведены предельные значения параметров зеркал, по которым определяется их сортность. Сортность изменяется при превышении хотя бы одного из указанных параметров.

Таблица 1

Предельные значения параметров зеркал, по которым определяется их сортность

Сорт	Полное интегральное рассеяние, ppm		Рассеяние на дефектах, ppm		Рассеяние на максимальном по площади дефекте, ppm
	min	max	min	max	
I+++	<7	<16	<0,01	<0,1	<0,01
I++	<7	<16	0,01 – 0,1	0,1 – 0,2	0,01 – 0,1
I+	<7	<16	0,1 – 0,2	0,2 – 1	0,1 – 0,2
I	<7	<16	0,2 – 0,5	0,2 – 1	0,2 – 0,3
II+	7 –16	16 –25	0,5 – 1	1 – 2	0,3 – 0.45
II	7 –16	16 –25	1 – 2	2 – 4	0,3 – 0.45
III	16 – 25	25 – 30	2 – 4	4 – 8	0.45 –0,5
Брак	>25	>30	>4	>8	>0,5

Статистическое распределение зеркал по «сортности», изготовленных за последние три года приведено на рис. 1.

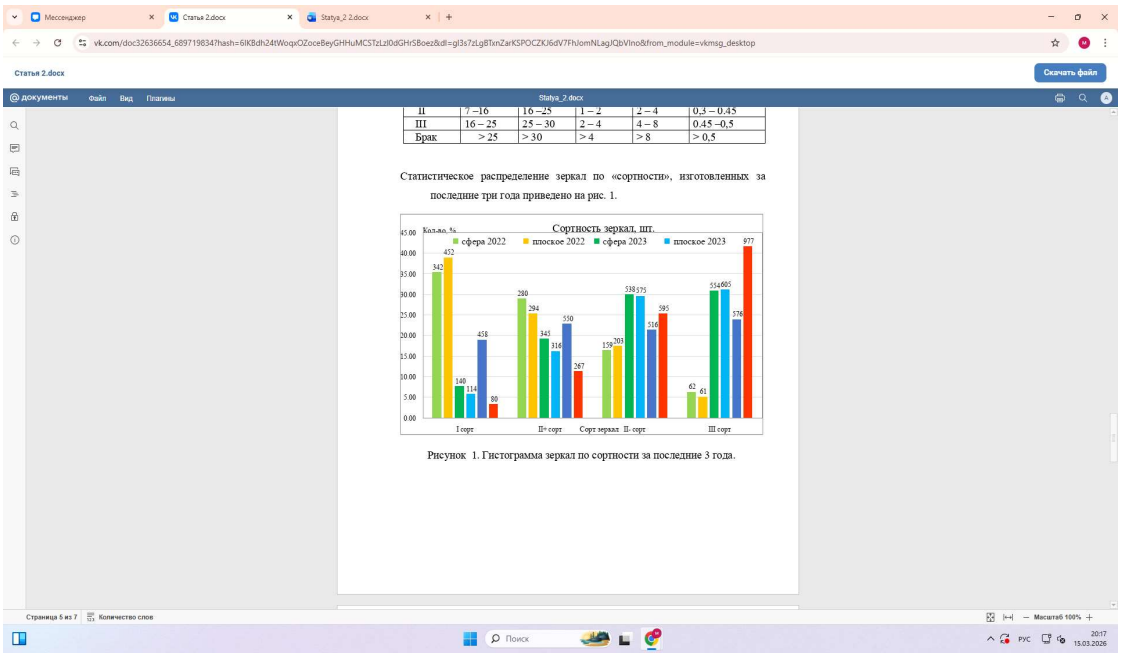


Рис. 1. Гистограмма зеркал по сортности за последние 3 года

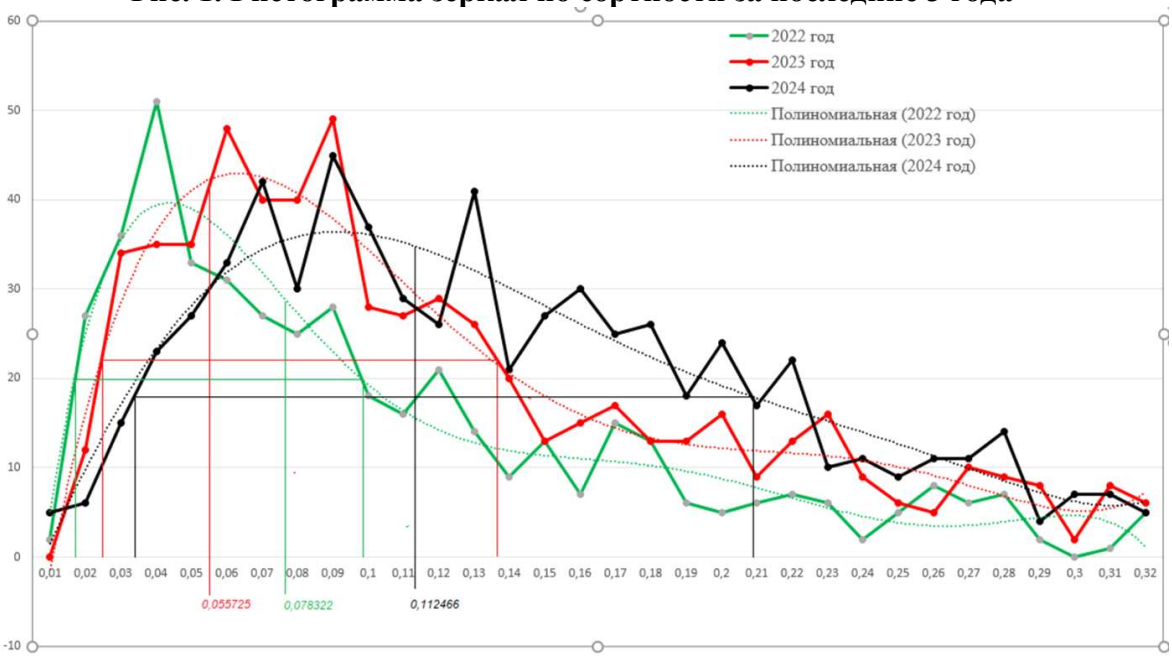


Рис. 2. Статистическое распределение по ширине зоны захвата за последние три года

В результате статистического анализа получаем, что примерно одинаковое (в процентном отношении) количество приборов:

- в 2022 г. захват в интервале 0.02 – 0.10 ˚/сек с наибольшей частотой для 0.056 ˚/сек;
- в 2023 г. захват в интервале 0.02 – 0.14 ˚/сек с наибольшей частотой для 0.078 ˚/сек;
- в 2024 г. захват в интервале 0.03 – 0.20 ˚/сек с наибольшей частотой для 0.112 ˚/сек;

0.056 ˚/сек, 0.078 ˚/сек, 0.112 ˚/сек - именно эти значения характеризуют качество зеркал, которые использовались для сборки генераторов.

Такое изменение коррелирует с изменением количественного соотношения по сортности зеркал (снижения количества зеркал 1 сорта и увеличения количества зеркал 3 сорта).

Поэтому двукратное увеличение числа генераторов с шириной зоны захвата свыше 0.2 ˚/сек в 2024 г по сравнению с 2023 г, не может быть связано с ухудшением качества изготовления подложек и зеркал, а связано с ухудшением зеркал под воздействием внешних факторов.

Т.е. с учетом действующего (статистически) закона распределения в генераторах с зоной захвата 0.3 ˚/сек, измеренной на РМППГ при НКУ в максимумах усиления при симметричном управлении ПК не исключено увеличение захвата в 2-3 раза. Для повышения надежности генераторов, необходимо проводить измерения ширины зоны захвата в максимальном диапазоне температур (длины резонатора) и наибольшем диапазоне перемещений пьезокорректор периметра резонатора (ППР). Возможно, это необходимо только для генераторов, в которых среднее значение ширины зоны захвата во всех максимумах при НКУ более 0.15 ˚/сек, т.к. это свидетельствует о несоответствии ширины зоны захвата начальному потенциалу зеркал.

В пересчете с периметра 16 см к увеличенному периметру зона захвата 0.056 ˚/сек, 0.078 ˚/сек, 0.112 ˚/сек – это 0.033 ˚/сек, 0.046 ˚/сек, 0.066 ˚/сек. соответственно. Т.о. при качестве зеркал на уровне 2022 г генераторов с захватом до 0.03 ˚/сек будет примерно 20% и из них четверть с захватом до 0.01 ˚/сек. Для увеличения выхода генераторов с зоной захвата до 0.01 ˚/сек требуется их комплектование зеркалами 1 сорта.

---

1. **Карасика, В.Е.** Основы расчета проектирования и технологии изготовления лазерных и волоконно-оптических гироскопов. Ч. 2/ Изд-во МГУ Им. Н.Э. Баумана, 1989.

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ПУЛЬТ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

С.А. Кожаков
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

Статья обосновывает практическую значимость разработки специализированного устройства с четырьмя каналами, предназначенного для тестирования динамических параметров измерительных преобразователей. Представлена техническая реализация прибора на основе двусторонней платы с печатным монтажом. Конструктивно испытательное оборудование включает два формирователя динамических испытательных сигналов и четыре автономных измерительных тракта. Для создания динамического тестового воздействия применяется синусоидальное гармоническое колебание, реализованное посредством генератора переменного напряжения малой мощности. Детально описана структурная организация прибора с выделением ключевых функциональных блоков и компонентов схемы.

Ключевые слова: четырехканальный пульт, цифро-аналоговый преобразователь, многофункциональное устройство

Производители оборудования для контроля сейсмической активности и мониторинговых комплексов выступают главными заказчиками подобных решений. Динамическое состояние контролируемого объекта оценивается благодаря комплекту акселерометров, интегрированных в данные системы. Цифро-аналоговый преобразователь обрабатывает гармонический отклик, представленный аналоговым напряжением, после чего результат отображается на экране для визуального анализа. Применение до четырех автономных каналов измерения дает возможность одновременно снимать показания с нескольких сенсоров, размещенных в измерительной установке.

В конструкции четырехканального пульта гражданского применения использованы комплектующие элементы зарубежных и российских производителей. Для моделирования динамических процессов через аналоговое напряжение на стадии проектирования в архитектуру подобных систем интегрирована специальная тестовая платформа.

Современные гражданские промышленные объекты характеризуются высокой технической сложностью – это касается как отдельных механизмов и узлов, так и масштабных инженерных конструкций. К подобным объектам относятся автомобильные и железнодорожные мостовые переправы, атомные электростанции, высотные здания. В процессе функционирования этих объектов критически важен постоянный контроль динамических характеристик: сейсмической активности, резонансных явлений, вибрационных смещений.

Измерение вибрационной скорости и ускорения осуществляется с помощью многочисленных диагностических и мониторинговых систем, разработанных специально для этих целей. Каждая такая система (рис.1) оснащается измерительными приборами, фиксирующими параметры движения: устройствами для определения углового вращения и приборами линейного ускорения. Основ-

ная функция данных устройств заключается в отслеживании частотных и амплитудных характеристик колебаний наблюдаемых частей конструкции.

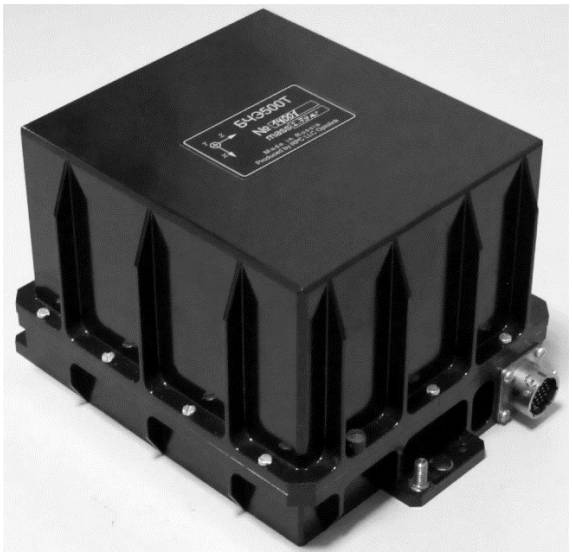


Рис. 1. Блок чувствительных элементов

Данная работа посвящена созданию многофункционального устройства с четырьмя каналами, предназначенного для тестирования динамических параметров инерциальных измерительных элементов. Генератор аналоговых сигналов выступает в роли источника стимулирующих импульсов. Поскольку типичная измерительная конфигурация включает три инерциальных элемента, разрабатываемое устройство оснащается как минимум тремя каналами для проведения измерений. Диапазон исследуемых частотных характеристик испытуемых объектов, определяемый их физическими размерами и массой, простирается от единиц до нескольких тысяч герц, что полностью соответствует техническим возможностям применяемого частотного генератора.

При разработке четырехканального контрольного устройства была составлена структурная схема (рис.2), учитывающая следующие особенности. Поскольку датчики преимущественно генерируют выходные данные в виде электрического тока или напряжения, конструкция проверочного пульта должна включать аналого-цифровой преобразователь для трансформации аналоговых величин в цифровой формат.

Конструктивно устройство мониторинга динамики по четырем каналам включает в себя ряд ключевых компонентов: интерфейсный преобразователь UART-USB с гальванической изоляцией, входной буферный каскад, коммутационную матрицу, блок вторичного электропитания и управляющий микроконтроллер. Данная аппаратная конфигурация обеспечивает измерение параметров вибрации (ускорения, скорости) и анализ переходных режимов.

Центральным компонентом выступает микроконтроллер с прошитым в постоянной памяти программным кодом, реализующим сложную логику переключений межканальных соединений и генерации разнообразных тестовых воздействий.

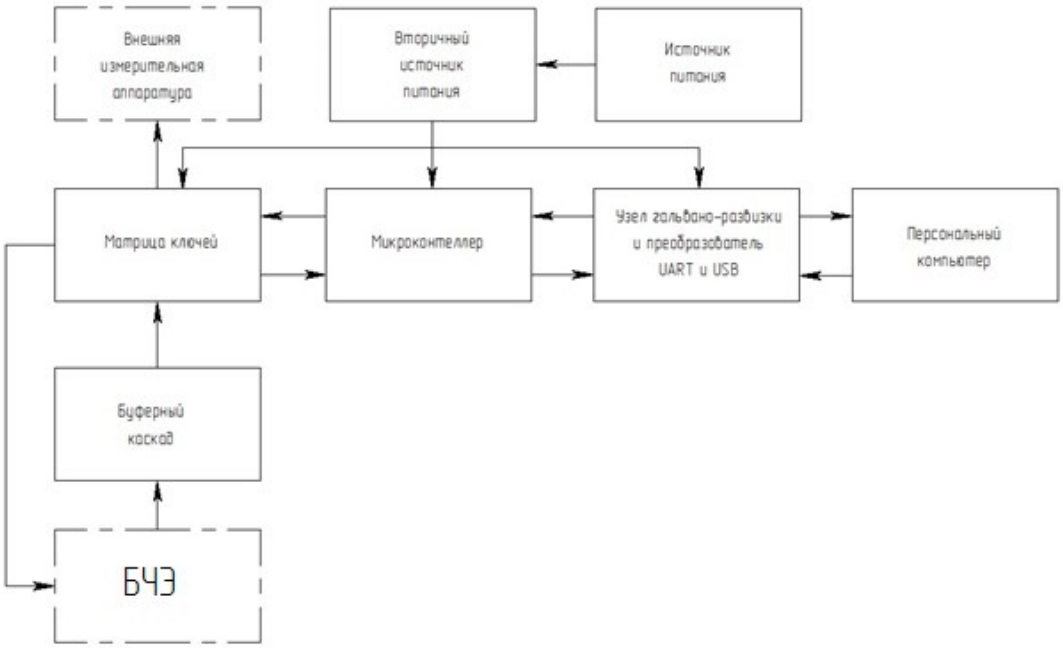


Рис. 2. Структурная схема пульта проверки

Для функционирования системы используется внешнее питание ±15В, которое поступает на специальный преобразователь. Этот преобразователь снижает входное напряжение до уровня ±5В. Полученным напряжением ±5В обеспечиваются несколько компонентов схемы: управляющий микроконтроллер, коммутационная матрица, а также модуль оптической изоляции с преобразователем интерфейсов USB-UART на стороне приемопередающего устройства UART.

Коммутационная матрица находится под управлением микроконтроллера и выполняет задачу переключения контактов чувствительных элементов. Благодаря этому обеспечивается поочередное подключение ЧЭ к различным измерительным приборам внешнего контура, включая генератор сигналов, осциллограф и измеритель напряжения.

При тестировании отдельных каналов системы требуется подключить генераторный канал к входным цепям, а осциллографический канал соединить с выходными цепями посредством буферного усилителя. Компьютерное управление в ходе анализа колебаний чувствительного элемента измерительного датчика позволяет варьировать как величину амплитуды, так и форму стимулирующего воздействия (синусоидальное, импульсное или периодическое).

Буферная схема на входе служит для усиления и приведения к требуемому масштабу сигналов от тестируемых сенсоров перед их подачей на осциллограф. Конструктивно буферный усилитель реализован с использованием операционных усилителей в конфигурации неинвертирующего включения.

Микросхема D12 представляет собой вторичный источник питания, который снижает напряжение с +15В до +5В для обеспечения работы микроконтроллера.

В качестве микросхемы D10 применен 32-битный микроконтроллер, построенный на базе ядра Cortex M0. Его преимуществами являются: широкий спектр периферийных устройств, минимальное потребление энергии, простота приобретения на рынке, а также наличие готовых программных решений для реализации многочисленных функций.

Чтобы предотвратить появление нежелательных токов утечки через землю в цепях пульта, а также обеспечить защиту компонентов персонального компьютера, реализована гальваническая изоляция между цепями пульта и USB-интерфейсом, связывающим измерительное оборудование с ПК.

На третьем рисунке представлена электрическая схема устройства управления с четырьмя каналами для мониторинга параметров в динамике.

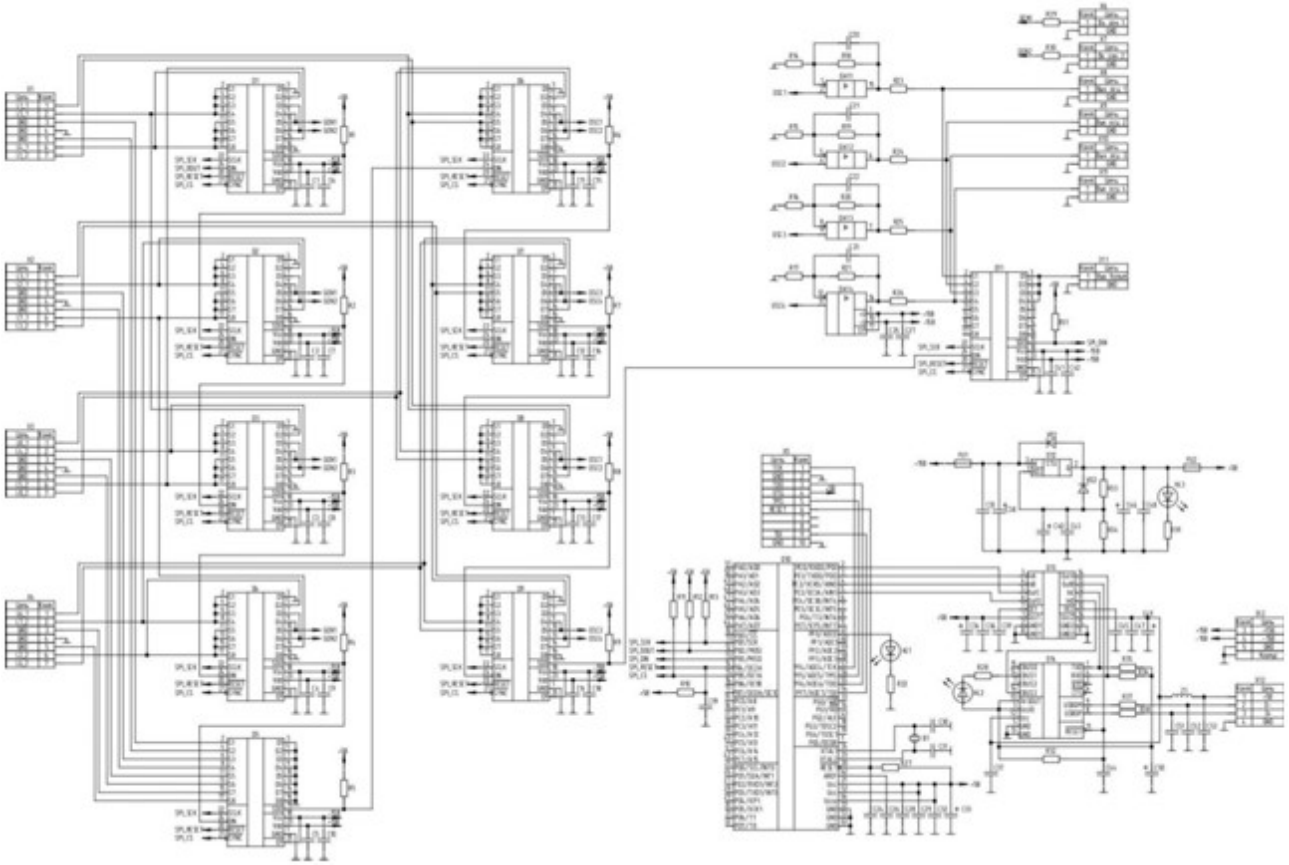


Рис. 3. Электрическая схема пульта балансировки

Разработанные схемы – как структурная, так и электрическая – четырехканального универсального устройства для тестирования датчиков аналогового типа дают возможность одновременной проверки корректности работы каналов измерения в системах мониторинга. Это достигается благодаря формированию эталонного динамического сигнала от осциллографа и последующему изучению ответного сигнала инерциального измерительного элемента.

В данной работе демонстрируется как практичность, так и необходимость разработки дистанционного испытательного устройства с четырьмя каналами,

предназначенного для оценки динамических характеристик датчиков. Представлена подробная структурная схема, определяющая ключевые рабочие компоненты и функциональные блоки, а также детально описана компоновка электронной схемы, реализованная с использованием двухслойной печатной платы. Испытательное устройство имеет два выделенных канала для создания динамической стимуляции, а также четыре отдельных измерительных тракта. Динамическая стимуляция в основном использует синусоидальные гармонические сигналы, подаваемые в виде низкоамперных переменных напряжений, генерируемых встроенным генератором.

Библиографический список

1. Конструирование интегральных датчиков: Учеб. пособие / В. Д. Вавилов, В. И. Поздяев; Моск. авиац. ин-т им. С. Орджоникидзе. - М.: Изд-во МАИ, 1993. – 58.
2. Хоровиц, П. Искусство схемотехники: Пер. с англ. - Изд. 2-е. - М.: Издательство БИНОМ 2014. – 704 с.
3. Микроэлектромеханические системы и датчики / М. Е. Калинкина, О. И. Пирожникова, В. Л. Ткалич, А. В. Комарова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Университет ИТМО. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2020. – 75 с.

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА МАССИВА ОТСЧЕТОВ НА ПАРАМЕТРЫ КИХ-ФИЛЬТРА

А.С. Корнишин, Н.П. Ямпурин
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

При цифровой обработке сигналов широко используются КИХ-фильтры, основным преимуществом которых является их устойчивость, а недостатком – большее число отводов по сравнению с БИХ-фильтрами. В работе исследовано влияние вариантов формирования отсчетов на частотные характеристики при проектировании КИХ-фильтров со скачками АЧХ. Разработаны рекомендации по формированию отсчетов, позволяющие адекватно рассчитывать параметры КИХ-фильтра, синтезированного по методу частотной выборки.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов, КИХ-фильтры, метод частотной выборки, формирование отсчетов

В настоящее время методы цифровой обработки сигналов (ЦОС) /digital signal processing (DSP) находят широкое применение, вытеснив постепенно методы, основанные на аналоговой обработке сигналов. В таких областях, как синтез цифровых фильтров (ЦФ) с линейной фазо-частотной характеристикой (ЛФЧХ) при произвольной амплитудно-частотной характеристике (АЧХ), режекции фиксированных низких частот, они не имеют конкурентов [1]. Выбор проектирования фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтров) связан с их особенностями [2], перечисленными далее.

1. КИХ фильтры могут иметь ЛФЧХ. следовательно, фильтр не вносит фазовых искажений в сигнал, что важно во многих сферах, в частности, в системах управления. Фазовая характеристика фильтра с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтра) нелинейна, особенно на краях полосы пропускания.

2. КИХ фильтры реализованы нерекурсивно, т.е. без обратной связи, поэтому они всегда устойчивы, в то время как гарантировать устойчивость БИХ фильтров удается не всегда.

3. Для реализации фильтров используется ограниченное число разрядов. Практические последствия этого, например, ошибки квантования, менее существенны для КИХ фильтров, чем для БИХ фильтров.

Проектирование ЦФ обычно осуществляют в три этапа [2]:

1) определение требований к фильтру;

2) аппроксимация требуемых характеристик при помощи характеристик реализуемого дискретного КИХ- или БИХ-фильтра;

3) реализация полученной структуры с учетом эффектов квантования входных данных и округления параметров (коэффициентов) фильтра.

В работе обсуждаются особенности проектирования КИХ–фильтров на первых двух этапах с АЧХ, содержащей «скачок» в полосе пропускания (ПП) $[0; \omega_в]$ как это показано на рис.1 (слева). Синтез КИХ-фильтра с заданной АЧХ осуществляется путем построения структурной схемы фильтра и расчета АЧХ

по методу частотной выборки [3, с.29-31]. Согласно теореме Котельникова, частота дискретизации $\omega_д$ должна быть не менее $2\omega_в$, поэтому мы выбираем $\omega_д=2\omega_в$, где $\omega_в$ – наибольшая частота в спектре сигнала. Работать удобно с АЧХ при нормированной частоте $\Omega = \frac{\omega_в}{\omega_д}$, тогда границы ПП в нормированных координатах→ [0;0,5]. Основные этапы синтеза ЦФ:

1. Поскольку K(0)=0, K($0{,}5\omega_д$)≠0, то, согласно рисунку 6.1 из [3, с.29], синтезируем асимметричный фильтр с четным числом (АСФЧ) выводов N.

2. Пользуясь рис. 6.2 из [3, с.30], строим требуемую АЧХ фильтра (рис. 1, *а*), продолжив ее на диапазон $[0{,}5\omega_д;\omega_д]$ четным образом (рис. 1, *б*).

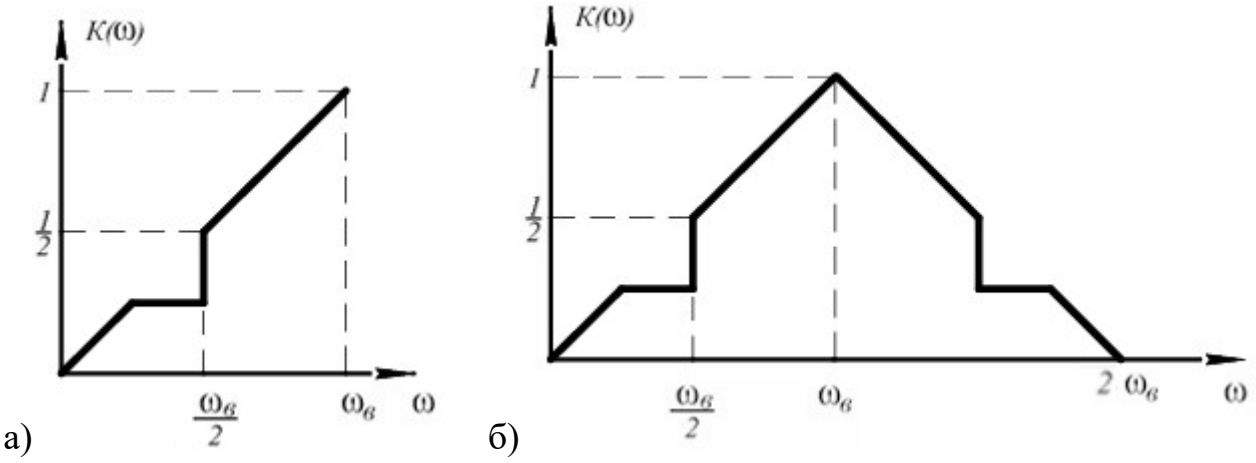


Рис. 1. Требуемая АЧХ (а) и ее продолжение до $[0{,}5\omega_д;\omega_д]$

3. Выбираем *N*=8 – число выборок в АЧХ/ФЧХ: одновременно это число отводов a_n у АСФЧ. Пользуясь выражением 6.1 из [3, с.30], получаем формулу для расчета ФЧХ:

$\varphi(\Omega) = \frac{\pi}{2} - 7\pi\Omega$ непрерывная функция (1, а),

или после дискретизации ФЧХ с частотой $\Omega_1 = \frac{1}{N} = 0{,}125$

$\varphi(k\Omega_1) = \frac{\pi}{2} - 7\pi\Omega_1$ (1,б).

Непрерывная линейная ФЧХ с точками дискретизации приведена на рис. 2.

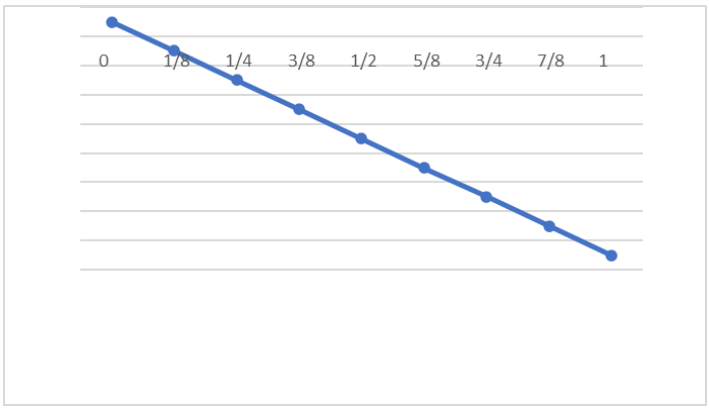


Рис. 2. Построение ЛФЧХ с точками дискретизации

После дискретизации АЧХ и ФЧХ (рис. 1, *б* и 2 соответственно) определим массивы отсчетов АЧХ и ФЧХ по амплитуде и фазе. Отсчеты по фазе определяются однозначно, и с ними проблем нет:

$$\varphi(k\Omega_1) = \left\{\frac{\pi}{2}, -\frac{3\pi}{8}, -\frac{5\pi}{4}, -\frac{17\pi}{8}, -3\pi, -\frac{31\pi}{8}, -\frac{19\pi}{4}, -\frac{45\pi}{8}\right\}. \quad (2)$$

С отсчетами по амплитуде из-за скачка в АЧХ возникает неоднозначность, причем малоопытными пользователями, а к ним относятся студенты, ошибки не сразу обнаруживаются. Здесь просматриваются три варианта:

1. Отсчеты по амплитуде взяты симметрично относительно $\Omega = 0{,}5$, если смотреть по рис. 1,*б*, что соответствует взятию верхней координаты отсчета по уровню в точках $\Omega = 0{,}25$ и $\Omega = 0{,}75$:,

$$K(k\Omega_1) = \{0, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, 1, \frac{3}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}\} \quad (3).$$

Тогда комплексные частотные отсчеты примут вид:

$$K(k\Omega_1) = \{0, \frac{1}{4}e^{-j\frac{3\pi}{8}}, \frac{1}{4}e^{-j\frac{5\pi}{4}}, \frac{3}{4}e^{-j\frac{17\pi}{8}}, \frac{3}{4}e^{-j\frac{31\pi}{8}}, \frac{1}{2}e^{-j\frac{19\pi}{4}}, \frac{1}{4}e^{-j\frac{45\pi}{8}}\}.$$

В этом случае аппроксимация легко получается аналитически, если число отсчетов сократить до N=4, что не отразится на сути аппроксимации АЧХ. Соответствующая АЧХ, построенная согласно (3), с точками дискретизации показана на рисунке 3 сплошной линией. Вычисляем коэффициенты умножения a_n. в отводах прямой структурной схемы КИХ-фильтра по формуле обратного дискретного преобразования Фурье для N=4:

$a_n = \{a_2;\ a_1; -a_1; -a_2\} = \{-0.0732; 0.4267; -0.4267; 0.0732\}$;

записываем уравнение КИХ-фильтра четвертого порядка

$$y(n) = -0{,}0732x(n) + 0{,}4267x(n-1) - 0{,}4267x(n-2) + 0{,}0732x(n-3),$$

$$K(\Omega) = 2 \cdot 0{,}4267\, sin(0{,}5 \cdot \Omega) - 2 \cdot 0{,}0732 sin(1{,}5 \cdot \Omega), \quad (4)$$

которому соответствует АЧХ, приведенная на рис. 3 (пунктир). Очевидно, что этот вариант аппроксимации весьма далек от требуемого. Заметим, что увеличение N от 4 до 8 приводит к увеличению частоты пульсаций АЧХ, но это не меняет сути вывода.

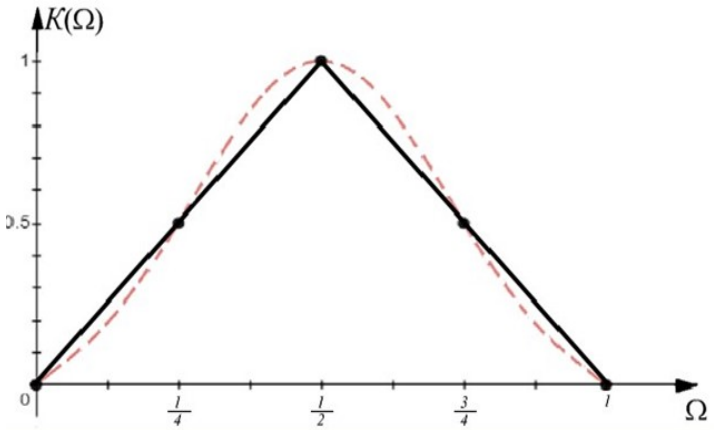


Рис. 3. АЧХ КИХ-фильтра: сплошная построена согласно (2), (3); пунктир: аппроксимация согласно (4)

2,а. Отсчеты по амплитуде взяты несимметрично относительно $\Omega = 0{,}5$ (если смотреть по рис. 1, *б*, то это соответствует взятию нижней и верхней координат отсчета по уровню в точках $\Omega = 0{,}25$ и $\Omega = 0{,}75$ соответственно):

$$K(k\Omega_1) = \{0, \tfrac{1}{4}, \tfrac{1}{4}, \tfrac{3}{4}, 1, \tfrac{3}{4}, \tfrac{1}{2}, \tfrac{1}{4}\}. \quad (5)$$

2,б. Отсчеты по амплитуде взяты несимметрично относительно $\Omega = 0{,}5$ (если смотреть по рис. 1, *б*, то это соответствует взятию верхней и нижней координат отсчета по уровню в точках $\Omega = 0{,}25$ и $\Omega = 0{,}75$ соответственно):

$$K(k\Omega_1) = \{0, \tfrac{1}{4}, \tfrac{1}{2}, \tfrac{3}{4}, 1, \tfrac{3}{4}, \tfrac{1}{4}, \tfrac{1}{4}\}. \quad (6)$$

Расчеты показали, что несимметричность отсчетов относительно $\Omega = 0{,}5$ при (5) приводит к смещению аппроксимирующей кривой вправо, а при (6) влево. Таким образом, неверное взятие хотя бы одного отсчета по уровню в точке дискретизации приводит к неверному результату.

3.Отсчеты по амплитуде взяты симметрично относительно $\Omega = 0{,}5$, если смотреть по рис. 1, *б*, однако по нижним координатам отсчетов в точках $\Omega = 0{,}25$ и $\Omega = 0{,}75$:

$$K(k\Omega_1) = \{0, \tfrac{1}{4}, \tfrac{1}{4}, \tfrac{3}{4}, 1, \tfrac{3}{4}, \tfrac{1}{4}, \tfrac{1}{4}\}, \quad (7).$$

отсчеты по ФЧХ (2) не изменились. Сравнение требуемой и рассчитанной по (2), (7) АЧХ приведено на рис. 4, откуда видно, что АЧХ стала симметричной относительно $\Omega = 1/2$, а главное – близка к требуемой.

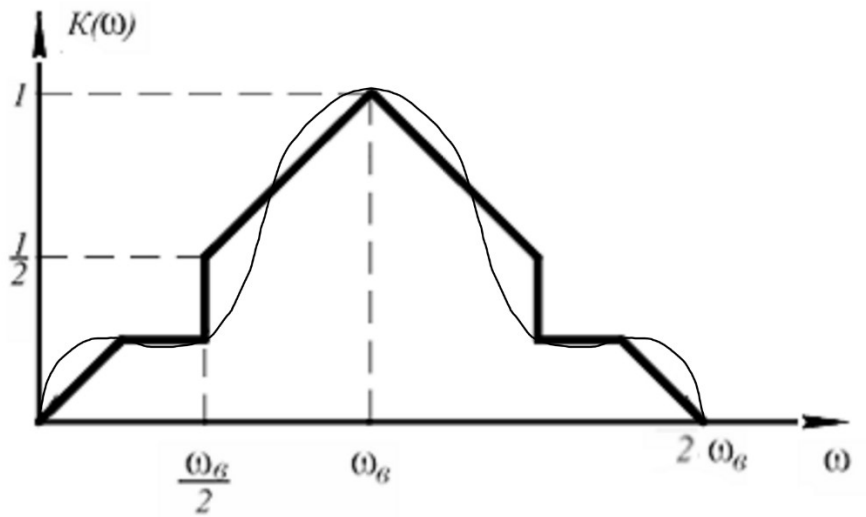


Рис. 4. Требуемая (сплошная) и рассчитанная (тонкая) по (7) АЧХ

Из вышеизложенного следует, что при формировании отсчетов при наличии скачков как в основной, так и в продолженной АЧХ нужно отслеживать конфигурацию этих скачков.

Чтобы избежать ошибок, можно увеличить частоту дискретизации минимум раза в два, но платить за это придется увеличением числа отводов тоже в два раза (в нашем случае с N=8 до N=16).

Заметим, что построение АЧХ можно проводить и с применением стандартного ПО, в том числе и методом частотной выборки [4].

Библиографический список

1. ***Васюков, В.Н.*** Цифровая обработка сигналов и сигнальные процессоры в системах подвижной радиосвязи : Учебник./ В.Н. Васюков // Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2001. – 292 с.
2. ***Поздяев, В.И.*** Цифровая обработка сигналов: элементы теории, примеры и задачи. Практикум для аудиторных занятий и самостоятельной работы: учеб. пособие / В.И. Поздяев, Н.П. Ямпурин//Н.Новгород, НГТУ, 2023. –126 с.
3. ***Ямпурин, Н.П.*** Теория цифровой обработки сигналов : методические указания для практических занятий и самостоятельной работы бакалавров всех форм обучения направлений 09.03.02 и 11.03.03./ Н.П. Ямпурин , Логинов В.И. - Н. Новгород , НГТУ ,2015. –58 с.
4. Расчет КИХ-фильтра [Электронный ресурс] – Режим доступа: http//www. dsplib.ru/content/filters/fir/fir.htm.– (дата обращения: 10.02.2026).

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ СЕМЕЙСТВА STM32 И МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА. ВЫБОР ОТЕЧЕСТВЕННОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

***А.С. Косякова*[1]**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье представлен обзор на микроконтроллеры семейства STM32 и российских разработок MIK32Амур и серии 1986BE9x Миландр

Ключевые слова: микроконтроллер, производство микроконтроллеров, характристики микроконтроллеров,

В настоящее время актуальна тема перехода микроэлектронных элементов на компоненты отечественного производства. В России растет и налаживается производительность микроэлектронных изделий. В данной статье проведен анализ и сравнение характеристик, и обоснование выбора отечественного микроконтроллера на отладочной плате.

Рассмотрим микроконтроллер STM32.

«Микроконтроллеры семейства STM32F10x: серия STM32F103 с тактовой частотой 72МГц, обеспечивает лучшую в классе 32-битных МКпроизводительность. Серия STM32F101 с тактовой частотой 36МГц является бюджетным вариантом STM32F103.

Обе линейки имеют встроенную FLASH-память от 32К до 128К и отличаются между собой максимальным объемом SRAM-памяти и набором периферии. При работе на 72Мгц и выполнении программ из FLASH-памяти, STM32F10X потребляет всего 36мА. STM32 (рис.1) идеально подходит для приложений с батарейным питанием, т.к. работает при напряжении питания от 2 до 3,6 В и потребляет до 2мкА в режиме ожидания с работающей схемой сброса» [1].

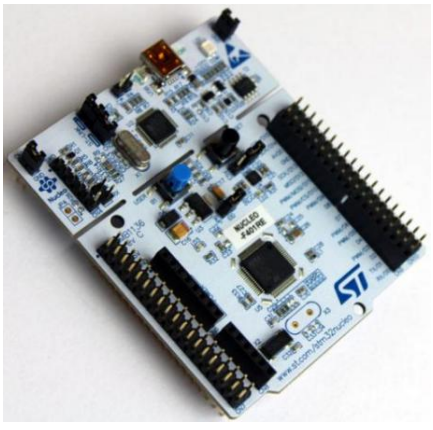


Рис.1. Микроконтроллер STM32 на отладочной плате Nucleo

Характеристики микроконтроллера STM32 приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики микроконтроллера STM32

Название	**Характеристики**
Серия	stm32 f1
Ядро	arm cortex-m3
Ширина шины данных	32-бит
Тактовая частота, МГц	72
Количество входов/выходов	37
Объем памяти программ	128 кбайт(128k x 8)
Тип памяти программ	flash
Объем RAM	20k x 8
Наличие АЦП/ЦАП	ацп 10x12b
Встроенные интерфейсы	can, i2c, irda, lin, spi, uart, usb
Встроенная периферия	dma, pwm, pdr, por, pvd, pwm, tempsensor, wdt
Напряжение питания	2…3.6 В
Рабочая температура	-40…+85c
Корпус	LQFP-48(7x7)
Вес, г	1.4

Для использования в личных и целях и программированию МК самостоятельно в доступе слишком много информации, с которой трудно разобраться. МК от STM32 достаточно сложные устройства и начинающему человеку в программировании трудно понять с чего начинать изучение, какие использовать устройства и как выбрать технологию программирования. У STM32 сложная архитектура контроллера.

Рассмотрим микроконтроллер MIK32 (К1948ВК018) Амур (рис.2).

«Микросхема 32х-битного микроконтроллера (далее микросхема MCU32) предназначена для управления высокопроизводительными и многофункциональными электронными устройствами для интернета вещей, имеет развитию периферию и аппаратный криптографический блок, поддерживающий отечественные ГОСТ в области защиты информации.

Особенности (уникальность) продукции микросхемы MCU32.

1. Использование аппаратного криптографического блока для защиты информации в соответствии с отечественными ГОСТ.

2. Большинство устройств интернета вещей используют только программные криптографические средства на основе общепринятых алгоритмов защиты информации, которые имеют ряд недостатков.

3. Применение аппаратного криптографического блока для защиты информации в соответствии с российскими ГОСТ – снижает вероятность успешности информационной атаки, увеличивает сложность взлома устройств и системы в целом.

Таким образом, стоимость организации взлома устройств интернета вещей значительно возрастает.

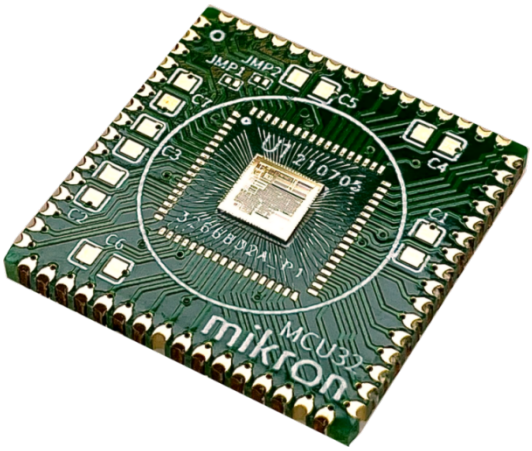


Рис.2. Микроконтроллер MIK32 на отладочной плате

Преимущества:
- применение открытой архитектуры RISC-V, ядро полностью отечественное по сравнению с китайскими аналогами, не заимствованное у STM32;
- высокая производительность;
- широчайший набор функций и возможностей, свободный доступ к библиотекам;
- высокая степень интеграции компонентов и блоков;
- высокая рабочая частота;
- большой запас встроенной памяти;
- отечественные разработка и производство» [2].

Характеристики микроконтроллера MIK32 приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики микроконтроллера MIK32

Название	**Характеристики**
Серия	MIK32
Ядро	RISC-V
Ширина шины данных	32-бит
Тактовая частота, МГц	32
Количество входов/выходов	40
Объем памяти программ	256 бит
Тип памяти программ	otp
Объем EEPROM	8 кбайт
Объем RAM	16 Кбайт
Наличие АЦП/ЦАП	ацп 8x12b/цап 2x12b
Встроенные интерфейсы	i2c, spi, uart

Окончание табл. 2

Встроенная периферия	brown- outdetect/reset, dma, por, pwm, wdt
Напряжение питания	2.97…3.63
Название	Характеристики
Рабочая температура	-40…+85c
Корпус	QFN-64
Вес, г	2

Далее рассмотрим микроконтроллеры серии 1986BE9x.

«Микроконтроллеры серии 1986BE9x, К1986BE9x и К1986BE92QI (рис. 3), К1986BE92QC (далее1986BE9x), построенные на базе высокопроизводительного процессорного RISCядра ARMCortex-M3, содержат встроенную КбайтFlash-память программ и 32 Кбайт ОЗУ.МК работают на тактовой частоте до 80 МГц. Периферия МК включает контроллер USB интерфейса со встроенным аналоговым приемопередатчиком со скоростями передачи 12 Мбит/с (Full Speed) и 1,5 Мбит/с (Low Speed), стандартные интерфейсыUART, SPI и I2C, контроллер внешней системной шины, что позволяет работать с внешними микросхемами статического ОЗУ и ПЗУ, NAND Flash-памятью и другими внешними устройствами. МК содержат три 16-разрядных таймера с 4-мя каналами схем захвата и ШИМ с функциями формирования «мертвой зоны» и аппаратной блокировки, а также системный 24-х разрядный таймер и два сторожевых таймера. Кроме того, в состав микроконтроллеров входят: два 12-разрядных высокоскоростных (до 0,5 М выборок/с) АЦП с возможностью оцифровки информации от 16 внешних каналов и от встроенных датчиков температуры и опорного напряжения; два 12-разрядных ЦАП; встроенный компаратор с тремяв ходами и внутренней шкалой напряжений.

Архитектура системы памяти за счет матрицы системных шин позволяет минимизировать возможные конфликты при работе системы и повысить общую производительность. Контроллер DMA позволяет ускорить обмен информацией между ОЗУ и периферией безучастия процессорного ядра. Встроенный регулятор, предназначенный для формирования питания внутренней цифровой части, формирует напряжение 1,8 В и не требует дополнительных внешних элементов. Таким образом, для работы МК достаточно одного внешнего напряжения питания в диапазоне от 2,2 до 3,6 В. Также в микроконтроллерах реализован батарейный домен, работающий от внешней батареи, который предназначен для обеспечения функций часов реального времени и сохранения некоторого объема, данных при отсутствии основного питания. Встроенные детекторы напряжения питания могут отслеживать уровень внешнего основного питания, уровень напряжения питания на батарее. Аппаратные схемы сброса при просадке питания позволяют исключить сбойную работу микросхемы при выходе уровня напряжения питания за допустимые пределы» [3].

При приобретении данного МК в комплект входят документы с описание выводов и технических характеристик МК, COM-COM и USB-A – USB-B кабели, JTAG программатор MT-LINK и фирменный диск, на котором хранится ПО и аппаратное обеспечение.

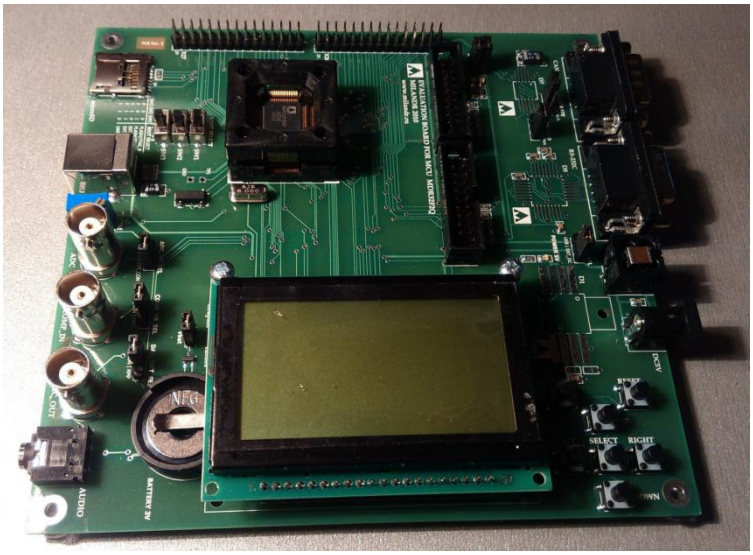


Рис.3. Микроконтроллер k1986be92qi на отладочной плате

Основные характеристики приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики микроконтроллера К1986ВЕ92QI

Название	Характеристики
CAN	2
fc [МГц]	80
I2C	1
SPI	2
tmax [C]	85
tmin [C]	-40
UART	2
Ucc_max [B]	3.6
Ucc_min [B]	2.2
USB	1
USER IO	43
АЦП [каналов]	8
АЦП [разрядов]	12
Внешняя шина	8
Выводов	64
Компаратор	2
Компаратор [входов]	–
ОЗУ [КБайт]	32
ПЗУ [КБайт]	128
Пластик	LQFP64
Таймеры	3
ЦАП	1

Окончание табл. 3

ЦАП [каналов]	1
ЦАП [разрядов]	12
Корпус	LQFP64

МК имеет разъем под microSD карту, минимальный набор клавиш, Jack разъем с микросхемой-усилителем. На отладочной плате присутствует описание переключателей режимов, что существенно упрощает работу с МК. На обратной стороне платы расположены переключатели для возможности отключения лишней периферии.

После проведения анализа и сравнения характеристик микроконтроллеров можно сделать следующие выводы.

1. У микроконтроллера MIK32 (К1948ВК018) векторных прерываний нет. Все сводиться к вызову одного обработчика прерываний. Этот обработчик прерываний должен программно определить вход, вызвавший прерывание. Вложенных прерываний нет. Любые проблемы в обработчике прерываний надежно портят всю систему прерываний. На фоне остальных характеристик, которые конкурируют с STM32выглядит такая система прерываний некорректно.

2. Отсутствие аппаратного USB у микроконтроллера MIK32 (К1948ВК018).

3. Корпус QFN-64 (рис.4) выбран у микроконтроллера MIK32 (К1948ВК018), что осложняет его монтаж на плату, в отличии от STM32 и микроконтроллераK1986BE92QI, у которых тип корпуса является LQFP64 (рис.5).

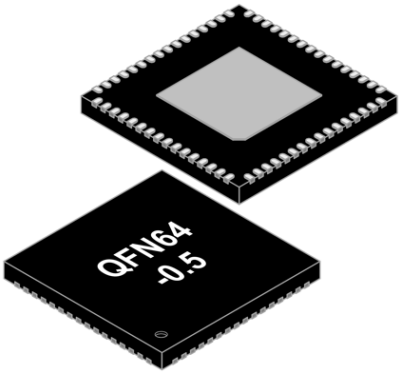


Рис. 4. Корпус QFN64

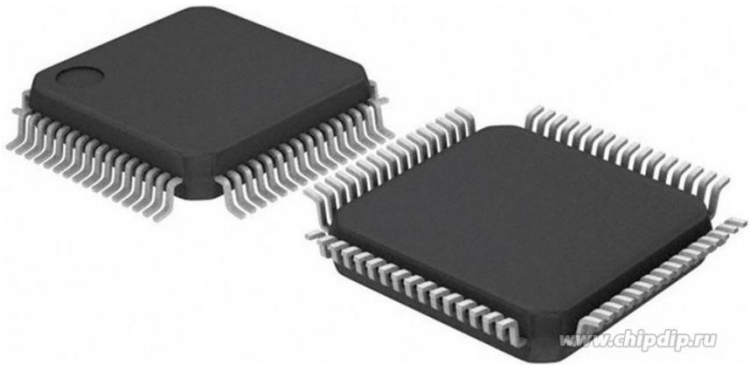


Рис. 5. Корпус LQFP64

4. Микроконтроллер K1986BE92QI способен во всем конкурировать с STM32, понятнее и проще в использовании, так же его преимуществом является отечественное производство.

Библиографический список

1. Сайт АО «ЧИП и ДИП» URL: https://www.chipdip.ru/ (дата обращения 24.02.2026 г.)
2. Техническое описание MIK32 Версия 2.1.8(дата обращения 05.03.2026 г.)
3. Spec_Seriya_1986BE9xURL:https://ldm-systems.ru– (дата обращения 26.02.2026 г.)

ПЕРЕРАБОТКА ПЭТ-БУТЫЛОК В ФИЛАМЕНТ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ МЕТОДОМ ПРОТЯЖКИ ПОЛОСЫ

А.Н. Куклин, Я.А. Раскаткин
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматривается проблема накопления пластиковых отходов и возможность их переработки в филамент для 3D-печати. Проведен сравнительный анализ существующих способов получения пластикового расходного материала, включая грануляционные экструдеры и устройства, работающие по принципу протяжки полосы из ПЭТ-бутылок. Представлено описание разрабатываемой, предназначенной для переработки ПЭТ-бутылок в филамент

Ключевые слова: переработка пластика, ПЭТ, филамент, 3D-печать, экструзия, вторичное сырье.

Пластик является одним из наиболее распространенных материалов в современном мире. По данным программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) ежегодно в мире производится более 400 млн тонн пластика, однако перерабатывается менее 15% от общего объема. Большая часть отходов накапливается на полигонах или попадает в окружающую среду, формируя устойчивую экологическую проблему. По данным на 2025 год, в России образуется 15.3 млн тонн пластика, из которых в переработку уходит только 2.1 млн тонн [5].

Одним из наиболее распространенных видов пластика является полиэтилентерефталат (ПЭТ), широко применяемый для производства бутылок и пищевой упаковки. По химической природе ПЭТ представляет собой термопластичный полиэфир с температурой плавления 250-260 °C и температурой стеклования около 70 °C. Несмотря на то, что ПЭТ пригоден для вторичной переработки и сохраняет значительную часть своих механических свойств после переработки, большая часть таких отходов по-прежнему отправляется на полигоны или не перерабатывается вовсе.

Потребление пластика растет параллельно с развитием рынка технологий для 3D-печати. Данные технологии начинают все чаще использоваться в таких сферах как образование, прототипирование, малое производство и машиностроение. Помимо этого, технологии 3D-печати активно используются и в домашних условиях. Для печати объектов из пластика применяются FDM-принтеры, использующие технологию послойного нанесения пластика. Основным расходным материалом для таких принтеров является пластиковая нить – филамент. Регулярное использование подобного пластика требует больших финансовых затрат, т.к. средняя цена одного килограмма пластика составляет 1000-1500 рублей [2].

Вследствие данного фактора начинает набирать популярность самостоятельное производство филамента путем переработки пластиковых отходов. Переработка пластиковых бутылок, таким образом, не только позволяет эконо-

мить финансовые средства, но и возвращает использованный пластик в повторное производство, снижая количество загрязнений окружающей среды [1].

В настоящее время существует два способа получения сырья для 3D-печати – получение путем использования грануляционных экструдеров и путем переплавки пластиковых лент, вырезанных из бутылок [3].

Первый способ подразумевает использование измельченного пластика и дальнейшую его переплавку. Предварительно пластик измельчается и сушится. Далее он засыпается в приемник и, проходя процесс плавления, вытягивается в готовый филамент. Исследования показывают, что при правильной организации процесса филамент, полученный таким образом, может достигать 80-95 % прочности первичного материала. Вместе с тем существенными ограничениями являются высокая стоимость оборудования и значительные энергозатраты, что делает этот подход менее доступным для индивидуального использования и применения в небольших мастерских.

Второй способ не требует предварительного измельчения или грануляции пластика. Для производства пластиковой нити необходимо лишь разрезать бутылку в длинную полосу и вытягивать в нить, переплавляя через нагревательный элемент с нужным диаметром отверстия сопла. Главным преимуществом данного способа является его простота и низкая стоимость изготовления оборудования для переплавки.

В рамках рассматриваемого проекта разрабатывается компактная установка для переработки использованных бутылок в филамент диаметром 1.75 мм. Установка состоит из пяти основных функциональных элементов, каждый из которых выполняет определенную роль в процессе переработки пластика. Итоговый вариант установки представлен на рис. 1.



Рис. 1. Установка в собранном виде

Первым элементом является держатель с механизмом нарезки бутылки. После удаления дна бутылка устанавливается в держатель, а режущий механизм формирует из нее непрерывную пластиковую ленту шириной 5-8 мм. Далее система направляющих роликов обеспечивает равномерную подачу полосы в нагревательную зону, предотвращая перекосы и обрывы ленты.

Центральным элементом установки является нагревательный блок с регулятором температуры. Он включает металлический термоблок, нагреватель, термодатчик, электронный PID-контроллер и формующее сопло диаметром 1.75 мм. Рабочая температура переплавки ПЭТ составляет 240-260 °C. Применение PID-регулятора обеспечивает стабильность температурного режима с точностью до 2 °C и предотвращает перегрев материала, который может привести к термоокислительной деструкции полимера.

Протяжной механизм представляет собой электродвигатель с регулируемой скоростью вращения, который вытягивает расплавленный пластик через сопло, обеспечивая формирование нити определенного диаметра. Наконец, система охлаждения и намотки отвечает за остывание нити в воздушном потоке и ее автоматическую укладку на катушку.

Процесс переплавки пластика таким способом состоит из следующих этапов. Сначала у бутылки отрезается дно. Далее, с помощью механизма нарезки, из бутылки формируется длинная пластиковая лента, которая через систему направляющих роликов поступает в нагревательный блок. В зоне нагрева при температуре 240-260 °C лента размягчается до пластичного состояния, после чего протяжной механизм вытягивает расплав через формующее сопло. Полученная нить охлаждается и наматывается на катушку. В среднем для получения 1 кг филамента требуется переработать около 30-35 бутылок объемом 1,5 л.

Для получения качественного филамента необходимо соблюдать ряд правил. Перед переплавкой пластик необходимо тщательно высушить, т.к. наличие влаги в сырье приводит к гидролитической деструкции полимера при нагреве, образованию пузырей в расплаве и, как следствие, к ухудшению механических свойств получаемого сырья. Помимо этого, необходимо соблюдать температурный режим и скорость подачи пластика. Соблюдение всех этих требований повысит качество получаемого пластика.

Средняя рыночная стоимость 1 кг PETG-филамента составляет 1000-1500 рублей. В то же время себестоимость переработки пластиковых бутылок на разрабатываемой установке оказывается значительно ниже. Сырье, полученное из использованных бутылок, является фактически бесплатным. В статьи затрат входят только оплата электроэнергии и амортизация оборудования.

Направление переработки ПЭТ-бутылок в филамент имеет ряд перспективных путей развития. В коммерческом отношении интерес представляет производство филамента, а также разработка и продажа самих установок. Дополнительным источником сырья может служить организованный прием ПЭТ-бутылок у населения, что внесет значительный вклад в экологию, очищая окружающую среду от загрязнения пластиком.

С технической точки зрения дальнейшая модернизация установки включает внедрение автоматического контроля диаметра нити в реальном времени с

использованием лазерных или оптических датчиков, добавление системы предварительной сушки сырья, автоматическое разрезание бутылок в полосы, а также возможный переход к гибридной или полностью грануляционной схеме переработки, расширяющей спектр пригодного для переработки пластика.

Таким образом, производство филамента из пластиковых бутылок является перспективным направлением. Разрабатываемая установка при всей простоте сборки обеспечивает стабильность переплавки пластика и позволяет использовать бытовые пластиковые отходы в качестве полноценного сырья для аддитивного производства. Рассмотренное решение позволит не только сэкономить на сырье для 3D-печати, но и значительно улучшить экологическую ситуацию, давая использованным бутылкам вторую жизнь.

Библиографический список

1. ***Ляпков, А.А.*** Полимерные аддитивные технологии / А. А. Ляпков, А. А. Троян. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 120 с.
2. ***Лисяк, В.В.*** Основы компьютерной графики: 3D-моделирование и 3D-печать : учебное пособие / В. В. Лисяк. – Ростов-на-Дону : ЮФУ, 2021. – 109 с.
3. Современные технологии 3D-печати и приемы подготовки 3D-моделей : учебное пособие / А. Н. Новиков, А. В. Фирсов, Г. И. Борзунов [и др.]. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2015. – 82 с.
4. ***Кондрашин, А. А.*** Современные технологии изготовления трехмерных электронных устройств: Учеб. пособие : учебное пособие / А. А. Кондрашин, А. Н. Лямин, В. В. Слепцов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Техносфера, 2019. – 210 с.
5. Реестр Гарант [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://certification.vnesenie-v-reestr.ru/news/statistika-pererabotki-musora-2025-dannye-po-rossii-es-ssha-yaponii-i-mirovye-trendy. – (дата обращения: 11.03.2026)

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.Д. Лаптев, О.В. Егоркин
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматриваются современные программные средства, применяемые для проектирования и моделирования робототехнических систем. Описаны особенности интеграционных платформ, физических и комплексных симуляторов, средств визуализации, систем планирования движений, а также CAE-инструментов и технологий аппаратно-ориентированного тестирования. Особое внимание уделяется экосистеме ROS 2, ее возможностям и ограничениям, а также перспективам использования облачных сервисов и симуляторов нового поколения. Работа подчеркивает роль программных средств в ускорении разработки, повышении точности моделирования и интеграции с концепцией «Индустрия 4.0».

***Ключевые слова**:* робототехнические системы, моделирование, симуляторы, ROS 2, виртуальные прототипы, автоматизация, Индустрия 4.0, цифровой двойник

Проектирование робототехнических систем связано с необходимостью решения широкого спектра задач, включающих моделирование физических процессов, разработку алгоритмов управления, проверку надежности механических узлов, отладку взаимодействия с сенсорными системами и организацию коммуникации между подсистемами. Для каждой из этих задач применяются специализированные программные средства, которые в совокупности позволяют создавать виртуальные прототипы, снижая затраты на испытания и ускоряя процесс разработки. Современные подходы проектирования базируются на комплексной интеграции различных программных решений, которые можно условно разделить на восемь основных подгрупп: интеграционные платформы, физические симуляторы, комплексные робототехнические симуляторы, средства визуализации, системы планирования движений, инженерные CAE-системы и инструменты совместного моделирования и аппаратно-ориентированного тестирования.

Ключевую роль в обеспечении взаимодействия между различными модулями играет класс интеграционных платформ. Наиболее известным решением является Robot Operating System второго поколения (ROS 2) – наиболее востребованная экосистема в академической и промышленной робототехнике [1;8]. Платформа обеспечивает модульность, поддержку распределенных систем и активно применяется в разработке промышленных коллаборативных роботов [5] Ключевым преимуществом ROS 2 является развитое сообщество и обширный набор пакетов, охватывающих навигацию, работу с сенсорами и планирование движений [8]. Однако внедрение данной платформы требует серьезной подготовки специалистов, а настройка сложных систем занимает значительное время. В последние годы активно развивается облачные технологии в робототехнике, примером чего является проект FogROS 2, позволяющий переносить

вычислительно сложные задачи, например компьютерное зрение или обучение с подкреплением, в облако [4]. Такой подход повышает производительность и снижает нагрузку на локальные ресурсы, но в то же время создает риски, связанные с сетевой задержкой и безопасностью [9]. ROS 2 и его программные компоненты стали де-факто стандартом для интеграции робототехнических систем, однако их использование требует высокой квалификации разработчиков.

Важным направлением развития являются физические симуляторы, обеспечивающие точную динамику движения. Одним из наиболее известных решений является MuJoCo, ориентированный на задачи обучения с подкреплением и имитацию сложных механических взаимодействий [7; 6] Его ключевым преимуществом является высокая точность физических моделей, в том числе при симуляции трения, упругих элементов и мягких тел, что делает MuJoCo востребованным в исследованиях искусственного интеллекта. Недостатком является ограниченная интеграция с ROS 2 и сложность обучения. Альтернативой выступает PyBullet, открытый физический движок, популярный в образовательных и исследовательских задачах благодаря простоте и доступности [6]. Не смотря на хорошую интегрируемость с Python-библиотеками он уступает MuJoCo в точности и производительности при масштабных симуляциях. Выбор между MuJoCo и PyBullet обычно определяется балансом между требованиями к реализму и удобством интеграции: первый предпочитают в исследованиях искусственного интеллекта, второй – в обучении и начальных этапах проектирования.

Комплексные робототехнические симуляторы представляют собой более высокоуровневый инструмент, интегрирующий физические движки, модели сенсоров и средства визуализации. Наиболее популярным является Gazebo, тесно связанный с ROS 2 и предоставляющий широкий набор готовых моделей роботов, сенсоров и сценариев [2;13] Однако Gazebo является ресурсоемким и не всегда обеспечивает высокую реалистичность графики. В последние годы активно развивается NVIDIA Isaac Sim, построенный на платформе Omniverse [3]. Он предоставляет фотореалистичную графику, поддержку синтетических датасетов и интеграцию с инструментами машинного обучения. Isaac Sim востребован в задачах автономного движения и взаимодействия с человеком, однако требует высокопроизводительных GPU и не является полностью открытым. Таким образом, Gazebo чаще используется в исследованиях и образовании, тогда как Isaac Sim – в промышленных и AI-ориентированных проектах.

Не меньшее значение имеет визуализация данных, позволяющая исследователю наблюдать поведение системы в процессе моделирования. Здесь наиболее распространен RViz, интегрированный в экосистему ROS 2 и предоставляющий средства для визуализации трехмерных моделей, данных с лидар, камер и траекторий [8]. Его ключевым преимуществом является тесная взаимосвязь с ROS, что делает его незаменимым инструментом для отладки. Недостатком является невозможность использования вне ROS. Webots, напротив, представляет собой более универсальный симулятор, ориентированный на об-

разовательные задачи и предоставляющий удобные инструменты визуализации и моделирования [10]. Его достоинствами являются простота и наличие обширной библиотеки готовых моделей. Однако Webots уступает Isaac Sim и Gazebo по точности физического моделирования, что ограничивает его использование в научных проектах.

Подсистемы планирования движений включают инструменты OMPL и MoveIt 2, которые позволяют строить маршруты и планировать траектории роботов с учетом ограничений среды и динамики [5; 8]. OMPL обеспечивает гибкость выбора алгоритмов поиска пути, включая RRT и PRM, но требует глубокого понимания алгоритмов. MoveIt 2 ориентирован более на практическое применение и промышленное использование, поддерживая сложные манипуляции и интеграцию с современными роботами. При выборе между этими инструментами учитываются требования проекта: образовательные задачи чаще решаются с OMPL, промышленное применение с MoveIt 2.

В инженерной практике широко используются CAE-системы, обеспечивающие прочностной, тепловой и динамический анализ конструкций. Среди них выделяются ANSYS и MATLAB/Simulink. ANSYS применяется для проведения прочностных и тепловых расчетов, что особенно важно при проектировании промышленных манипуляторов и мобильных платформ. MATLAB/Simulink, в свою очередь, позволяет моделировать системы управления, проводить исследование динамики и анализировать устойчивость роботов [11]. Эти инструменты обеспечивают высокий уровень детализации, но обладают существенным недостатком в виде высокой стоимости лицензий, что ограничивает их использование в учебных и исследовательских учреждениях с ограниченным бюджетом.

Технологии Hardware-in-the-Loop (HIL) и co-simulation позволяют совмещать виртуальные симуляции с реальными аппаратными компонентами, что особенно актуально для тестирования промышленных роботов и автономного транспорта [13]. Такие решения сокращают время отладки, повышают надежность и позволяют проводить эксперименты с реальным оборудованием без риска повреждений. Основными ограничениями остаются высокая стоимость оборудования и сложность настройки среды.

Таким образом, программные средства для моделирования робототехнических систем обладают значительной специализацией и функциональной разнообразностью. Выбор конкретного инструмента зависит от целей проекта: для отработки алгоритмов и обучения – MuJoCo, PyBullet, Isaac Sim; для интеграции с реальными системами – ROS 2, MoveIt 2; для инженерного проектирования – ANSYS, MATLAB/Simulink; для тестирования аппаратного обеспечения – HIL-решения. Современные тенденции указывают на активное развитие облачных сервисов, интеграцию ROS 2 с симуляторами нового поколения и использование симуляторов для обучения нейросетей, что определяет будущее направление развития ПО в робототехнике [11; 13].

Библиографический список

1. **Audonnet F., Hamilton A., Aragon-Camarasa G.** A systematic comparison of simulation software for robotic arm manipulation using ROS 2 [Электронный ресурс] // arXiv preprint. 2022. URL: https://arxiv.org/abs/2204.06433 (дата обращения: 20.08.2025).
2. Open-VICO: an open-source Gazebo toolkit for vision-based skeleton tracking in human-robot collaboration [Электронный ресурс] // arXiv preprint. 2022. URL: https://arxiv.org/abs/2203.14733 (дата обращения: 30.08.2025).
3. **Salimpour S., Peña-Queralta J., Paez-Granados D**., et al. Sim-to-real transfer for mobile robots with reinforcement learning: from NVIDIA Isaac Sim to Gazebo and real ROS 2 robots [Электронный ресурс] // arXiv preprint. 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2501.02902 (дата обращения: 30.08.2025).
4. **Chen I. Y. H., MacDonald B., Wunsche B**. Scalability of cyber-physical systems with real and virtual robots in ROS 2 // Sensors. 2023. Vol. 23, No. 13, Article 6073. DOI: 10.3390/s23136073.
5. **Franceschi P., Faroni M., Baraldo S., Valente A.** ROS 2-based framework for Fanuc cobot control: design and evaluation // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2024. Vol. 78, № 102545. DOI: 10.1016/j.rcim.2024.102545.
6. **Zhao W., Queralta J. P., Westerlund T.** Simulators in deep reinforcement learning for robotics: a survey and quantitative comparison // Proceedings of the IEEE SSCI. 2020. DOI: 10.1109/SSCI47803.2020.9352985.
7. MuJoCo – advanced physics simulation [Электронный ресурс] // Официальная документация. 2025. URL: https://mujoco.org (дата обращения: 25.08.2025).
8. Mdpi Authors. Robot Operating System 2 (ROS 2)-based frameworks for increasing robot autonomy: a survey // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, No. 23, Article 12796. DOI: 10.3390/app132312796.
9. **La W. G., Kong L., Muralidhara S., Nichat P. DeepSim**: A reinforcement learning environment build toolkit for ROS and Gazebo [Электронный ресурс] // arXiv preprint. 2022. URL: https://arxiv.org/abs/2205.08034 (дата обращения: 23.08.2025).
10. How to pick a mobile robot simulator: a quantitative comparison of CoppeliaSim, Gazebo, MORSE and Webots with a focus on accuracy of motion // Simulation Modelling Practice and Theory. 2022. Vol. 120, Article 102629. DOI: 10.1016/j.simpat.2022.102629.
11. Springer Authors. ROS-Compatible Robotics Simulators for Industry 4.0 and Industry 5.0: a systematic review of trends and technologies // Applied Sciences. 2023. Vol. 15, No. 15, Article 8637. DOI: 10.3390/app15158637.
12. Wikipedia. MuJoCo // Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2025-01-15. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/MuJoCo (дата обращения: 20.08.2025).
13. Wikipedia. Gazebo (simulator) // Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2025. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Gazebo_(simulator) (дата обращения: 28.08.2025).

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗИСТОРОВ

Б.А. Миркин
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

Рассмотрены статистические параметры и характер распределения электрических сопротивлений трех видов маломощных малогабаритных резисторов. Все объекты исследований находились на длительном хранении в нормальных климатических условиях. Определены средние выборочные значения и средние квадратические отклонения для каждого типа резисторов. Показано, что значения сопротивлений после длительного хранения в основном соответствуют требованиям технических условий. Выполнена проверка гипотезы о нормальном распределении выборочных данных по критерию Хи-квадрат. Выявлено, что характер распределения сопротивлений двух из трех типов исследованных элементов подчиняется закону Гаусса-Ляпунова.

Ключевые слова: резистор, электрическое сопротивление, статистические параметры, критерий Хи-квадрат

Введение

В предлагаемой статье представлены результаты исследования статистических параметров и характера распределения сопротивлений трех различных типов малогабаритных маломощных резисторов после длительного хранения в нормальных климатических условиях. Известно [6], что в конструкционных материалах, из которых изготовлен проводящий слой, даже в таких условиях происходят различные физические и физико-химические процессы, приводящие к изменению концентрации свободных электронов. В связи с этим представляет практический интерес, насколько изменяются в течение гарантийного срока службы величины сопротивлений резисторов, находящихся в составе ЗИП (запасных частей инструментов и принадлежностей) сложной аппаратуры и на складах.

В соответствие с основными положениями математической статистики случайная величина, на значение которой влияют множество случайных независимых факторов при достаточном объеме выборочных данных, как правило, должна стремиться к распределению Гаусса-Ляпунова, называемому нормальным [1, 2], если среди воздействующих факторов нельзя выделить доминирующие. Ранее автором выполнен ряд исследований погрешностей датчиков первичной информации [3, 4, 5, 6] результаты которых показали, что гипотеза о нормальном характере распределения изученных величин подтверждается далеко не для всех объектов.

Материалы исследования

Для исследований были отобраны по 200 образцов каждого типа резисторов. Измерения сопротивлений выполнялись цифровым вольтметром В7-78/1 в режиме омметра. Проверка гипотезы о соответствии распределений выборочных данных нормальному закону выполнялось по критерию Хи-квадрат

[7] с интервалом группировки, равным 40% среднего квадратического отклонения и уровнем значимости 0,05.

Полученные результаты представлены в табл. 1-3.

Таблица 1

Сопротивления постоянных металлодиэлектрических резисторов

Номер интервала	**Верхняя граница интервала, Ом**	**Отклонение $(R_{imax}- M_R)$ /σ, Ом**	**Вероятность P_i**	**Ожидаемая частота $F_{norm} = N P_i$**	**Наблюд. частота f**	**Модуль $\lvert F_{norm}- f\rvert$**	χ_i^2
1	315,16	–2,0	0,0228	4,5	0	4,5	4,50
2	317,57	–1,6	0,0320	6,4	5	1,4	0,31
3	319,98	–1,2	0,0603	12,1	12	0,1	0,001
4	322,39	–0,8	0,0968	19,4	31	11,6	6,94
5	324,80	–0,4	0,1328	26,5	36	9,5	3,41
6	327,21	0	0,1554	31,1	29	2,1	0,14
7	329,62	0,4	0,1554	31,1	21	11,1	3,96
8	332,03	0,8	0,1327	26,5	26	0,5	0,01
9	334,44	1,2	0,0968	19,4	12	7,4	2,82
10	336,85	1,6	0,0603	12,1	9	3,1	0,79
11	339,26	2,0	0,0320	6,4	8	1,6	0,40
12	341,67	2,4	0,0228	4,5	11	6,5	9,39
Среднее выборочное M_R = 327,2 Ом; С К О σ = 6,02 Ом $n = K$–3 = 9					N = 200	X^2=32,67	

В третьей колонке приведены отклонения сопротивления верхней границы от среднего выборочного в долях среднего квадратического отклонения СКО, в четвертой колонке – ожидаемая (теоретическая) вероятность попадания случайной величины для нормального закона распределения, в пятой и шестой колонках – ожидаемая F_{norm} и наблюдаемая f частоты для данного объема выборки (N = 200), в седьмой колонке – модуль разности ожидаемой и наблюдаемой частот, в восьмой колонке – квадрат этого модуля, нормированный ожидаемой частотой,

$$\chi_i^2 = \frac{|F_{norm} - f|^2}{F_{norm}}.$$

Для оценки гипотезы нормального распределения число степеней принято $n = K - 3 = 9$ (число интервалов K =12, число дополнительных ограничений равно трем), уровень значимости (вероятность принятия ошибочного решения) α = 0,05.

Среднее выборочное значение сопротивления постоянных металлодиэлектрических резисторов отличается от номинальной величины на 0,9% при допуске 5% на величину сопротивления по техническим условиям. Границы

доверительного интервала сопротивлений составляют от 309,14 Ом до 345,26 Ом, границы технических допусков – от 313,5 Ом до 346,5 Ом, т.е. нижняя граница доверительного интервала выходит за пределы технического допуска на 1,3% от номинального значения. Тем не менее, фактически измеренные максимальное (341,6 Ом) и минимальное (316,9 Ом) значения сопротивлений расположены внутри полей как доверительного интервала, так и границ технических допусков.

Таблица 2

Сопротивление подстроечных лакопленочных композиционных резисторов

Номер интервала	**Верхняя граница интервала, кОм**	**Отклонение $(R_{imax}- M_R)$ /σ, кОм**	**Вероятность P_i**	**Ожидаем. частота $F_{norm} = N P_i$**	**Наблюд. частота f**	**Модуль $\lvert F_{norm}- f\rvert$**	χ_i^2
1	90,59	–2,0	0,0228	4,5	4	0,5	0,056
2	93,17	–1,6	0,0320	6,4	9	2,6	1,056
3	95,75	–1,2	0,0603	12,1	8	4,1	1,389
4	98,32	–0,8	0,0968	19,4	21	1,6	0,132
5	100,90	–0,4	0,1328	26,5	31	4,5	0,764
6	103,48	0	0,1554	31,1	31	0,1	0,000
7	106,06	0,4	0,1554	31,1	26	5,1	0,836
8	108,64	0,8	0,1327	26,5	26	0,5	0,009
9	111,21	1,2	0,0968	19,4	16	3,4	0,596
10	113,79	1,6	0,0603	12,1	14	3,9	1,257
11	116,37	2,0	0,0320	6,4	13	6,6	6,806
12	118,95	2,4	0,0228	4,5	2	2,5	1,389
Среднее выборочное M_R = 103,48 кОм; С К О σ = 6,45 кОм $n = K–3 = 9$					N = 200	X^2=14,291	

Среднее выборочное значение сопротивления подстроечных лакопленочных композиционных резисторов отличается от номинальной величины на 3,48% при допуске 20% на величину сопротивления согласно техническим условиям. Границы доверительного интервала сопротивлений составляют от 84,15 до 122,82 кОм, границы технических допусков – от 80 кОм до 120 кОм, т.е. верхняя граница доверительного интервала выходит за пределы технического допуска на 2,8% от номинального значения. Тем не менее, фактически измеренные минимальное (86,6 кОм) и максимальное (117,4 кОм) значения сопротивлений расположены внутри полей как доверительного интервала, так и границ технических допусков.

Исходя из того, что для принятого числа степеней свободы n = 9 и уровня значимости α = 0,05 [8] условие принятия гипотезы о нормальном характере распределения имеет вид [9, 10]

$$X^2 \le \chi^2_{n,\alpha}=16{,}92,$$

полученные результаты позволяют заключить, что указанное условие выполняется только для лакопленочных композиционных и углеродистых резисторов, а для металлодиэлектрических резисторов выборочное распределение существенно отличается от нормального.

Таблица 3

Сопротивление постоянных резисторов с углеродистым проводящим слоем

Номер интервала	**Верхняя граница интервала, кОм**	**Отклонение (R_{imax}- M_R) /σ, кОм**	**Вероятность P_i**	**Ожидаем. частота $F_{norm}= NP_i$**	**Наблюд. частота f**	**Модуль $\lvert F_{norm}- f\rvert$**	χ_i^2
1	6,37	–2,0	0,0228	4,5	1	3,5	2,722
2	6,47	–1,6	0,0320	6,4	9	2,6	1,056
3	6,56	–1,2	0,0603	12,1	11	1,1	0,100
4	6,65	–0,8	0,0968	19,4	27	7,6	2,977
5	6,75	–0,4	0,1328	26,5	27	0,5	0,009
6	6,84	0	0,1554	31,1	32	0,9	0,026
7	6,94	0,4	0,1554	31,1	31	0,1	0,000
8	7,03	0,8	0,1327	26,5	22	4,5	0,764
9	7,12	1,2	0,0968	19,4	19	0,4	0,008
10	7,22	1,6	0,0603	12,1	9	3,1	0,794
11	7,31	2,0	0,0320	6,4	7	0,6	0,056
12	7,41	2,4	0,0228	4,5	5	0,5	0,056
Среднее выборочное M_R = 6,84 кОм; С К О σ = 0,23 кОм $n = K–3 = 9$					N = 200	X^2= 8,570	

Среднее выборочное значение сопротивления постоянных резисторов с углеродистым слоем отличается от номинального значения на 0,05% при допуске 10% согласно техническим условиям. Границы доверительного интервала составляют от 6,13 кОм до 7,54 кОм, границы технических допусков – от 6,12 кОм до 7,48 кОм, т.е. границы поля технических допусков практически совпадают с границами доверительного интервала. При этом фактически измеренное минимальное (6,3 кОм) значение сопротивления расположено внутри полей доверительного интервала технических допусков, в то время как максимальное (7,9 кОм) сопротивление выходит за пределы верхних границ обоих полей примерно на 5%.

Представленный выше вывод о характере выборочных распределений сопротивлений подтверждается также видом соответствующих гистограмм распределения исследованных типов резисторов, приведенных далее (на рис. 1, 2, 3). На рис. 1-3 представлены гистограммы выборочных распределений (наблюдаемые частоты по интервалам группировки).

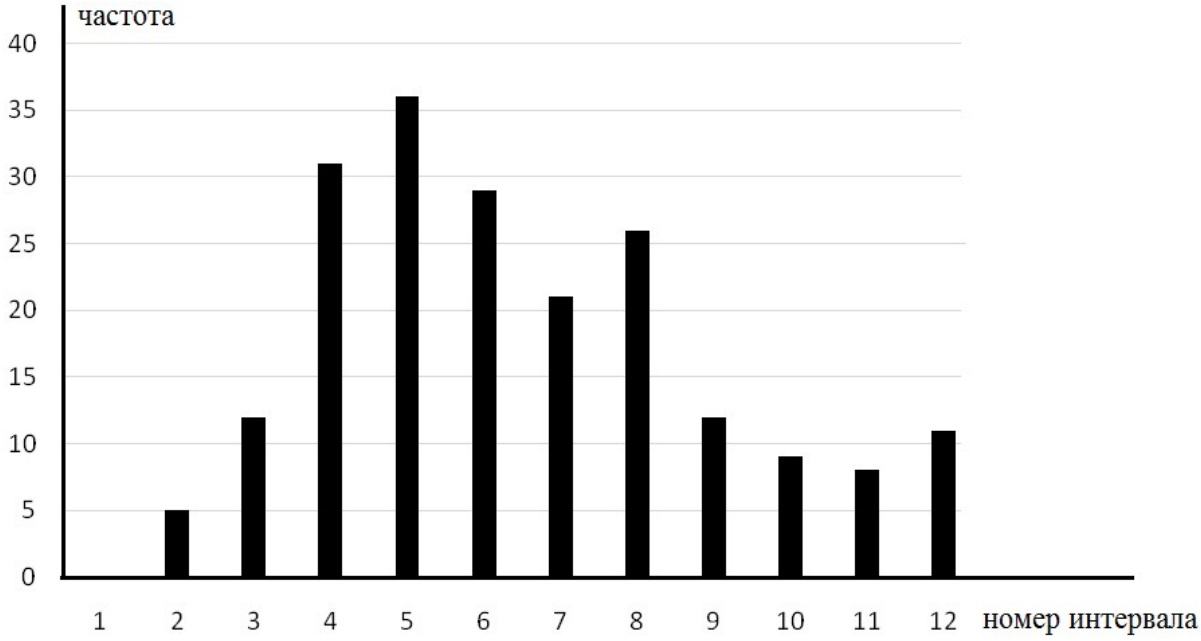


Рис. 1. Распределение сопротивлений резисторов 1-го типа

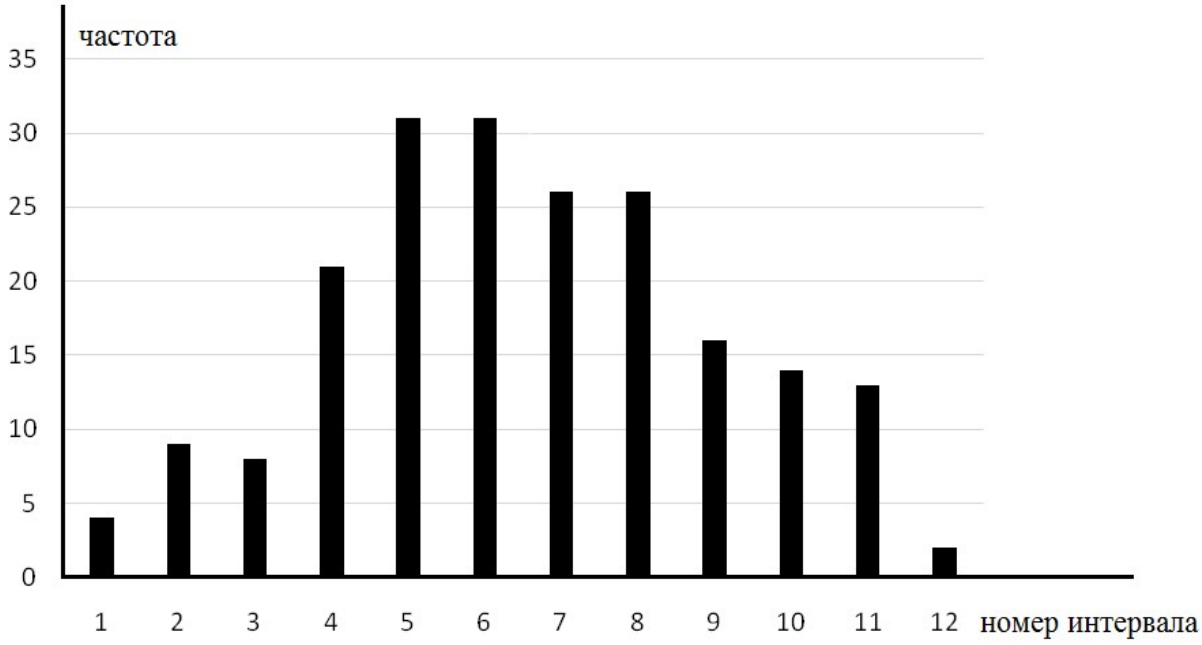


Рис. 2. Распределение сопротивлений резисторов 2-го типа

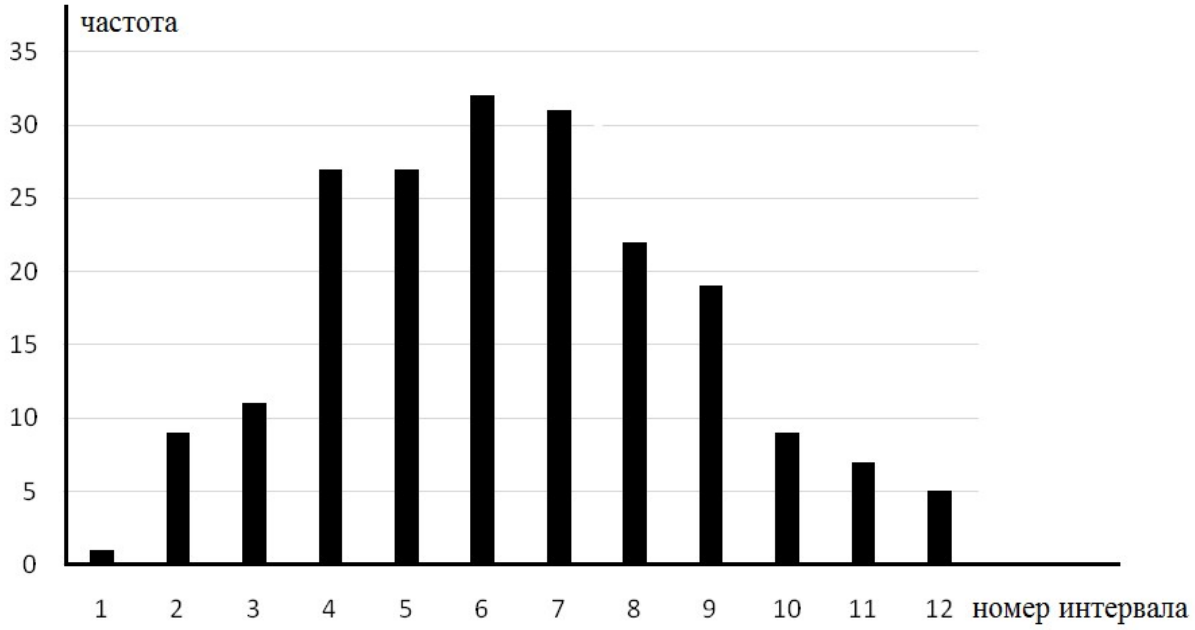


Рис.3. Распределение сопротивлений резисторов 3-го типа

Заключение

Таким образом, выполненные исследования показали, что после длительного хранения в нормальных условиях значения сопротивлений резисторов в основном соответствуют требованиям нормативных документов, за исключением резисторов с углеродистым проводящим слоем, у которых отмечено единичное превышение верхней границы технического допуска. При этом следует отметить характер выборочного распределения сопротивлений металлодиэлектрических резисторов существенно отличается от нормального, а для двух других типов резисторов гипотеза нормального распределения подтверждена.

Исходя из полученных результатов, следует предположить, что электрорадиоэлементы исследованных типов даже после длительного хранения могут быть применены, по крайней мере для изготовления товаров бытового назначения, применяемых в достаточно близких к нормальным условиях и при незначительных механических нагрузках.

Библиографический список

1. ***Вентцель, Е.С.*** Теория вероятностей. – М.: Высшая школа, 1999.
2. ***Беляев, Ю.К.*** Вероятностные методы выборочного контроля. – М.: Наука, 1975.
3. ***Миркин, Б.А.*** Анализ распределения неортогональности / Б.А. Миркин, Р.А. Калиничев // Обозрение прикладной и промышленной математики. т. 13, вып.3. –М., 2006.
4. ***Миркин, Б.А.*** Анализ характера распределения неортогональности // Обозрение прикладной и промышленной математики. т. 14, вып.1. – М., 2007
5. ***Миркин, Б.А.*** Исследование статистики невоспроизводимости нулевого сигнала // Обозрение прикладной и промышленной математики. т. 14, вып.5.– М., 2007.
6. ***Миркин, Б.А.*** Исследование характера выборочного распределения неортогональности акселерометров в измерительной системе/ Б.А. Миркин, Н.А. Кормишина // Про-

грессивные технологии в машино- и приборостроении / Межвузовский сборник. Нижний Новгород-Арзамас, 2007
7. ***Бендат, Дж.*** Прикладной анализ случайных данных / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1989.
8. ***Фаддеев, М.А.*** Элементарная обработка результатов эксперимента: учеб. пособие. – М.: ЮРАЙТ, 2011.
9. ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики.
10. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов, Е.В. Чимитова. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. 888 с.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОЙ СПЕЦИФИКАЦИИ В СОСТАВЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

[1]Н.В.Назарова, [2]О.В.Егоркин
[1]АО «Арзамасский приборостроительный завод имени П.И. Пландина»
[2]Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматриваются особенности включения программных продуктов и цифровых файлов в состав конструкторской документации. Проведен анализ требований нормативных документов Единой системы конструкторской документации и Единой системы программной документации, регламентирующих оформление программных документов. На примере формирования документации на программные файлы выявлены практические трудности, возникающие при использовании действующих стандартов. Рассмотрены вопросы структуры программных документов, применения листов утверждения, оформления титульных листов, а также регистрации изменений. Отмечены противоречия и недостатки существующих форм документов, которые затрудняют их использование в производственной практике. В качестве возможного направления решения выявленных проблем предлагается разработка внутренних нормативных документов предприятий, регламентирующих порядок формирования и применения программной документации.

***Ключевые слова**:* конструкторская документация, программная документация, программная спецификация, ЕСПД, ЕСКД, нормативные документы, лист утверждения, цифровые модели, программные изделия, стандартизация документации.

В современных условиях производства все более широкое распространение получают электронные формы представления конструкторской информации: трехмерные модели изделий, электронные чертежи, базы данных, управляющие программы для оборудования, а также иные цифровые файлы, используемые в технологических процессах [1]. Однако вместе с развитием цифровых технологий возникает вопрос корректного оформления таких материалов в составе конструкторской документации, особенно в случаях, когда требуется их документальное сопровождение, хранение и утверждение.

Проблема особенно актуальна при формировании бумажных комплектов документации и их согласовании. Несмотря на то, что сами данные существуют в электронном виде, они должны иметь официальное обозначение, реквизиты, подписи ответственных лиц и другие атрибуты, предусмотренные нормативными документами.

Рассмотрим данную проблему на примере одного из основных документов конструкторской документации – спецификации.

В 2019 году в Единой системе конструкторской документации был введен стандарт ГОСТ Р 2.106-2019, в котором выделен отдельный раздел «Программные изделия и базы данных». В соответствии с данным стандартом для программных продуктов применяются специальные документы, включая:

- программную спецификацию;
- лист утверждения;
- информационно-удостоверяющий лист.

Каждый из перечисленных документов должен оформляться в соответствии с установленными требованиями стандартов. Благодаря этому программные и иные виртуальные файлы получают официальное обозначение, реквизитную часть, а также необходимые подписи и утверждения.

При подготовке документации на программные файлы (например, архив формата ZIP) необходимо учитывать требования Единой системы программной документации.

Стандарт ГОСТ 19.101-2024 определяет виды программ и программных документов, а также устанавливает правила формирования комплектов документации и классификации программных средств.

В составе конструкторской спецификации в разделе «Программные изделия и базы данных» должна быть указана программная спецификация. Она оформляется в соответствии с ГОСТ 19.202-78 «Единая система программной документации. Спецификация. Требования к содержанию и оформлению».

Согласно пункту 2 данного стандарта структура и оформление программной спецификации должны соответствовать требованиям ГОСТ 19.105-78. В приложении к стандарту приведена форма программной спецификации, обязательная для применения.

Однако на практике при использовании указанной формы возникает первая проблема. В предложенном шаблоне отсутствуют некоторые важные графы. В частности, отсутствует таблица регистрации изменений (рис. 1), которая обычно размещается в нижней части документа. Данная таблица необходима для фиксации изменений в документации при выпуске извещений об изменении согласно ГОСТ 2.503-2023.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Рис.1. Таблица регистрации изменений

Отсутствие данной таблицы затрудняет ведение учета изменений программной документации и снижает прослеживаемость корректировок.

Согласно требованиям стандартов ЕСПД программный документ состоит из нескольких структурных частей.

Первая часть представляет собой титульную область документа. Она включает титульный лист и лист утверждения. Эти элементы выполняют функцию официального подтверждения разработки и утверждения документа и содержат сведения об организации-разработчике, обозначение документа и подписи ответственных лиц.

Вторая часть документа носит информационный характер. В нее входят аннотация и содержание, позволяющие получить общее представление о документе и облегчить поиск необходимых разделов.

Основная часть программного документа содержит сведения, непосредственно связанные с описанием программного продукта. Ее структура определяется стандартами ЕСПД для конкретного вида документа.

Заключительная часть документа предназначена для регистрации изменений. В ней фиксируются все корректировки документа, которые вносятся в процессе его использования и сопровождения.

Отдельного рассмотрения требует лист утверждения, оформление которого регламентируется стандартом ГОСТ 19.104.

Согласно требованиям данного стандарта лист утверждения должен оформляться для каждого программного документа независимо от формы представления информации. Это означает, что соответствующий документ должен выпускаться и для программной спецификации.

При этом стандарт предусматривает включение листа утверждения в состав конструкторской спецификации после утвержденного документа. Одновременно лист утверждения также используется в составе программной спецификации.

Подобная ситуация приводит к возникновению неоднозначности. Один и тот же документ фактически применяется дважды в рамках одного проекта. С одной стороны, программная спецификация входит в состав конструкторской документации и имеет свою первичную применяемость именно в конструкторской спецификации. С другой стороны, лист утверждения размещается в самой программной спецификации и содержит подписи, подтверждающие ее утверждение.

Таким образом, возникает противоречие в логике применения документа, поскольку его назначение и место размещения трактуются неоднозначно.

Лист утверждения имеет строго установленную форму. Однако при ее применении выявляется еще одна проблема.

В используемом шаблоне отсутствует таблица регистрации изменений, а также возникает необходимость размещения таблицы первичной применяемости и справочного номера (рис. 2), которая должна находиться в левом верхнем углу документа.

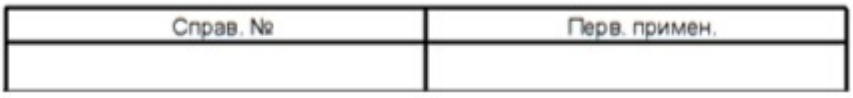


Рис. 2. Таблица первичной применяемости и справочного номера

При разработке шаблонов листов утверждения необходимо учитывать, что приложение 2 стандарта носит справочный характер. Поэтому при оформлении документа следует ориентироваться прежде всего на содержание полей, описанных в основном тексте стандарта.

В ряде случаев организации вынуждены адаптировать формы документов, исходя из практических потребностей ведения документации.

Практические трудности возникают также при заполнении отдельных реквизитов листа утверждения. В частности, это касается поля 6, в котором необходимо указывать должность лица, подписывающего документ.

На практике возникает вопрос, что именно следует указывать в данном поле: функциональную роль участника разработки или его официальную должность в организации. Например, при подписании документа может быть указан «исполнитель», тогда как фактическая должность сотрудника – инженер по программированию или инженер-конструктор. Аналогичная ситуация возникает и для руководителей разработки: в документе может быть указано «руководитель разработки», тогда как в штатном расписании должность сотрудника обозначена, например, как начальник конструкторского бюро.

Таким образом, при заполнении данного реквизита возникает несоответствие между требованиями стандарта и практикой оформления конструкторской документации, где обычно используются фиксированные роли подписантов (разработал, проверил, утвердил и др.). Отсутствие четких разъяснений в стандарте приводит к неоднозначному толкованию порядка заполнения данного поля

Титульный лист программного документа также оформляется по требованиям ГОСТ 19.104-78.

Особенностью его структуры является наличие в левом верхнем углу надписи: «Утвержден / обозначение листа утверждения».

Такая запись обеспечивает взаимосвязь между титульным листом и листом утверждения, подтверждая факт утверждения документа

Однако при использовании типовых форм возникают те же проблемы, что и при оформлении листа утверждения. В частности, в шаблонах титульных листов не предусмотрены таблицы, позволяющие фиксировать изменения документа или указывать сведения о его применении. Это осложняет процесс сопровождения документации и затрудняет отслеживание ее актуальности.

Отдельной проблемой является значительный объем документов, который необходимо оформлять для одного программного файла.

Например, при включении в состав документации архивного файла формата ZIP требуется оформление программной спецификации, информационно-удостоверяющего листа, а также листа утверждения.

При этом лист утверждения для файла является отдельным документом и не совпадает с листом утверждения программной спецификации, хотя оба оформляются по аналогичному шаблону.

Практика работы предприятий показывает, что в некоторых случаях оформление дополнительного листа утверждения оказывается избыточным и не влияет на фактическое использование программного файла.

Проведенный анализ нормативных документов, регламентирующих оформление программной документации, показал наличие ряда практических проблем, возникающих при применении стандартов в условиях современного производства.

К основным выявленным проблемам относятся:

1) отсутствие в некоторых формах документов таблиц регистрации изменений;

2) противоречия в применении листов утверждения;

3) неопределенность при заполнении отдельных полей документов;

4) недостаточная прослеживаемость изменений;

5) избыточность документации при оформлении программных файлов.

Решение указанных проблем возможно путем разработки и внедрения внутренних нормативных документов предприятия. К таким документам могут относиться:

- стандарты организации (СТО);
- стандарты предприятия (СТП);
- рабочие инструкции.

Они могут уточнять порядок формирования комплектов программной документации, дополнять формы необходимыми таблицами, а также регламентировать порядок подписания и применения документов.

Библиографический список

1. ***Норенков, И.П.*** Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И. П. Норенков, П. К. Кузьмик. – М. : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)", 2002. – 320 с.

2. ГОСТ 2.051-2013 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Электронные документы. Общие положения (с Поправкой)»

3. ГОСТ 2.301-68 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Форматы (с Изменениями N 1, 2, 3)»

4. ГОСТ 19.101-2024 «Единая система программной документации. Виды программ и программных документов».

5. ГОСТ 19.104-78 «Единая система программной документации. Основные надписи»

6. ГОСТ 19.105-78 «Единая система программной документации. Общие требования к программным документам»

7. ГОСТ 19.202-78 «Единая система программной документации. Спецификация. Требования к содержанию и оформлению»

8. ГОСТ 19.603-78 «Единая система программной документации. Общие правила внесения изменений»

9. ГОСТ Р 2.106-2019 «Единая система конструкторской документации. Текстовые документы»

10. ГОСТ Р 2.503-2023 «Единая система конструкторской документации. Правила внесения изменений»

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВХОДНОГО БЛОКА ШЛЕЙФА СИГНАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

И.Д. Назыков
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрена модернизация входного блока шлейфа сигнализации для систем физической защиты. Предложена функциональная схема с многоуровневой защитой АЦП от электромагнитных помех, электростатических разрядов, импульсных перенапряжений, КЗ и перегрузок. Обоснованы требования к элементам и показана эффективность комбинированной схемы для повышения надежности работы систем физической защиты.

Ключевые слова: шлейф сигнализации, система физической защиты, помехозащита, АЦП, LC-фильтр, TVS-диод, операционный усилитель

Системы физической защиты объектов широко применяются для обнаружения несанкционированного проникновения на охраняемые территории промышленных, транспортных и энергетических объектов. Входной блок шлейфа сигнализации обеспечивает прием сигналов от извещателей контроля периметра (вибрационных, инфракрасных, радиолучевых, сейсмических) и датчиков движения (пассивных ИК, микроволновых, комбинированных). В условиях интенсивных электромагнитных помех от промышленного оборудования, линий электропередач и радиосредств точность и надежность таких систем существенно снижаются.

Современные требования к помехозащищенности входных цепей шлейфов недостаточно унифицированы, что приводит к ложным срабатываниям и пропускам реальных тревог. Последние разработки в области защиты сигнальных цепей (ГОСТ Р 54869-2011, стандарты MIL-STD) акцентируют внимание на пассивных элементах и многоуровневой фильтрации, однако практическая реализация для периметровых систем требует дальнейшего совершенствования.

Анализ существующих решений показывает, что применение только базовых фильтров недостаточно эффективно в сложных электромагнитных обстановках. Необходима комплексная модернизация входного блока с учетом всех видов помех и сохранением высокой точности преобразования аналогового сигнала в цифровой код для последующей обработки в SOM-модулях.

Для этого требуется разработать и обосновать модернизированную схему входного блока шлейфа сигнализации, обеспечивающую повышенную помехоустойчивость и надежность работы систем физической защиты.

В табл. 1 приведена классификация основных видов помех, влияющих на работу входных блоков шлейфов сигнализации систем физической защиты.

Таблица 1

Классификация помех для входных блоков шлейфов сигнализации

Вид помех	**Описание**	**Диапазон частот / амплитуда**	**Основные источники**	**Последствия для АЦП и системы**
Электромагнитные	Индуцированные наводки от внешних полей	10 МГц – 6 ГГц, до 100 В/м	Силовое оборудование, радиопередатчики, ЛЭП	Снижение точности, ложные тревоги
Электростатические разряды	Импульсные разряды статического электричества	до 15 кВ	Человеческий фактор, трение, оборудование	Разрушение входных цепей АЦП
Импульсные перенапряжения	Короткие броски напряжения	до 1 кВ (импульс 1/50 мкс)	Коммутационные процессы, грозовые разряды	Пробой изоляции, выход из строя элементов
Короткие замыкания и перегрузки	Длительные превышения тока	до 10 А	Повреждение кабеля, ошибки монтажа	Термическое разрушение, отказ блока
Высокочастотные помехи	Наводки в линиях питания и сигнала	> 1 МГц	Индустриальные источники, радиосредства	Деградация сигнала, потеря полезной информации
Импульсные наводки	Короткие импульсы от коммутации	до 100 В	Реле, контакторы, электродвигатели	Артефакты в цифровом коде, ложные срабатывания

Модернизированный входной блок должен удовлетворять комплексу требований, обеспечивающих надежную и устойчивую работу в сложных электромагнитных условиях:

1) эффективная защита от электромагнитных помех в диапазоне 10 МГц – 6 ГГц;
2) устойчивость к электростатическим разрядам до 15 кВ и импульсным перенапряжениям до 1 кВ (форма импульса 1/50 мкс);
3) глубокая фильтрация высокочастотных помех и импульсных наводок с полосой подавления не менее 5 МГц;
4) применение исключительно пассивных защитных элементов, не создающих дополнительных источников излучения;
5) защита от коротких замыканий и перегрузок по току до 10 А с функцией автоматического восстановления;
6) точное усиление и согласование входного сигнала для корректной работы АЦП с разрешением не менее 12 бит;
7) выполнение первичной цифровой фильтрации (усреднение, подавление дребезга и кратковременных всплесков);
8) компактное исполнение и минимальное энергопотребление;

9) поддержка протяженных шлейфов длиной до 1–2 км без значительного снижения качества сигнала;

10) полная совместимость с цифровыми интерфейсами I²C / SPI и операционными системами семейства Windows / Linux.

Для реализации перечисленных требований разработана функциональная схема входного блока, разделенная на три логически последовательные зоны (рис. 1). Такое разделение позволяет системно распределить функции защиты от помех, аналоговой обработки сигнала и его цифровизации, обеспечив многоуровневую защиту при сохранении высокой точности и надежности обнаружения.



Рис.1. Функциональная схема входного блока шлейфа сигнализации

Архитектура и принцип работы входного каскада входного блока ШС

Зона 1

На входе системы реализован многоступенчатый барьер безопасности:

Самовосстанавливающийся предохранитель, предотвращающий повреждение цепи при коротких замыканиях. А также последовательно включенный LC фильтр, который позволит эффективно подавлять высокочастотные помехи. TVS-диод ограничит амплитуду импульсных перенапряжений и электростатических разрядов до безопасного для системы.

Зона 2

Второй каскад отвечает за адаптацию сигнала для измерительного тракта. В которой делитель напряжения приводит входную амплитуду напряжения к рабочему для АЦП диапазону.

Конденсатор выполняет роль ФНЧ, сглаживая остаточные пульсации, а инвертирующий операционный усилитель, работая в режиме буфера, согласо-

вывает входное и выходное сопротивление и минимизирует искажения, возникающие из-за распределенной емкости длинных линий связи.

Зона 3

Финальный этап включает перевод данных в цифровую форму и их первичный анализ. Прецизионный АЦП оцифровывает подготовленный аналоговый сигнал. После чего микроконтроллер подавляет «дребезг» контактов и случайные импульсные помехи с помощью встроенных алгоритмов. Отфильтрованная информация транслируется по шине I²C на системный SOM-модуль для дальнейшего использования системой физической защиты.

Полученные результаты показывают, что модернизированный входной блок позволит повысить устойчивость входного сигнала от извещателей к электромагнитным и импульсным помехам. Сопоставление с аналогичными разработками подтверждает эффективность комбинированного подхода, где пассивные элементы на входе минимизируют воздействие помех, а усиление и цифровая фильтрация сохраняют качество получаемого сигнала.

Разработанная схема позволяет реализовать совместную работу извещателей и главного SOM модуля системы физической защиты. Результаты проектирования могут быть использованы для модернизации существующих шлейфов сигнализации в существующих и новых системах.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 54869-2011. Системы безопасности. Требования к помехозащищенности. – М.: Стандартинформ, 2011.
2. ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления. – М.: Стандартинформ, 2008.
3. ***Иванов, А.А.*** Помехозащищенность аналоговых цепей в системах охраны / А.А. Иванов // Вестник НГТУ. – 2023. – № 4. – С. 45-52.
4. ***Петров, В.С.*** Современные методы защиты входных интерфейсов АЦП / В.С. Петров // Радиотехника. – 2024. – № 2. – С. 112-120.

ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДОСТУПОМ К ОХРАНЯЕМЫМ ОБЪЕКТАМ НА ОСНОВЕ GSM-КОНТРОЛЛЕРА

Я.А. Никитина
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье описывается GSM-контроллер предназначенный для удаленного управления доступом к объектам посредством SMS-команд. Представлена структурная схема устройства, описан принцип работы, основные функции и параметры. Отмечены возможности расширения функционала за счет подключения датчиков и интеграции с ПК.

Ключевые слова: GSM-контроллер, беспроводной доступ к объекту, удаленный контроль и мониторинг, управление нагрузкой, структурная схема

В современном мире автоматизация и дистанционное управление становятся неотъемлемой частью производственных процессов и повседневной жизни. Системы управления доступом к объектам активно интегрируют беспроводные технологии – в частности, GSM-решения. Такие устройства как GSM-контроллеры позволяют удаленно управлять исполнительными механизмами (замками, шлагбаумами, воротами) через SMS-сообщения или звонки, что особенно ценно для объектов в удаленных зонах, где прокладка проводных линий затруднена [1].

Актуальность проектирования GSM-контроллера обусловлена его универсальностью и экономической эффективностью: GSM-сеть охватывает обширные территории, включая зоны с ограниченной инфраструктурой; управление через SMS или звонок доступно с любого мобильного телефона; система сохраняет работоспособность при отсутствии интернета, а резервное питание обеспечивает функционирование во время отключения электроэнергии.

Структурная схема GSM-контроллера доступа представлена на рис. 1. Режим работы контроллера – круглосуточный. Питание осуществляется от внешнего блока питания с выходным напряжением 12 В. Потребляемая мощность устройства, не должна превышать 10 Вт. Контроллер должен работать с SIM-картами всех операторов РФ в стандарте связи 2G (GSM).

Контроллер содержит блок памяти, в котором хранится до 250 телефонных номеров авторизированных пользователей. Устройство оснащено четырьмя каналами управления нагрузкой (реле) с коммутируемым напряжением не менее 220 В и током не менее 4,5 А. Это дает возможность подключать и управлять различными исполнительными механизмами (замками, шлагбаумами, воротами и т.д.). Дополнительно контроллер оборудован датчиком открытия/закрытия с функцией приема и обработки его данных, что повышает уровень безопасности объекта за счет оперативного реагирования на несанкционированный доступ. Для удобства эксплуатации предусмотрена светодиодная индикация режимов работы, позволяющая визуально контролировать состояние устройства и его текущие функции.

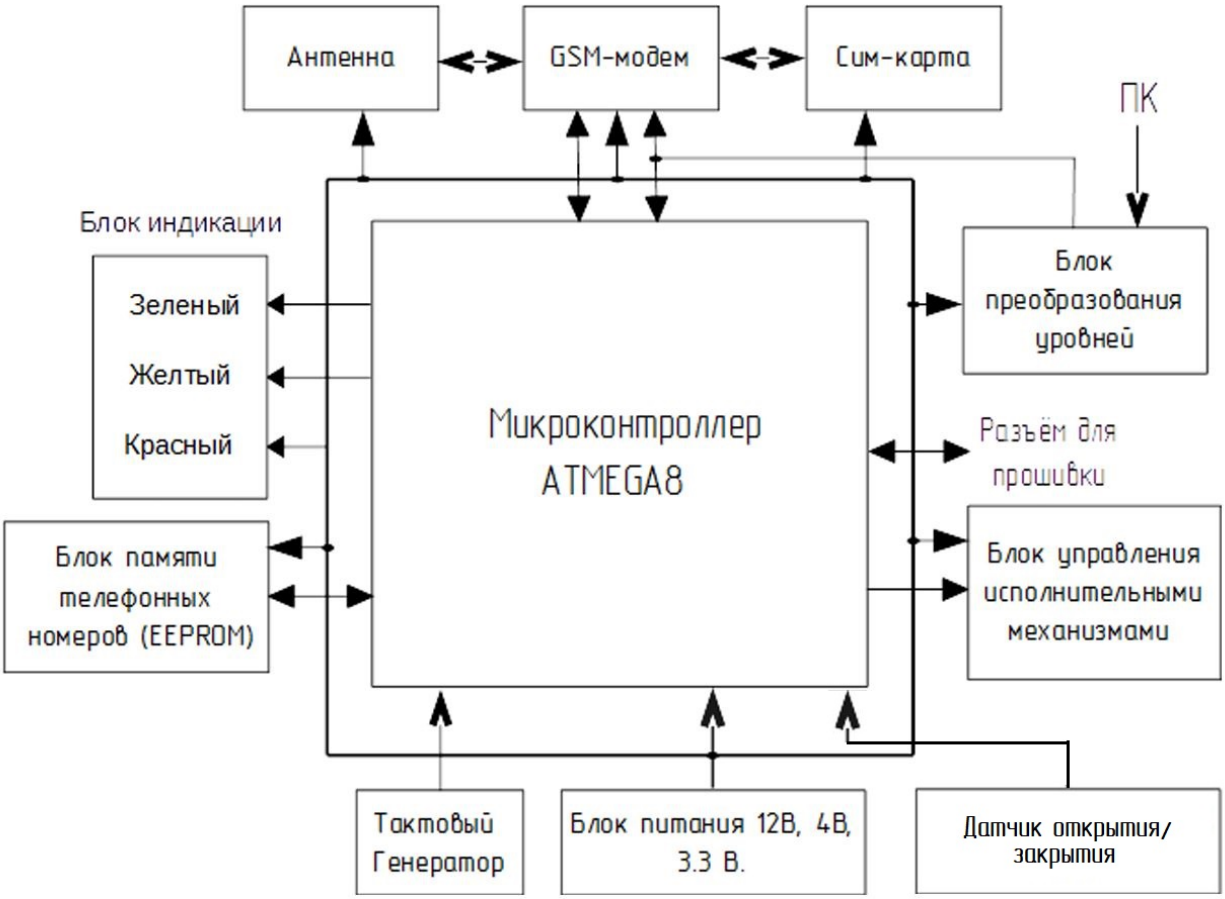


Рис. 1. Схема электрическая структурная контроллера удаленного доступа

Антенна является ключевым элементом для обеспечения связи с GSM-сетью. Она отвечает за прием и передачу радиосигналов между контроллером и базовой станцией оператора связи. GSM-контроллер должен обеспечивать две опции подключения антенны: встроенной в блок контроллера и выносной – с использованием внешнего монтажа.

Структурная схема включает в себя GSM-модем, который обеспечивает обмен данными между контроллером и внешней средой через сотовую сеть. В рамках задач настоящей работы рассматриваются варианты применения наиболее популярных GSM-модулей для подобных систем: SIM800L, SIM900.

В качестве микроконтроллера используется ATMEGA8[2]. В его задачи входит:

– обработка входных сигналов (SMS, звонки, сигналы от датчиков);

– сравнение номера отправителя SMS с базой авторизованных номеров (хранится в EEPROM);

– управление исполнительными механизмами через блок управления;

– индикация состояния системы с помощью светодиодов;

– реализация логики доступа (например, задержка срабатывания замка после команды).

ATMEGA8 обладает достаточным объемом памяти и количеством портов ввода/вывода для реализации функционала GSM-контроллера.

Блок индикации реализует световую индикацию состояния системы, отображая три режима: система активна, доступ разрешен, ошибок нет; система находится в режиме ожидания (обработка команды, задержка перед срабатыванием); ошибка в работе системы, доступ запрещен, сработала тревога.

Блок энергонезависимой памяти на базе EEPROM хранит список авторизованных телефонных номеров, с которых разрешено управлять контроллером.

Блок управления исполнительными механизмами преобразует логические сигналы от микроконтроллера в управляющие сигналы для исполнительных устройств.

Блок преобразования уровней необходим для согласования линии обмена данными между ПК и микроконтроллером.

Работа устройства основана на слаженном взаимодействии всех блоков по заданному алгоритму. Пользователь отправляет SMS-команду на номер SIM-карты, установленной в GSM-модеме. Получив сообщение, GSM-модем преобразует его в цифровой формат и передает данные в микроконтроллер.

Далее микроконтроллер анализирует содержимое SMS и извлекает номер отправителя, после чего сравнивает его со списком авторизованных номеров, хранящихся в памяти EEPROM. Если номер отправителя авторизован, микроконтроллер подает сигнал на блок управления исполнительными механизмами. Тот активирует реле, которое открывает замок или включает другое исполнительное устройство. Одновременно с этим блок индикации загорается зеленым цветом – это сигнализирует об успешном доступе. Кроме того, микроконтроллер может отправить SMS-уведомление о произошедшем событии (например, «замок открыт в 15:30») на заранее заданный номер.

В случае если номер отправителя отсутствует в списке авторизованных, микроконтроллер игнорирует команду или отправляет ответное SMS с предупреждением. При этом блок индикации загорается красным цветом, наглядно сигнализируя об ошибке. Помимо обработки команд и управления доступом, микроконтроллер способен передавать отчеты о событиях на ПК через GSM-модем – эти данные затем используются для анализа и архивирования.

Возможности системы можно расширить путем подключения датчиков движения, температуры, удара, открытия/закрытия дверей. Разработанная структурная схема позволяет выполнить данное подключение. В качестве дополнительных возможностей, работу контроллера можно адаптировать под управление другими процессами, например, для дистанционного управления освещением или отоплением.

Следующий этап работы над проектом заключается в разработке электрической схемы, программного обеспечения для микроконтроллера и конструкции печатного узла GSM-контроллера. В перспективе также планируется рассмотреть возможность использование мобильных приложений и альтернативных беспроводных каналов связи.

Библиографический список

1. **Минаев А.** RIT35 – современные GSM системы мониторинга / А. Минаев, Ю. Ващенко // Современная электроника. – 2006. - №9. – С. 42 – 43.
2. **Валов А.В.** Микропроцессоры и их применение в системах управления: Учебное пособие / А.В. Валов – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ,2012 –Ч.2 – 81 с.

РАЗРАБОТКА ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ АССИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Р.И. Никишков
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье представлена разработка частотного преобразователя для асинхронного электродвигателя, описаны структурная схема и принцип работы устройства, представлена схема электрическая принципиальная и конструкция печатного узла частотного преобразователя.

Ключевые слова: частотный преобразователь, асинхронный электродвигатель, гальваническая развязка, силовой транзисторный каскад, вторичный источник питания, структурная схема.

Асинхронные электродвигатели широко применяются в промышленности, однако традиционные методы их управления вызывают высокие пусковые токи, механические удары и перерасход электроэнергии. Частотные преобразователи (ЧП) решают эти проблемы: они снижают пусковые токи, экономят электроэнергию, продлевают срок службы оборудования и позволяют интегрировать электроприводы в автоматизированные системы [1]. В условиях роста стоимости энергоресурсов разработка ЧП для асинхронных двигателей становится особенно актуальной.

Основной задачей исследования является создание частотного преобразователя для асинхронного электродвигателя, в соответствии со следующими техническими требованиями: ток потребления не должен превышать 16 А; потребляемая мощность без нагрузки – не более 60 Вт, под нагрузкой – не более 2 кВт; выходное напряжение – трехфазное 220В; диапазон регулирования напряжения – от 0 В до 310 В, частоты – от 1 Гц до 800 Гц; точность регулирования частоты – не более ±0,5%.

Учитывая заданные технические требования к ЧП, была разработана структурная схема устройства (рис. 1).

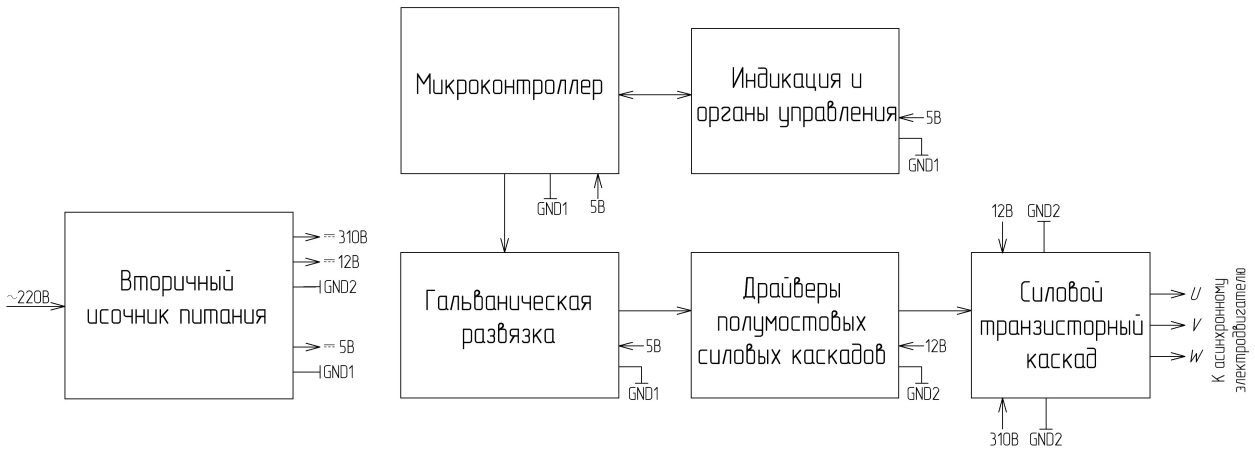


Рис. 1. Схема электрическая структурная частотного преобразователя

Микроконтроллер формирует ШИМ-сигналы для управления силовыми транзисторами, обрабатывает команды от органов управления, реализует алгоритмы оптимизации работы двигателя и выводит информацию на ЖК-дисплей.

Блок индикации и органов управления состоит из кнопок и ЖК-дисплея. Кнопки задают параметры работы (скорость, направление, режим), а дисплей отображает текущие данные (скорость, ток, напряжение, коды ошибок). Сигналы поступают на микроконтроллер через линии ввода-вывода.

Гальваническая развязка обеспечивает изоляцию низковольтной управляющей части от высоковольтной силовой.

Драйверы полумостовых каскадов служат промежуточным звеном между управляющей электроникой и силовыми транзисторами. Они повышают уровень напряжения и тока, уменьшают время переключения, снижают потери и нагрев ключей, а также предотвращают одновременное включение транзисторов в полумосте, исключая сквозные токи.

Силовой транзисторный каскад преобразует постоянное напряжение звена постоянного тока в трехфазное переменное для питания двигателя. Он питается от вторичного источника (310 В, GND2) и управляется сигналами драйверов.

Вторичный источник питания обеспечивает узлы схемы необходимыми уровнями напряжения: 310 В (GND2) – для силового каскада (формируется из сетевого 220 В); 12 В (GND2) – для питания драйверов; 5 В (GND1) – для микроконтроллера и органов управления [2].

Схема электрическая принципиальная, состоящая из микроконтроллера, индикации и органов управления, представлена на рис. 2.

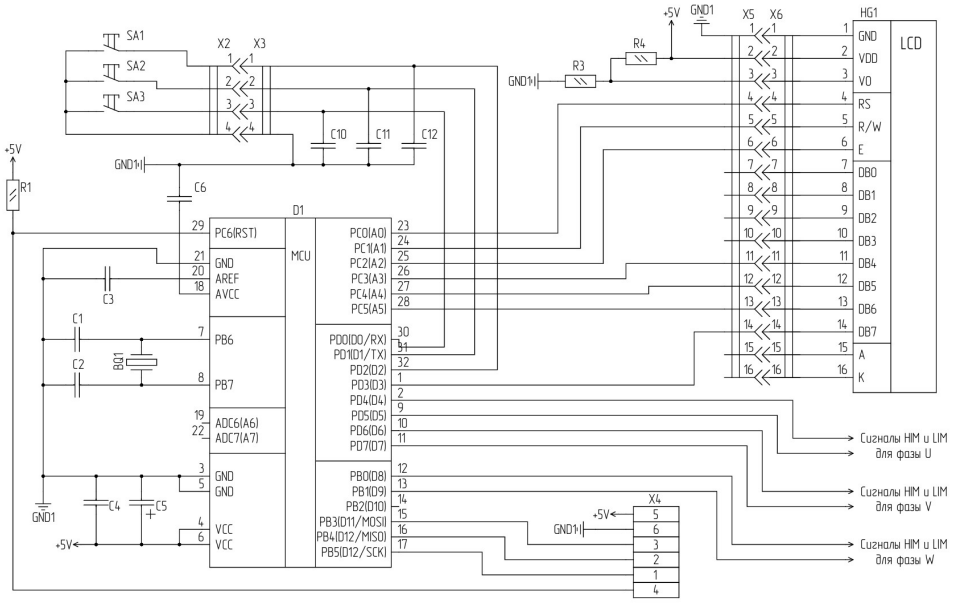


Рис. 2. Узлы микроконтроллера, индикации и органов управления

Внешнее управление устройством осуществляется через три тактовые кнопки SA1-SA3, а визуальная обратная связь обеспечивается ЖК-дисплеем HG1 (LCD-1602), функционирующим в 4-битном режиме.

Микроконтроллер (МК) содержит три таймера с синхронизацией. Таймер 1 генерирует прерывание переполнения для задания шага генерации синусоиды (пропорционального выходной частоте) и синхронной записи значений ШИМ во все таймеры.

Частота и амплитуда выходного сигнала вычисляются в МК и отображаются на ЖК-дисплее. Параметр V/f рассчитывается до переполнения таймеров – в соответствии с типовым режимом управления трехфазными двигателями. ШИМ-генератор работает в контексте прерываний, основной цикл программы обслуживает пользовательский интерфейс.

Режимы отображения на дисплее HG1.

Режим 1 (рабочее меню): кнопка 1 переключает между настройками V/f и частоты, кнопки 2 и 3 изменяют значение (с функцией автоповтора с ускорением), курсор – под редактируемым параметром.

Режим 2 (настройка параметров, активируется одновременным нажатием кнопок 1 и 2): позволяет задать значения ПИД-регулятора, задержку между включениями транзисторов выходного каскада, начальные параметры V/f и сохранить их в памяти микроконтроллера. Кнопки 1, 2 и 3 переключают и настраивают параметры. Сохранение осуществляется нажатием кнопок 1 и 2, выход без сохранения (с сохранением текущих V/f и частоты из Режима 1) нажатием кнопок 1 и 3.

На вход вторичного источника питания (рис. 2) поступает сетевое напряжение переменного тока 220 В, 50 Гц. В составе источника реализованы следующие функциональные блоки: трансформатор T1, выпрямитель на элементах VD1-VD3, стабилизаторы напряжения DA1, DA2 и фильтрующие элементы в виде конденсаторов C7-C9, C19-C22 и дросселей L1, L2.

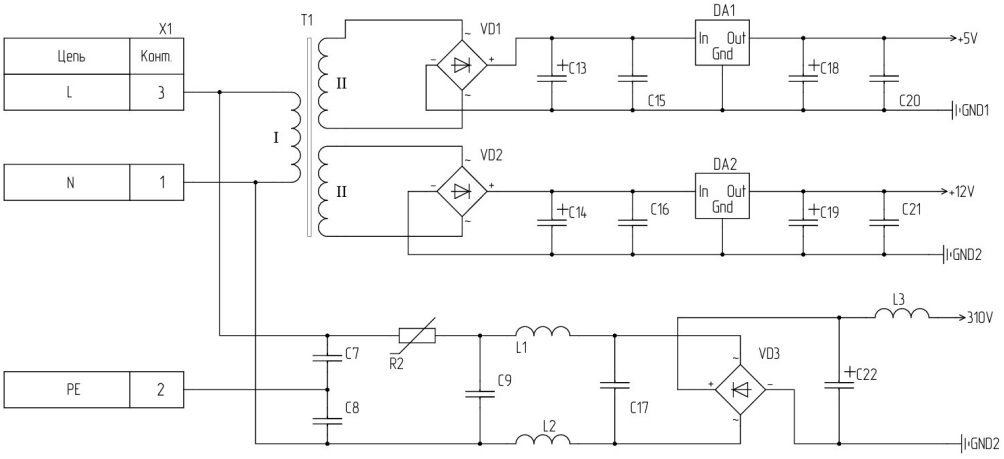


Рис. 3. Схема вторичного источника питания

При проектировании необходимо строго разделять цепи GND1 и GND2. Это необходимо для защиты управляющей электроники от сетевых помех и перенапряжений, снижения уровня электромагнитных наводок на сигнальные цепи, соблюдения норм электробезопасности при эксплуатации устройства.

На рис. 4 представлена схема электрическая принципиальная гальванической развязки, драйвера ключей и силовых транзисторов частотного преобразователя напряжения.

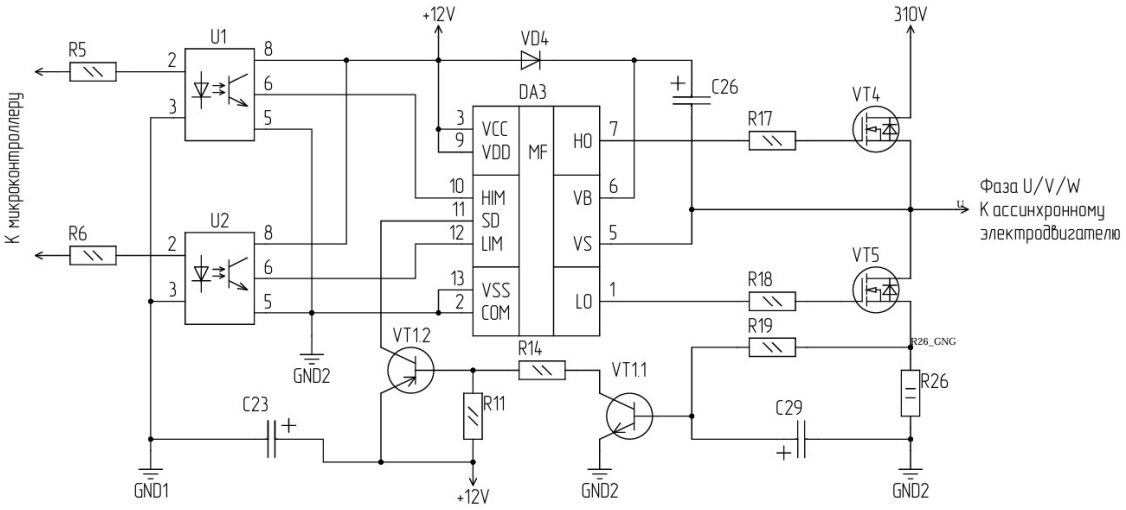


Рис. 4. Схема силового каскада частотного преобразователя

Частотный преобразователь включает в себя три идентичных узла. Гальваническая изоляция цифровой части схемы от выходного каскада преобразователя реализована с помощью шести оптронов U1-U6 (HCPL3120). Они передают управляющие сигналы на полумостовые драйверы DA3-DA5 (микросхема IR2110), которые коммутируют силовые ключи VT4-VT9. Выходные каскады всех трех фаз выполнены идентично и оснащены схемой токовой защиты. Она построена на измерительном шунте R26 и паре транзисторов VT1.1 и VT1.2. При превышении допустимого тока VT1.1 открывается и подает сигнал на VT1.2. Высокий уровень напряжения на его коллекторе активирует вход отключения драйвера, блокируя работу силового каскада.

Электрическая принципиальная схема реализована в виде двух печатных узлов: модуля индикации и модуля частотного преобразователя (рис. 5).

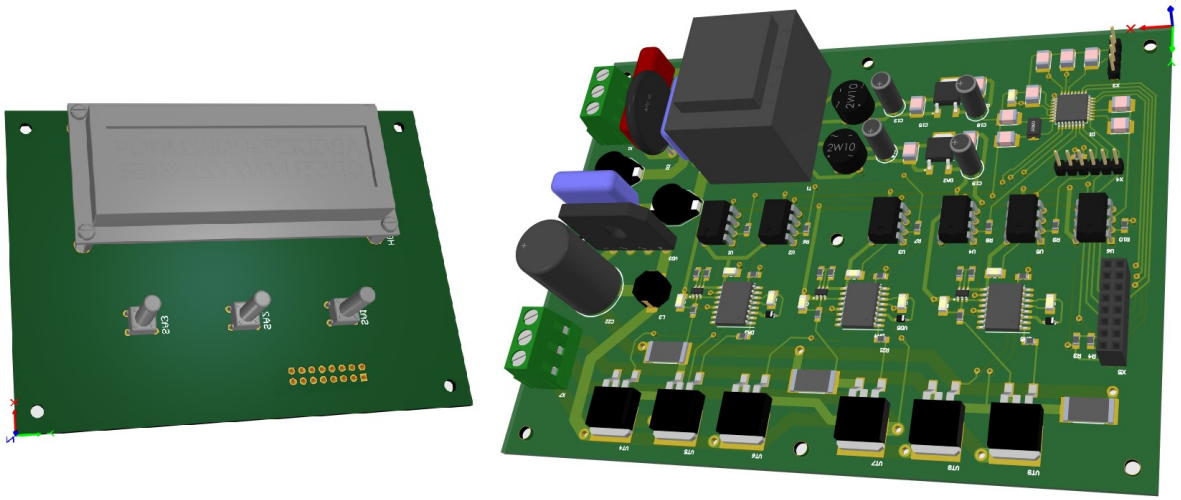


Рис. 5. Модуль индикации и модуль частотного преобразователя

В качестве ключевых преимуществ разработанного ЧП можно отметить: разделение силовой и управляющей частей с помощью гальванической развязки, применение специализированных драйверов, что гарантирует безопасность и стабильность работы, реализацию гибкой системы управления за счет использования микроконтроллера с возможностью программирования различных алгоритмов работы. Таким образом, разработанный частотный преобразователь для управления асинхронным электродвигателем обеспечит эффективное и экономичное использование электрической энергии за счет оптимизации их работы в различных промышленных и бытовых приложениях.

Библиографический список

1. ***Мальцева, О.П.*** Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Томский политехнический университет, 2007. – 648 с.
2. ***Усольцев, А.А.*** Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛИ «ОТРАЖАТЕЛЬ» ИЗ МЕТАЛЛА

А.А. Осминкина, Н.М. Прис
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

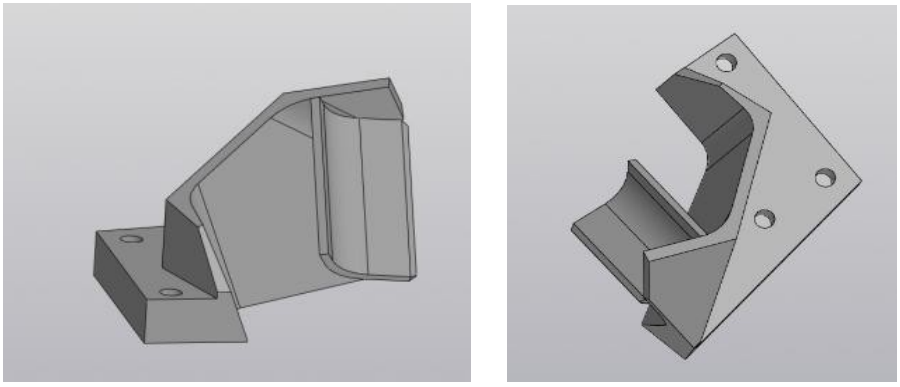
Статья посвящена применению аддитивных технологий на производстве в современном мире. Исследованы основные виды аддитивных технологий. На примере детали «Отражатель» рассмотрены преимущества перехода с базовой технологии на новую – печать на 3D – принтере металлическим порошком по SLM-технологии.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, металлический порошок, SLM-технология

В современном производстве огромную роль играет безопасность, повышение качества изготавливаемой продукции, ускорение производительности. Зачастую, технологии, которые были изначально и до сих пор применяются в наше время (еще их называют традиционные технологии) требуют много затрат – большое количество инструментов, оборудования, времени, рабочих единиц, высококвалифицированных специалистов.

Разнообразие изготавливаемых деталей на предприятиях очень высоко. Многие из них при создании должны быть изготовлены с высокой точностью, характеризуются тонкостенностью, мелкоразмерностью, сложной геометрией и трудной свариваемостью. При изготовлении таких изделий повышается вероятность брака – это приводит к снижению производительности и требует больше времени для выявления и его исправления.

Иногда для более эффективного производственного процесса следует заменить базовую технологию изготовления на более современную. Как, например, в детали «Отражатель». На рис. 1, *а, б* представлена 3D-модель детали.



а *б*

Рис. 1. 3D-модель детали «Отражатель»

Деталь «Отражатель» является тонкостенной, сложной геометрии и изготовляется с высокой точностью, имеет небольшие размеры (65×74×40). Вес готовой детали достигает 80 граммов.

В базовой технологии деталь «Отражатель» собирается из двух составляющих – кронштейн и откос. Сборка происходит за счет соединения правой части откоса и втулки на кронштейне. После этого производится сварка. Так как данная деталь тонкостенная, толщина откоса равна всего 2 мм, кронштейна – тоже небольшая, 3–4 мм, полотно металла получается тонким. Для того, чтобы не допустить брака при сварке, требуется высококвалифицированный специалист.

С целью недопущения брака предлагается заменить базовую технологию на аддитивную.

Аддитивные технологии – обобщенное название технологий, предполагающих изготовление изделия по данным цифровой модели (или CAD-модели) методом послойного добавления материала [1].

Термин «аддитивные технологии» (additive manufacturing) распространился и стал широко использоваться в англоязычной литературе после закрепления в стандарте ASTM F2792 в 2009 году. В 2017-м понятия, касающиеся такого производства, зафиксировались и в российском ГОСТ [2].

Термины «аддитивные технологии» и «3D-печать» часто используют как синонимы.

На данный момент наиболее распространенными видами 3D-технологий являются следующие: технология послойного расплавления, порошковая наплавка, прямое нанесение металла по технологии DMD.

Технология послойного расплавления с использованием порошкового металла предполагает использование металлического порошка в качестве исходного материала и лазера или электронного луча для его расплавления и послойного создания трехмерного объекта. Эти технологии позволяют изготавливать детали сложной геометрии с высокой точностью и прочностью.

Следующий вид 3D-технологии – порошковая наплавка. Данная технология, так же известна как прямое энергетическое осаждение (DED), часто предполагает использование металлического порошка, что делает ее частью более широкой категории аддитивного производства металлов. Данная технология предполагает использование порошка, проволоки или других материалов для создания трехмерных объектов.

Прямое нанесение металла по технологии DMD. DMD – это технология аддитивного производства, при которой металл (в виде порошка или проволоки) плавится с помощью направленного источника энергии и осаждается слой за слоем для создания или ремонта объектов. Также эту технологи называют еще прямым лазерным выращиванием (ПЛВ).

Исходя из параметров и особенностей детали, характеристик применимых для нее, целесообразно использовать технологию послойного расплавления, а именно SLM -технология (Селективное лазерное плавление).

Данная технология позволяет создать детали с высокой точностью за счет того, что толщина слоя порошка может составлять от 15 до 100 микрон. Также

данный вид печати является наиболее распространенным среди 3D - печати металлом.

Тонкий слой металлического порошка распределяется по рабочей платформе. Лазерный луч, управляемый компьютером на основе 3D-модели, выборочно плавит порошок в нужных местах, формируя слой детали. Платформа опускается, и наносится новый слой порошка. Процесс повторяется до завершения печати всего объекта. Принцип работы по SLM – технологии представлен на рис. 2.

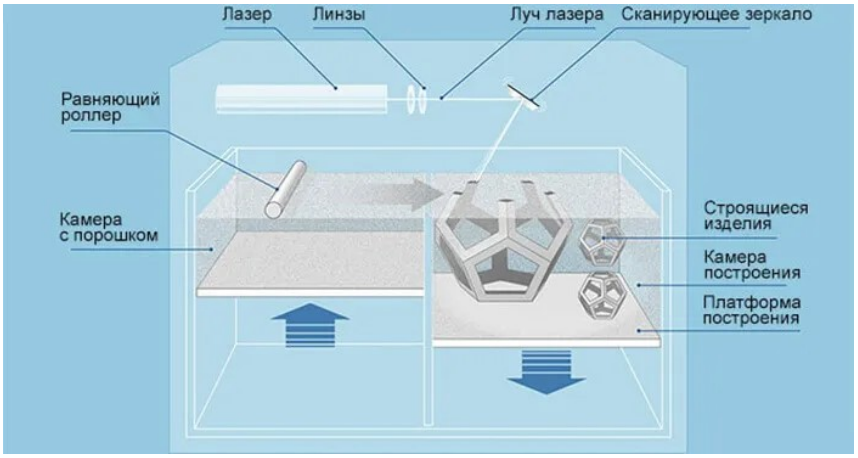


Рис. 2. Принцип работы SLM-печати

В базовой технологии при изготовлении детали используется следующий материал: кронштейн – алюминиевый сплав АМг6 ГОСТ 4784–92; откос – АМг6 2 ГОСТ 21631–2023.

Согласно ГОСТ 4784-92 химический состав алюминиевого сплава АМг6 представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав алюминиевого сплава АМг6 ГОСТ 4784–92 В %

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Дополнительные указания	Прочие элементы (сумма)	Al	Плотность кг/см³
0,4	0,4	0,1	0,5 – 0,8	5,8 - 6,8	0,2	0,02 – 0,10	Бериллий: 0,0002 – 0,05	0,1	Остальное	2,65

Для изготовления детали с помощью 3D-печати необходимо подобрать металлический порошок с похожим составом, похожими свойствами. Готовая деталь, созданная по новой технологии, не должна терять свои свойства и характеристики.

Лучше выбирать отечественный материал. На рынке среди отечественных компаний существуют фирма RUSAL, которая занимается производством алюминиевых сплавов, включая и металлические порошки.

Наиболее похожий порошок AISi10Mg (RS-300 Rusal). Химический состав данного порошка представлен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав порошка AISi10Mg В %

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
9,0-11,0	Не более 0,55	Не более 0,05	Не более 0,45	0,25-0,45	Не более 0,10	Не более 0,15	Остальное

Физически свойства спеченного материала представлены в табл. 3.

Таблица 3

Физические свойства (спеченный материал)

Плотность, г/см³	2,658
Пористость, об. %	Не более 0,20

Данный металлический порошок является алюминиево-кремниево-магниевым сплавом. Он отличается хорошей прочностью, высокой устойчивостью к коррозии, обладает хорошими литейными свойствами.

Готовым изделиям из соответствующего материала присущи следующие характеристики: высокая прочность при низком весе; отличная коррозийная стойкость; хорошая обрабатываемость; хорошая свариваемость; высокая теплопроводность; устойчивость к термическому растрескиванию.

Материал AISi10Mg обладает следующими механическими свойствами (табл. 4).

Таблица 4

Механические свойства алюминиевого порошка AISi10Mg

Состояние	Направление	Прочность на разрыв	Предел текучести	Удлинение	Твердость
		Rm	Rp 0.2	A	HWB
		МПа	МПа	%	
Исходное состояние	XY	460±20	270±20	9±2	105±10
	Z	460±20	240±20	6±2	
После термической обработки (снятие напряжения)	XY	345±10	230±15	12±2	80±5
	Z	350±10	230±15	11±2	
После термической обработки (отжиг на твердый раствор)	XY	230±10	140±10	15±10	65±5
	Z	240±10	140±10	16±10	

Порошок AISi10Mg обладает определенными физико-механическими характеристиками. Они представлены в табл. 5.

Таблица 5

Характеристика порошка AlSi10Mg

Размер частиц, мкм	20 - 63
D_{50}, мкм	45 ± 2
SPAN	≤ 1,2
Текучесть (ø 2,5 мм), с	87 ± 4
Текучесть (ø 4 мм), с	25 ± 3

Деталь «Отражатель» предназначена для перенаправления воздуха, чтобы предотвратить перегрев других элементов изделия.

Изделие должна соответствовать следующим эксплуатационным характеристикам:

1) прочность и устойчивость к нагрузкам;
2) устойчивость к коррозии;
3) точность размеров и формы;
4) устойчивость к высоким температурам;

Было проведено исследование отражателя на прочность в программе ANSYS (рис. 3). Предполагается, что деталь изготовлена с помощью SLM – печати с использованием алюминиевого порошка AlSi10Mg.

При нагрузке 7000 Н результаты были следующие: предел прочности варьируется от 120 до 360 МПа. Прочность на разрыв в исходном состоянии данного материала составляет 460±20 МПа. Полученные данные показывают, что данная деталь сможет выдержать соответствующую нагрузку на нее, но тем не менее наблюдаются проблемные зоны.

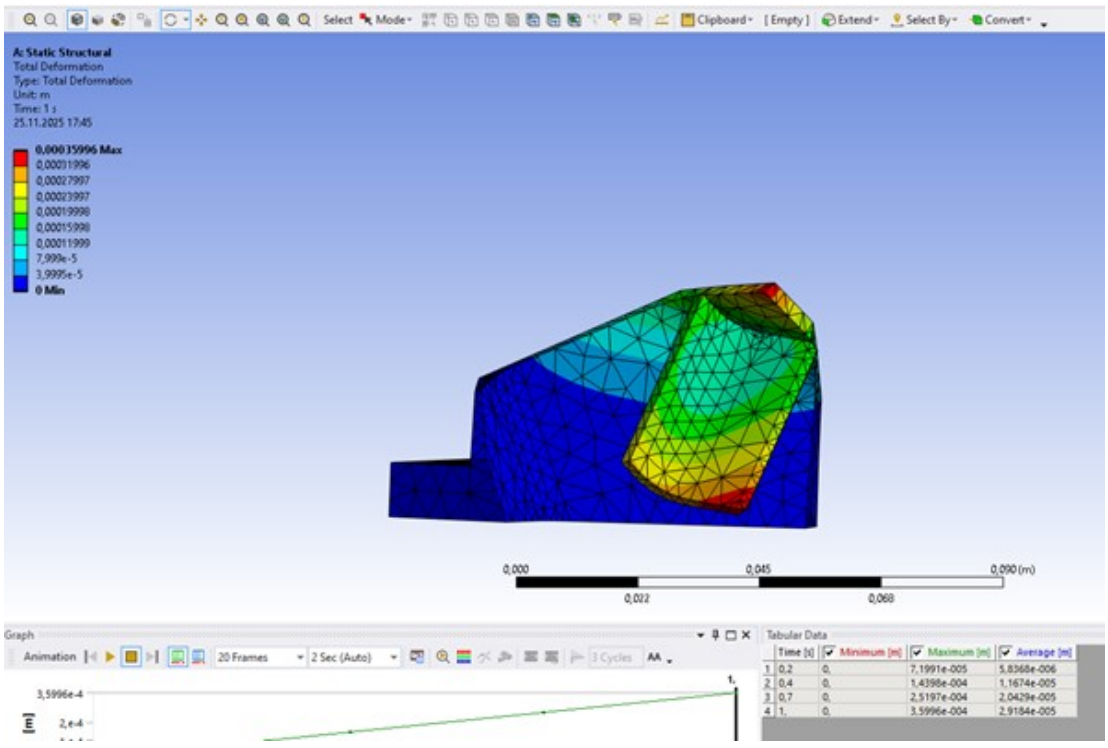


Рис. 3. Исследование предела прочности детали «Отражатель»

Проанализировав эти проблемные зоны, можно сказать, что они сконцентрированы на острых углах и гранях детали. Из-за концентрации напряжения они могут разрушаться под нагрузкой. Напряжения внутри материала усиливается в определенных точках, что приводит к образованию трещин.

Исследование проводилось для детали в исходном состоянии, термическая обработка не проводилось. Так как она содействует снятию напряжений в готовой детали, в дальнейшем требуется провести дополнительные исследования после термической обработки

Таким образом, заменяя базовую технологию и применяя компьютерное моделирование становится возможным изготовить деталь «Отражатель», отвечающую требованиям чертежа и служебному назначению, создать прочное и легкое изделие, уменьшить затраты и время на изготовление.

Библиографический список

1. **Солодкий, П. М.** Аддитивные технологии в металлургическом производстве / П. М. Солодкий, Д. И. Скребло // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции, Том 1. – 2022. – С. 540-542.
2. Что такое аддитивные технологии и где они применяются: офиц. сайт – URL: https://hi-tech.mail.ru/review/100805-additivnye-tekhnologii/#anchor168622697692466075 (дата обращения 2.02.2026)
3. **Гарсия М., Лопес А., Фернандес Р.** Оптимизация параметров процесса селективного лазерного спекания для AlSi10Mg с помощью анализа методом конечных элементов в ANSYS Workbench. Procedia CIRP – 2024. – С. 324–329.
4. Сплав RS-300 (AlSi10Mg): офиц. сайт – URL: https://ilmit.ru/upload/ilmit/documents/dat/RS-300-pyc.pdf (дата обращения 25.02.2026)

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ АНТЕНН

А.С. Пимков, Н.П. Ямпурин
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

Параболические антенны представляют собой один из наиболее эффективных типов антенн, широко используемых в современных системах связи и радиотехники. В работе исследовано использование композитов в антенностроении. Предложен алгоритм выбора оптимального композита (на примере углепластика), на основе как условных, так и безусловных критериев предпочтения. Показано, что для параболических антенн наиболее подходит углепластик УКН-2500.

Ключевые слова: параболическая антенна, композит, углепластик, оптимизация

Введение в композитные материалы для антенн и их параметры. Антенны играют ключевую роль в современных системах связи, обеспечивая передачу и прием радиоволн. Среди множества типов антенн, параболические антенны представляют собой один из наиболее эффективных типов антенн, широко используемых в современных системах связи и радиотехники [1]. Их уникальная конструкция, основанная на параболической форме отражателя, позволяет фокусировать радиоволны в одной точке – фокусе антенны, что обеспечивает высокий коэффициент усиления и минимизацию интерференции. Эти характеристики делают параболические антенны идеальными для применения в различных областях, таких как спутниковая связь, радиолокация и астрономические исследования. Одним из примеров является радиотелескоп РТ-22 (рис. 1) – это один из лучших радиотелескопов мира, расположенный у подножия горы Кошка на берегу Черного моря, запущенный в 1966 году. Он имеет традиционную конструкцию и выполнен из металлических сплавов.



Рис. 1. Параболический радиотелескоп РТ-2

Они имеют значительную массу, подвержены коррозионным процессам при высокой стоимости производства и сложности транспортировки, что существенно ограничивает их эксплуатационные возможности в условиях внешних воздействующих факторов (ВВФ). Однако на смену металлическим сейчас идут инновационные конструкции антенн на основе перспективных композитных материалов, таких как углепластики [2].

Использование угле-, керамо- и стеклопластиков с заданными диэлектрическими свойствами, открывает новые возможности для оптимизации характеристик антенных систем. Эти материалы сочетают в себе целый ряд уникальных свойств: малый удельный вес, высокую механическую прочность, устойчивость к агрессивным средам, возможность точного управления электромагнитными параметрами, а также относительную простоту обработки и монтажа. Особое значение имеет тот факт, что композитные конструкции позволяют реализовать сложные геометрические формы с высокой точностью, что крайне важно для обеспечения требуемых характеристик антенны [3].

В параболических антеннах наибольшее применение нашли волокнистые полимерные композиты, где в качестве армирующего элемента используются высокомодульные углеродные волокна, а в качестве матрицы – эпоксидные или цианатные смолы. Такие материалы сочетают высокую удельную прочность (отношение прочности к плотности) и жесткость с относительно низкой плотностью (1,5÷1,8 г/см³), что позволяет создавать легкие и прочные конструкции. Важной особенностью является их анизотропия – зависимость механических свойств от направления приложения нагрузки, что требует особого внимания при проектировании укладки волокон в изделии.

Выбор оптимального углепластика для параболических антенн

В работе обсуждаются особенности свойств различных типов углеродных волокон, которые демонстрируют зависимость от степени ориентации графитоподобных структур (см .таблицу 1). Символы «∥» и «⊥» в табл. 1 указывают на уровень проводимости вдоль и поперек направления ориентации углеродных волокон соответственно. Это важные параметры, отражающие выраженную анизотропию углеродных волокон. Удельное сопротивление вдоль волокон снижается от $1{,}5\times10^{-3}$ Ом·см у стандартных марок до 5×10^{-4} Ом·см у ультравысокомодульных волокон, что соответствует увеличению электропроводности от 670 до 2500 см/м, что также говорит о ярко выраженной анизотропии.

Таблица 1

Характеристика свойств различных видов углеродных волокон

Марка и вид волокна / № свойства	УКН-500 стандартное	УКН-2500 высопрочное	ВМН-4 высоко модульное	ЛУМ-1 ультравысоко модульное
1- Плотность, г/см³	1,75÷1,80	1,78÷1,82	1,80÷1,85	1,85÷2,0
2-Прочность на разрыв, ГПа	3,0÷4,0	4,5÷7,0	3,5÷4,5	2,5÷3,5
3-Модуль упругости, ГПа	200÷250	230÷300	350÷500	500÷900

Окончание табл.1

4-Удлинение при разрыве, %	1,5÷2,0	1,8÷2,5	0,7÷1,2	0,4÷0,7
5-Коэффициент теплового расширения ‖, 10^{-6}/°С	-0,5÷0,5	-0,5÷0,5	-0,5÷0,5	-0,5÷0,5
6-Тепло – проводность‖, Вт/м·К	5÷15	10÷20	50÷100	200÷1000
7-Электро - проводность, см/м	$5\cdot10^4\div1\cdot10^5$	$5\cdot10^4\div1\cdot10^5$	$1\cdot10^5\div2\cdot10^5$	$2\cdot10^5\div5\cdot10^5$
8-Температура эксплуатации, °С	До 400	До 400	До 400	До 400

Наличие восьми свойств у углепластиков затрудняет выбор оптимального варианта материала, однако такую задачу можно решить путем системного подхода к оптимизации [3], для этого предлагается ее выполнить в два этапа:
- **на первом этапе** из нескольких материалов выбирается ряд нехудших (альтернативных) на основе безусловного критерия предпочтения;
- **на втором этапе** осуществляется окончательный выбор на основе одного или нескольких условных (субъективных) критериев предпочтения. На этом этапе научный подход к выбору материала проводится на основе комплексного показателя качества [5, с. 11] по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i a_i^*, \qquad (1)$$

где n - число свойств; a_i^* и φ_i - нормированные значения и весовые коэффициенты свойств выбираемых материалов, которые удовлетворяют условию нормировки $\sum_{i=1}^{n} \varphi_i = 1$. Если улучшение качества характеризуется уменьшением величины свойства, то соответствующие свойства необходимо поменять местами.

Первый этап оптимизации проходит на основе данных табл. 1. Предел прочности при разрыве достигает максимальных значений 5500÷6000 МПа у высокопрочных марок , например, УКН-500 и УКН-2500

Поскольку такие свойства, как 5(коэффициент теплового расширения) и 8 (температура эксплуатации) примерно равны для всех марок углепластиков, то они исключаются из дальнейшего анализа.

Исходя из того, что любая антенна эксплуатируются в жестких и отнюдь не лабораторных условиях, от свойства 2 (прочность на разрыв) зависит ее надежность и живучесть. Поэтому в качестве безусловного критерия предпочтения выбираем прочность на разрыв, что исключает высокомодульные волокна марок ВМН-4 и ЛУМ-1 из дальнейшего рассмотрения.

Поскольку свойство 1 всех типов волокон остается в относительно узком диапазоне 1,76÷1,97 г/см³ и обеспечивает хорошие удельные характеристики, то его тоже исключаем из дальнейшего рассмотрения.

Второй этап оптимизации идет по табл. 2, в которой остаются высокопрочные марки УКН-500 и УКН-2500, в нее не включили свойство 7 (электропроводность) из таблицы 1, ибо оно одинаково у обоих материалов. Весовые коэффициенты φ_i свойств выбираемых материалов, приведенные в табл. 2, и есть условные (субъективные) критерии предпочтения. Расчеты проведем на основе среднеарифметических значений (матожидания) свойств

Таблица 2

Характеристика свойств высокопрочных углеродных волокон

Свойства материала	Единица измерения	Значимость параметра φ_i	Диапазон / матожидание	
			УКН-500	УКН-2500
Прочность на разрыв	ГПа	0,4	3,0÷4,0 / 3,5	4,5÷7,0 / 5,75
Модуль упругости	ГПа	0,3	200÷250 /225	230÷300 / 265
Удлинение при разрыве	%	0,1	1,5÷2,0 / 1,75	1,8÷2,5 / 2,15
Теплопроводность ‖	Вт/м·К	0,2	5÷15 /10	10÷20 / 15

Пронормировав свойства относительно наибольшего матожидания в строках 1, 2, 4 табл. 2 (кроме свойства в строке 4, которое нормируется относительно наименьшего матожидания), после подстановки в (1) получим комплексные показатели качества:

$$Q_{500}= 0{,}4\cdot\ 3.5/5{,}75 +0{,}3\cdot 225/265+0{,}1\cdot 1{,}75/1{,}75+0{,}2\cdot 10/15 =0{,}72;$$
$$Q_{2500}= 0{,}4\cdot 5{,}75/5{,}75 +0{,}3\cdot 265/265+0{,}1\cdot 1{,}75/\ 2{,}15+0{,}2\cdot 15/15 =0{,}98;$$

откуда следует, что УКН-2500 на 30% превосходит УКН-500 по комплексному показателю качества.

Вывод: лучшим материалом для изготовления параболической антенны является углепластик УКН-2500, который удовлетворяет всем условиям эксплуатации по физическим характеристикам.

Заключение. Перспективы дальнейших исследований в направлении использования композитов в антенных системах связаны с созданием адаптивных материалов на основе «умных» композитных материалов, свойства которых могут изменяться под внешним воздействием [6]. Это открывает новые горизонты для разработки антенн с перестраиваемыми характеристиками, способных динамически адаптироваться к изменяющимся условиям работы. Кроме того, представляется перспективным исследование возможностей интеграции композитных антенных систем с другими элементами радиоэлектронной аппаратуры для создания компактных многофункциональных модулей.

Библиографический список

1. ***Банков, С.Е.*** Проектирование антенных систем СВЧ /С.Е. Банков, А.А. Курушин. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2022. – 456 с.
2. ***Миронов, В.Л.*** Композитные материалы в антенной технике / В.Л. Миронов, Д.М. Сазонов. – Москва: Техносфера, 2020. – 280 с.
3. ***Гончаренко, И.В.*** Современные зеркальные антенны: теория и расчет / И.В. Гончаренко, Г.Н. Кочержевский. – Москва: Радиотехника, 2021. – 400 с.
4. ***Гуткин, Л.С.*** Проектирование радиосистем и радиоустройств. – М.: Радио и связь, 1986. – 289с.
5. ***Баранова, А.В.*** Материалы и компоненты электронных средств / А.В. Баранова, О.Б. Качалов, Е.И.Лазарева; Нижегород. Гос. Техн. Ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2015. – 102 с.
6. Доклады секции перспективных углеродных материалов и технологий. Труды 67-й Всероссийской научной конференции МФТИ, 31 марта–5 апреля 2025 г. Электроника, фотоника и молекулярная физика. – М: Физматкнига, 2025. С. 40-59

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО АУДИОЭКВАЛАЙЗЕРА

М.И. Прахов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье представлен цифровой аудиоэквалайзер с пятиполосной коррекцией и функцией микшера. Представлены электрическая структурная схема, электрическая принципиальная схема и конструкция устройства. Разработанное устройство отличается компактностью, низкой стоимостью и высоким качеством обработки аудиосигналов, что позволит применять его как в любительских, так и в полупрофессиональных аудиосистемах.

Ключевые слова: цифровой аудиоэквалайзер, обработка аудиосигнала, аудиопроцессор, микшер.

При игре на электрогитаре или другом музыкальном инструменте, особенно на профессиональном уровне, часто возникает необходимость воспроизвести несколько звуковых дорожек через один акустический излучатель (колонку). Например, при репетиции в группе или желании подыграть под трек любимого исполнителя требуется специальное устройство, которое может объединять несколько аудиосигналов, корректировать их уровень и звучание. На рынке такие устройства представлены в виде цифровых аудиоэквалайзеров с функцией микшера. Однако большинство подобных приборов имеют высокую стоимость, а качество обработки звука в дешевых моделях оставляет желать лучшего. Таким образом, проектирование бюджетного аудиоэквалайзера с функцией микшера является актуальной задачей [1].

Учитывая, что к проектируемому устройству предъявляются высокие требования к качеству обработки звука и конечной стоимости, было принято решение использовать при проектировании современные цифровые решения, которые могут обеспечить точную коррекцию амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и минимальные фазовые искажения при обработке аудиосигналов. Одним из таких решений является применение аудиопроцессора и готового модуля аудиоэквалайзера.

Структурная схема цифрового аудиоэквалайзера представлена на рис. 1.

Аудиопроцессор это основной элемент схемы. Он обеспечивает предварительную фильтрацию на низких и высоких частотах, а также микширование трех стереосигналов.

При микшировании три стереовхода суммируются в единый стереосигнал. Аудиопроцессор позволяет регулировать уровень каждого входного сигнала, создавая сбалансированную аудиокартину. Микширование происходит с учетом фазовых соотношений между правым и левым каналами, что является критически важным для сохранения качества звука.

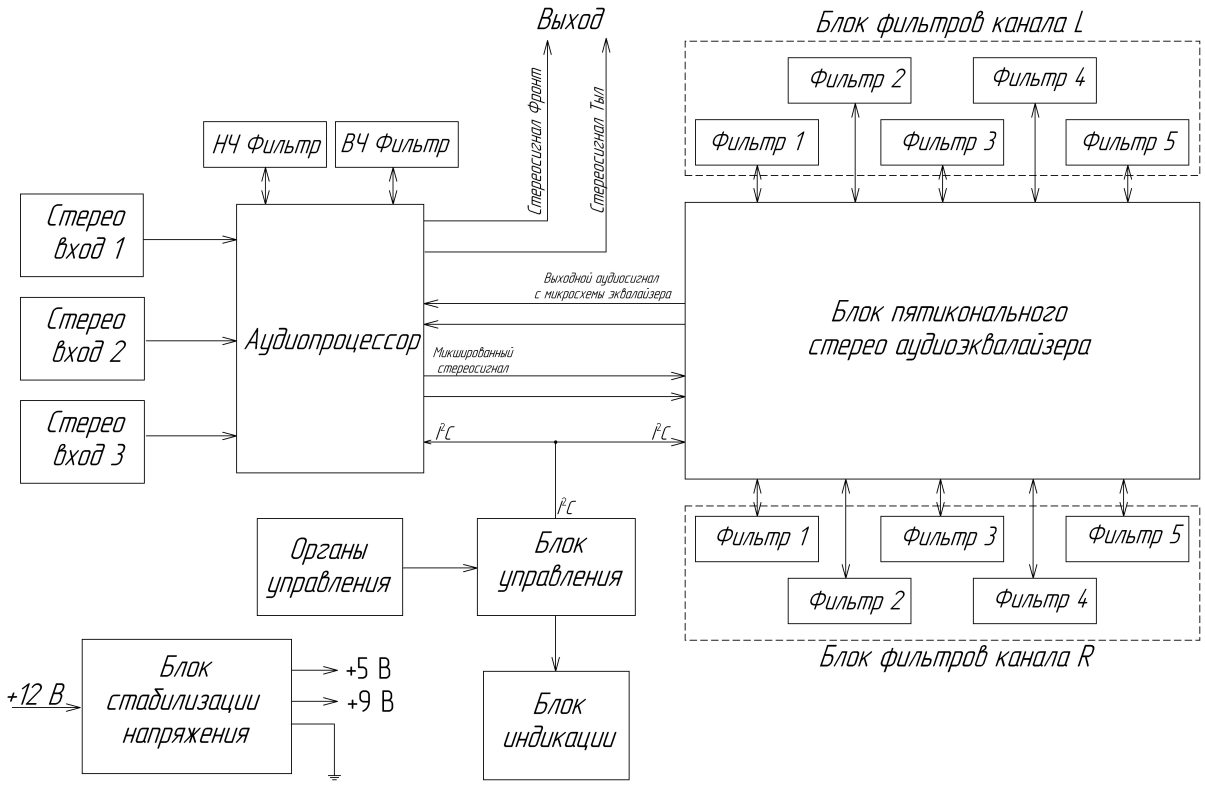


Рис. 1. Структурная схема цифрового аудиоэквалайзера

Блок пятиканального стереоаудиоэквалайзера выполняет коррекцию частотных характеристик микшированного аудиосигнала. Блок является двухканальным (каналы R и L) и поэтому для каждого канала к блоку подключается свой набор фильтров.

Блоки фильтров по каналу R и L являются идентичными и состоят из 5 аналоговых фильтров, каждый из которых рассчитан на свой диапазон частот:

- фильтр 1 работает в диапазоне от 60 Гц до 150 Гц;
- фильтр 2 в диапазоне от 150 Гц до 600 Гц;
- фильтр 3 в диапазоне от 600 Гц до 2 кГц;
- фильтр 4 в диапазоне от 2 кГц до 6 кГц;
- фильтр 5 в диапазоне от 6 кГц до 20 кГц;

Блок управления построен на базе микроконтроллера, который управляет параметрами аудиопроцессора и эквалайзера, а также формирует данные для блока индикации.

Блок индикации представляет собой ЖК-дисплей с разрешением 16×2 символов чего вполне достаточно для отображения текущих настроек устройства.

С помощью органов управления осуществляется корректировка настроек устройства во внутреннем меню аудиоэквалайзера.

Блок стабилизации напряжения обеспечивает электропитание всех узлов аудиоэквалайзера, преобразуя входное напряжение +12 В в стабилизированные уровни +5 В и +9 В, необходимые для корректной работы цифровых и

аналоговых компонентов. В его задачи входит подавление высокочастотных пульсаций и переходных процессов в питающей сети, а также защита чувствительных элементов схемы от скачков напряжения и токов короткого замыкания.

Схема электрическая принципиальная цифрового аудиоэквалайзера представлена на рис. 2.

Входной стереосигнал поступает на разъемы X1-X3. Далее проходит через разделительные конденсаторы C3-C11 и поступает на аудиопроцессор DD1. Далее аудиосигнал подвергается первичной обработке во встроенном коммутаторе аудиопроцессора и выводится на выходные контакты 7 (OUT R) и 17 (OUT L) для передачи на стереофонический пятиполосный эквалайзер с цифровым управлением TDA7317 (микросхема DD3). Устройство обеспечивает параметрическую регулировку тембра в пятичастотных диапазонах. Формирование полос фильтрации осуществляется посредством аналоговых фильтров, реализованных во внешней обвязке микросхемы DD3. Конфигурация параметров эквалайзера выполняется через последовательный интерфейс I²C.

Обработанный сигнал с выхода эквалайзера поступает обратно на аудиопроцессор (через контакты 6 и 16) для дополнительной коррекции уровня громкости, стереобаланса и тембральных характеристик. Далее сигнал проходит через цепь разделительных конденсаторов и подается на выходные разъемы устройства. Управление функциональными блоками – аудиопроцессором DD1 и эквалайзером DD3 – осуществляет микроконтроллер PIC16F628A, который также обеспечивает вывод текущих настроек системы на жидкокристаллический дисплей HG1.

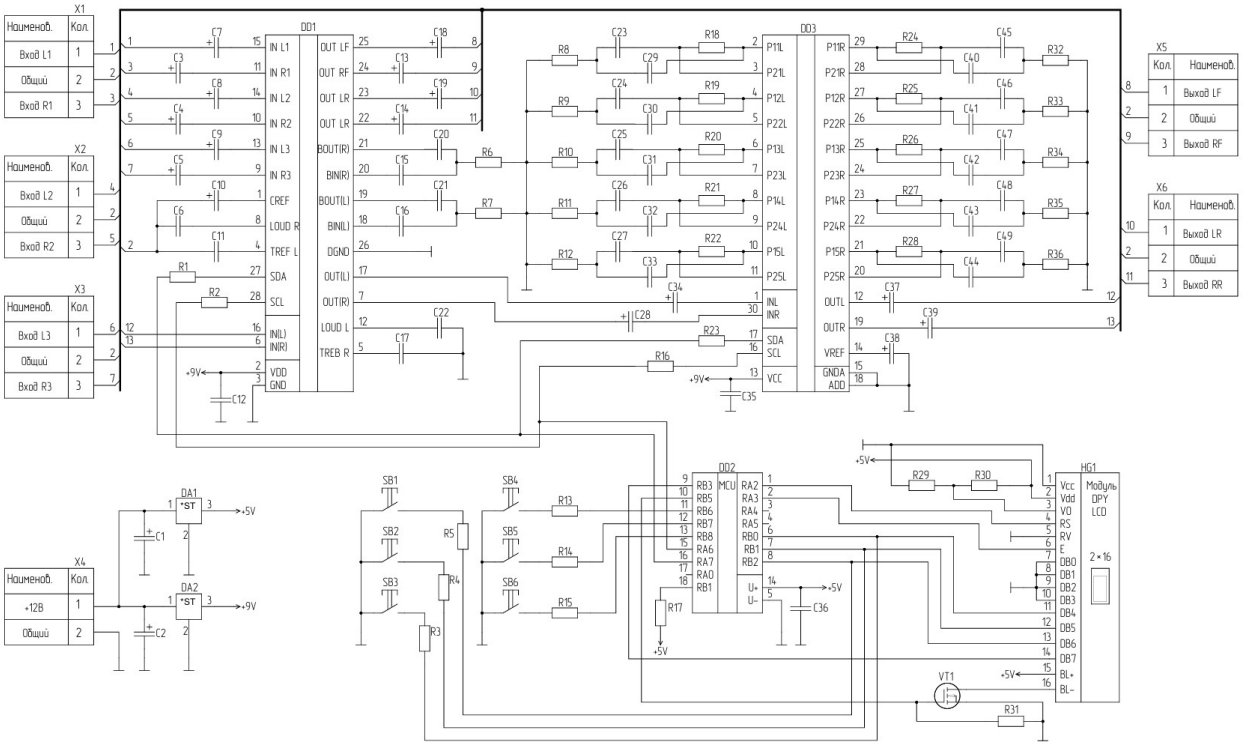


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема цифрового аудиоэквалайзера

Конструкция блока циркового аудиоэквалайзера представлена на рис. 3. Корпус выполнен из АБС-пластика, все основные ЭРИ размещены на печатном узле (ПУ) в том числе кнопки и ЖК-дисплей. ПУ крепится к основанию винтами. На крышке блока размещены пять аудиоразъемов «мини-джек» 3,5 мм, три из которых являются входными и два разъема – выходные. На торцевой панели размещен разъем для подключения внешнего блока питания.



Рис. 3. Конструкция цифрового аудиоэквалайзера

В результате проектирования цифрового аудиоэквалайзера разработана компактная и функциональная система обработки аудиосигнала с пятиполосной коррекцией звука и функциями трехканального микшера. Такое решение отличается гибкостью настройки, удобством управления и может быть интегрировано в различные аудиосистемы, от бытовых до профессиональных.

Библиографический список

1. ***Вологдин, Э.И.*** Методы и алгоритмы обработки звуковых сигналов : учебное пособие / Э. И. Вологдин. – Санкт-Петербург : СПбГУТ, 2009. – 96 с.
2. ***Попов, Л. Н.*** Цифровой графический эквалайзер на фильтрах с конечной импульсной характеристикой / Л. Н. Попов // Труды МАИ. – 2016. – № 90. – С. 18.
3. ***Ковалгин, Ю.А.*** Аудиотехника : учебник для вузов / Ю. А. Ковалгин, Э. И. Вологдин. – Санкт-Петербург : Лань, 2018. – 416 с.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПРОВЕРКИ ПЛАТ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ВИБРОСТЕНДА

Е.И. Рыжов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрено решение проверки плат усилителя мощности электродинамического вибростенда без демонтажа и применения дополнительных элементов.

***Ключевые слова**:* виброустойчивость, вибростенд, проверка, плата усилителя мощности, электродинамический, устройство.

В статье рассматривается проблема обеспечения отказоустойчивости испытательного оборудования, функционирующего в условиях высоких динамических нагрузок. Объектом исследования является электродинамический вибростенд, а предметом – блок усилителя мощности (УМ), являющийся критическим узлом системы. Анализируется существующая методология диагностики неисправностей силовых плат УМ, характеризующаяся высокой трудоемкостью и необходимостью демонтажа оборудования.

Целью работы является разработка концепции и структурной схемы автономного мобильного устройства для оперативной проверки работоспособности плат УМ без их извлечения из стойки. В статье приводится описание принципов работы вибростенда, анализ технических характеристик усилителя с проведением инженерных расчетов, а также детализируется алгоритм функционирования предложенного диагностического прибора. Новизна решения заключается в переходе от разрушающих методов контроля к неразрушающим, что позволяет сократить время простоя оборудования и повысить эффективность технического обслуживания.

В современной промышленности требования к надежности и долговечности изделий постоянно растут. Испытания на виброустойчивость являются неотъемлемой частью жизненного цикла продукции в авиационной, космической, автомобильной и машиностроительной отраслях. Вибрационные нагрузки способны вызывать усталостное разрушение материалов, нарушение паяных соединений и деградацию силовых электронных компонентов. Для моделирования этих воздействий применяются электродинамические вибростенды.

Эффективность процесса испытаний напрямую зависит от стабильности выходных параметров усилителя мощности, который формирует управляющий сигнал для вибратора. Выход из строя одной или нескольких силовых плат в составе УМ приводит к падению выходной мощности ниже номинальных значений, что делает невозможным проведение тестов согласно техническому заданию. Традиционные методы диагностики требуют демонтажа платы из стойки, использования комплекса измерительных приборов и привлечения

высококвалифицированного персонала, что сопряжено с длительными простоями дорогостоящего оборудования.

Таким образом, актуальной научно-технической задачей является разработка устройства для неразрушающего контроля, позволяющего оперативно локализовать неисправность и оценить работоспособность плат УМ непосредственно в составе блока.

Проведем анализ объекта диагностики – усилителя мощности вибростенда.

Электродинамический вибростенд представляет собой сложную электромеханическую систему, предназначенную для воспроизведения различных режимов вибрации: синусоидального, широкополосного (случайный шум), узкополосного и ударного. Управление процессом осуществляется с помощью персонального компьютера и специализированного программного обеспечения, имеющего встроенные цифровые фильтры и математический аппарат для анализа данных в реальном времени.

Конструктивно стенд включает три основных функциональных блока: вибратор (исполнительный механизм), система охлаждения и УМ.

Рассмотрим технические характеристики стойки усилителя мощности (табл. 1).

Таблица 1

Технические характеристики стойки усилителя мощности

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Масса стойки	m	1500	кг
Мощность питания (ном.)	S_{in}	140	кВА
Мощность выходная (макс.)	P_{out}	122,57	кВА
Ток выходной (ном.)	I_{nom}	1400	А
Ток пиковый	I_{peak}	4320	А
Напряжение выходное (ном.)	U_{nom}	100	В
Сопротивление входное	R_{in}	10	кОм
Температура воздуха (макс.)	T_{air}	30	°С
Тепловыделение (макс.)	P_{heat}	14,91	кВт
Поток воздуха	Q	3,3	м³/с

Данные, приведенные в табл.1, являются отправной точкой для проектирования диагностического устройства, так как определяют уровни напряжений и токов, с которыми придется работать.

Исходя из паспортных данных, можно провести расчет полного сопротивления нагрузки Z_{load} в номинальном режиме работы. Это необходимо для понимания того, какую нагрузку должно имитировать наше диагностическое устройство.

$Z_{load} = U_{nom} \times I_{nom} = 100 \times 1400 \approx 0{,}0714$ Ом.

Также рассчитаем активную мощность (P), рассеиваемую на нагрузке в номинальном режиме:

$P = U_{nom} \times I_{nom} = 100 \times 1400 = 140\,000$ Вт.

Блок УМ состоит из нескольких стоек. Две из них являются усилительными и содержат силовые платы на базе IGBT-модулей. Выход из строя одного транзисторного ключа или обрыв цепи в одной из плат приводит к асимметрии нагрузки или падению общего тока потребления. Это не позволяет вибростенду развивать требуемое ускорение на объекте испытаний.

Процесс поиска неисправности традиционными методами включает демонтаж платы из стойки (что требует отключения силовых шин), прозвонку цепей и анализ осциллограмм сигналов управления. Это трудоемкий процесс.

Для решения поставленной задачи предлагается разработка портативного диагностического прибора. Основная идея заключается в имитации штатной нагрузки для диагностируемой платы путем подачи на нее тестового сигнала через штатные разъемы без физического извлечения платы из стойки.

Структурная схема разрабатываемого устройства представлена на рис. 1. Прибор состоит из названных далее функциональных узлов.

1. Входной блок и блок фильтрации: защищает внутренние цепи устройства от внешних помех и ограничивает амплитуду входного сигнала до безопасного уровня.

2. Блок усиления и формирования сигнала: содержит каскады на индуктивно-емкостных элементах (LC-контуры). Здесь происходит основное усиление сигнала и формирование его формы (например, меандр малой амплитуды).

3. Силовой каскад: представляет собой мощный транзисторный ключ (на схеме Q3), работающий в ключевом режиме. Он коммутирует ток от источника питания для создания реальной нагрузки на выходные каскады проверяемой платы.

4. Блок питания: обеспечивает энергией все узлы схемы.

5. Система заземления: обеспечивает стабильность работы схемы и защиту от электромагнитных помех.

6. Интерфейсные разъемы: обеспечивают гальваническую связь прибора с контрольными точками на диагностируемой плате.

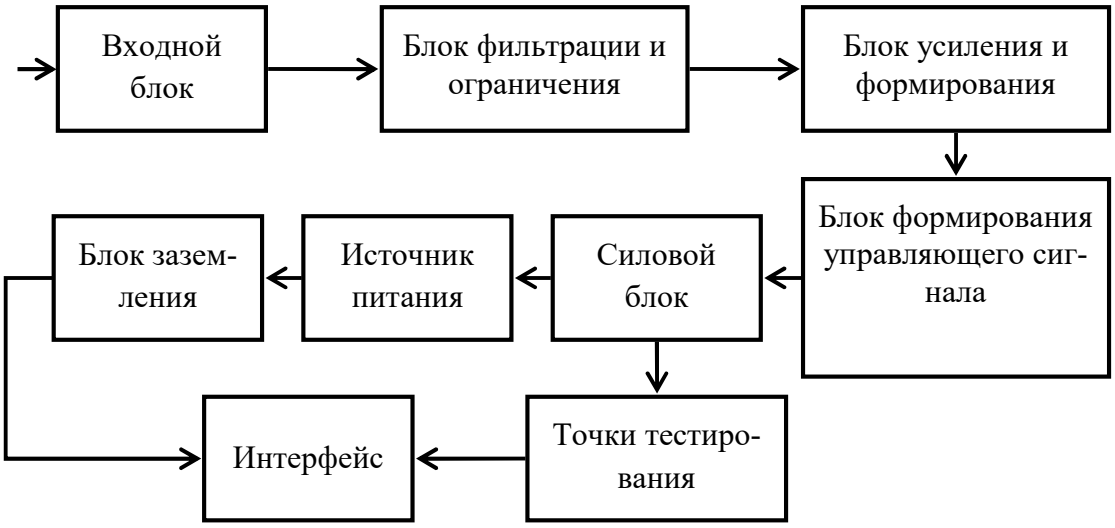


Рис. 1. Структурная схема устройства диагностики

Логика работы устройства строится на последовательной обработке сигнала.

1. Сигнал поступает на входной блок, затем фильтруется и ограничивается.

2. Обработанный сигнал поступает в блок усиления и формирования на LC.2, где усиливается/формируется.

3. Сигнал с LC.2 поступает на LC.3 (основная обработка) → окончательно формируется управляющий сигнал.

4. Управляющий сигнал поступает на силовой блок (Q3) → усиливается/коммутируется для нагрузки.

5. Блок питания обеспечивает энергией все узлы схемы.

6. Блок заземления обеспечивает стабильность работы и защиту от помех.

7. Точки тестирования позволяют контролировать параметры схемы.

8. Разъемы обеспечивают связь с внешними устройствами.

Если плата неисправна (обрыв), ток будет близок к нулю, и напряжение на шунте не поднимется выше порогового значения (например, 5 мВ), что будет расценено как «Авария».

Для проведения теста устройство подключается к контрольным точкам платы через специальный интерфейсный кабель с зажимами типа «крокодил» или штыревые контакты («пигтейлы»).

Ключевое отличие разрабатываемого прибора от существующих методик заключается в переходе от разрушающих методов контроля к неразрушающим.

Преимущества предлагаемого решения:

- исключение демонтажа: нет необходимости извлекать плату из стойки усилителя и отключать систему охлаждения/питания;
- минимизация парка приборов: устройство заменяет собой необходимость использования мультиметра и осциллографа для первичной диагностики;
- сокращение времени простоя: время диагностики сокращается с нескольких часов до нескольких минут;
- безопасность: снижается риск повреждения печатных проводников при извлечении/установке платы и риск поражения электрическим током за счет гальванической развязки в схеме прибора.

В ходе проведенного исследования была разработана концепция автономного мобильного устройства для оперативной диагностики плат усилителя мощности электродинамического вибростенда без их демонтажа.

Предложенное решение позволяет перейти от трудоемких разрушающих методов контроля к экспресс-диагностике «на месте». Внедрение данного прибора в практику сервисного обслуживания позволит существенно сократить время простоя дорогостоящего испытательного оборудования, снизить эксплуатационные расходы и повысить общую надежность технологического процесса испытаний на виброустойчивость.

Дальнейшие этапы работы предполагают разработку электрической принципиальной схемы устройства, выбор элементной базы с учетом требований по надежности и проведение стендовых испытаний макетного образца.

Библиографический список

1. **Чмель, Е.Н.** Методы проверки каналов измерения тока и напряжения в комплектных распределительных устройствах [Электронный ресурс] / Е.Н. Чмель // Актуальные исследования, 2023. - №15(145). - Режим доступа: https://apni.ru/article/5976-metodi-proverki-kanalov-izmereniya-toka. - (Дата обращения: 30.02.2026).
2. РД 153-34.0-11.205-98. Методические указания. Измерительные каналы информационно-измерительных систем. Организация и порядок проведения калибровки / Департамент стратегии развития и научно-технической политики РАО ЕЭС России, 10.06.1998.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

А.Ю. Соловов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. Арзамасский политехнический институт

В данной работе представлен анализ актуальных носителей данных и технологий, обеспечивающих надежное уничтожение информации. Проведена сравнительная оценка эффективности различных физических методов деструкции данных. На основе всестороннего изучения существующих решений сформулированы требования к перспективному многофункциональному устройству для физического уничтожения информации.

Ключевые слова: твердотельный накопитель; уничтожение информации; микросхема памяти; микроконтроллер; пиротехнический состав.

«Современное повсеместное внедрение электронных технических средств и систем обусловило острую потребность в обеспечении безопасности хранимой в них информации. В случаях, когда информация носит строго конфиденциальный характер, возникает необходимость в ее экстренном и безвозвратном удалении, с предотвращением любого возможного появления остаточных данных. Стремительное развитие и использование твердотельных накопителей (SSD) и карт памяти выдвигает принципиально новые требования к методам гарантированного уничтожения информации. Это обусловлено, прежде всего, тем, что твердотельные накопители, в отличие от традиционных жестких дисков (HDD), обладают сложной многослойной внутренней структурой и характеризуются высокой плотностью записи данных. Следовательно, даже незначительный по размеру фрагмент такого устройства способен содержать значительный объем информации. Кроме того, на рынке представлен широкий ассортимент твердотельных накопителей, различающихся как по внешним габаритам, так и по внутренней компоновке электронных компонентов. Анализ возможных направлений уничтожения информации на твердотельных накопителях показал, что одним из наиболее эффектных способов удаления данных является метод физического уничтожения. Несмотря на наличие устройств, основанных на указанных принципах, их текущие реализации страдают от ограниченного функционала и значительных габаритов, что препятствует полному удовлетворению всех предъявляемых требований. В связи с этим, актуальной и сложной задачей является создание устройства, предназначенного для физического уничтожения конфиденциальной информации на различных типах твердотельных носителей» [1, с.92].

«На текущий момент проведенные исследования [2] в области защиты информации выделяют следующие основные подходы к удалению данных:

- механический;
- термический;
- химический;

– термохимический;

– пиротехнический».

«Для определения наиболее подходящего способа уничтожения информации была осуществлена сравнительная экспертиза пяти ключевых параметров, определяющих эффективность устройств физического уничтожения данных. Анализ проведенных исследований демонстрирует, что лишь пиротехнический метод соответствует всем предъявляемым требованиям. К его преимуществам относятся физическое разрушение носителя и отсутствие значительного термического воздействия» [3, 5].

«Специалистами для реализации пиротехнического метода в устройстве физического уничтожения информации (далее – устройстве) сначала был тщательно подобран химический состав активного элемента. Для активного вещества выбран нанодисперсный алюминий, который широко применяется в ПТС и ракетном топливе» [3].

«Экспериментальные данные с пиротехническим методом свидетельствуют о том, что активация опытного изделия приводит к разрушению его оболочки, генерируя направленный поток поражающих факторов (тепловой энергии, избыточного давления и осколочных фрагментов). Эти факторы, воздействуя на мишени, вызывали деформацию в виде изгибов, причем максимальные деформации наблюдались в зонах сочленения корпуса элемента с электровоспламенителем» [4].

«Схема управления значительно расширяет возможности устройства. Она обеспечивает точный контроль уровня энергии для активации, функцию аварийного сброса при нештатных ситуациях, а также управление активацией через МОП-структуры и мониторинг работоспособности в реальном времени (рис. 1). Важным аспектом является применение исключительно отечественной элементной базы, что гарантирует гибкость производства – от единичных экземпляров до бесперебойных серийных партий» [1].

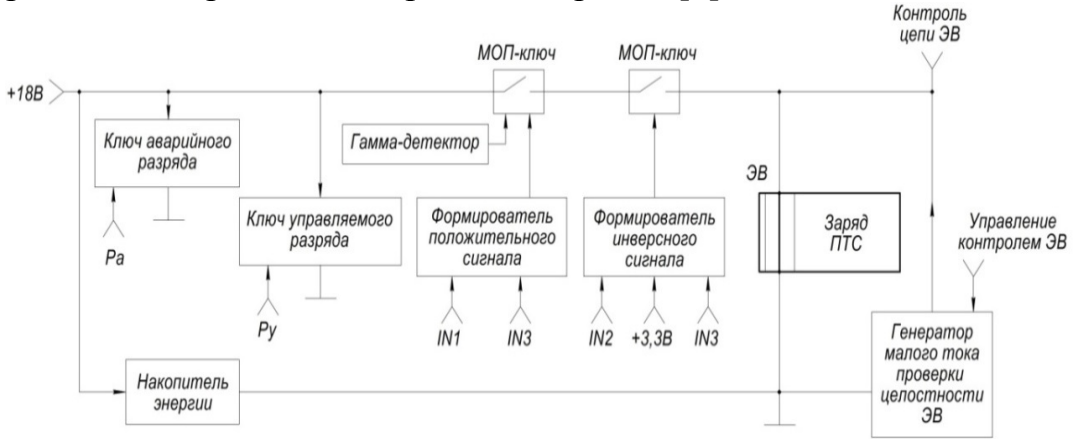


Рис. 1. Структурная схема управления устройства: Ра – вход аварийного разряда, Ру – вход управляемого разряда, IN1 – прямой сигнал, IN2 – инверсный сигнал, IN3 – сигнал на разблокировку формирователей

«Конструкция опытного образца устройства предусматривает совместное размещение управляющей схемы и активного элемента на печатной плате, заключенной в тонкостенный металлический корпус» [1]. Такое решение обеспечило существенное уменьшение габаритов и веса всего устройства.

Результаты исследования продемонстрировали, что носитель информации подвергается необратимому физическому разрушению, делающему его восстановление невозможным.

Анализ разработанного устройства показал его сильные и слабые стороны.

Преимущества:

– полностью отечественные компоненты;
– компактность, обеспечивающая универсальность применения;
– встроенный контроль работоспособности;
– безопасность при интеграции в корпус прибора Заказчика.

Недостатки:

– ограниченная функциональность из-за невозможности подключения внешних датчиков;
– необходимость внешнего источника питания ±18В для зарядки конденсаторов;
– управление возможно только через оборудование заказчика;
– отсутствие автономного режима работы;
– сложность установки, требующая привлечения квалифицированных специалистов.

Для решения текущих проблем и повышения эффективности предложены следующие технические меры.

1. Изменить электрическую схему электронного блока, внедрив микроконтроллер для управления датчиками и функциями устройства.

2. Перевести питание устройства на постоянное напряжение ±5В через USB, что позволит подключать его к широкому спектру источников питания (компьютеры, внешние аккумуляторы и т.п.).

3. Оптимизировать процесс монтажа, используя клеммную колодку (WAGA) для удобного подключения активного элемента и внешних датчиков.

4. Вынести активный компонент за пределы печатной платы электронного блока.

5. Использовать несколько пиротехнических зарядов для увеличения площади гарантированного уничтожения чипов памяти.

6. Обновить дизайн корпуса устройства.

На основе предложений сформирована функциональная схема модернизированного устройства (рис. 2).

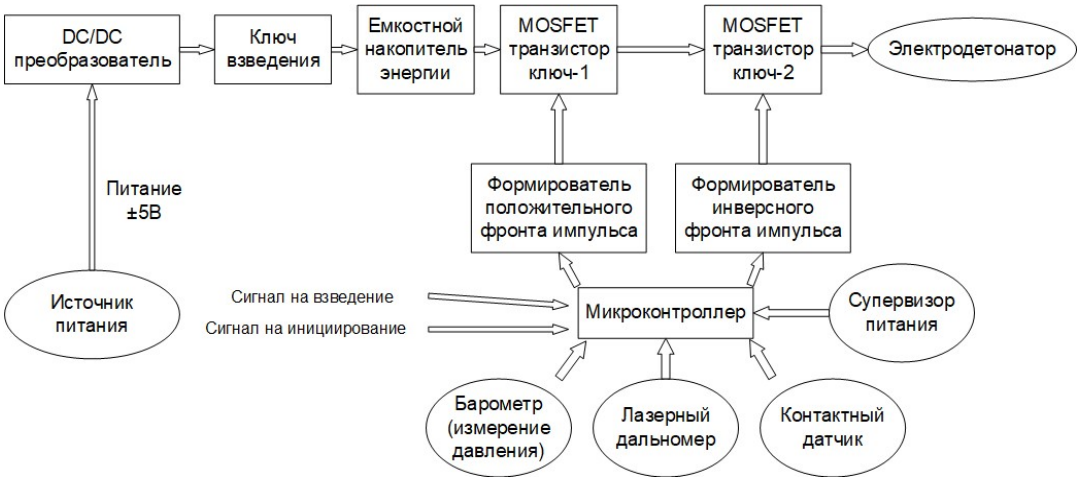


Рис. 2. Функциональная схема модернизированного устройства экстренного уничтожения микросхем памяти

Модернизированный электронный узел включает в себя несколько ключевых компонентов для обеспечения безопасности. Барометр будет служить внешним датчиком, регистрирующим колебания давления внутри корпуса или сейфа, что позволит выявить попытки несанкционированного проникновения и передать сигнал на микроконтроллер. Контактный датчик, размещенный у дверцы хранилища, будет реагировать на ее открытие без разрешения, также отправляя сигнал на устройство. Кроме того, супервизор будет выполнять функцию индикатора разряда внешнего источника питания или попыток злоумышленника обесточить систему. Эти решения легли в основу принципиальной электрической схемы модернизированного узла (рис. 3).

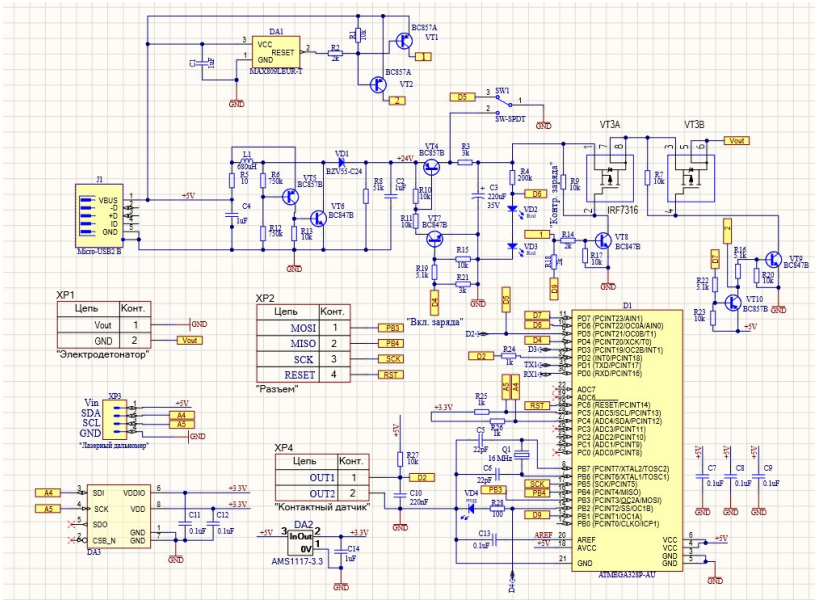


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная модернизированного узла электронного

Для определения текущего атмосферного давления будет задействован барометр DPS310. Его планируется применять в герметичных объемах (например, сейфах или камерах), где находится устройство. В случае внезапных изме-

нений давления в месте расположения устройства, барометр зарегистрирует их и отправит информацию микроконтроллеру, который, в свою очередь, даст команду на начало зарядки емкостного накопителя.

Лазерный дальномер является самостоятельным электронным модулем, предназначенным для измерения дистанции и фиксации движения объектов. Его применение целесообразно для обеспечения безопасности помещений и хранилищ от незаконного вторжения. Устройство способно обнаруживать объекты на расстоянии более пяти метров, а его конфигурация может быть адаптирована под специфические требования как программно, так и аппаратно.

Для обеспечения безопасности данных при внезапном прекращении подачи электроэнергии может быть задействована микросхема MAX809LEUR-T. Эта микросхема непрерывно мониторит входное напряжение и при обнаружении его критического падения (например, в результате преднамеренного отключения питания) способна в кратчайшие сроки инициировать процедуру уничтожения конфиденциальных носителей информации.

По сути, контактный датчик функционирует как мгновенный (без фиксации) концевой выключатель. Его срабатывание – будь то замыкание или размыкание цепи – инициирует подачу сигнала для зарядки емкостного накопителя устройства. Основное применение данного устройства видится в качестве сенсора для обнаружения несанкционированного открытия дверей, крышек корпусов и аналогичных элементов.

Для предотвращения нежелательного срабатывания устройства при его деактивации, предлагается использовать защищенное дистанционное управление с функцией безопасного отключения. В качестве дополнительной меры может быть установлен скрытый механический предохранитель, полностью блокирующий активацию устройства.

В рамках модернизации электронного узла была осуществлена предварительная расстановка компонентов (ЭРИ) и трассировка печатной платы размером 47х24 мм. Данные работы были выполнены в программной среде Altium Designer (рис. 4).

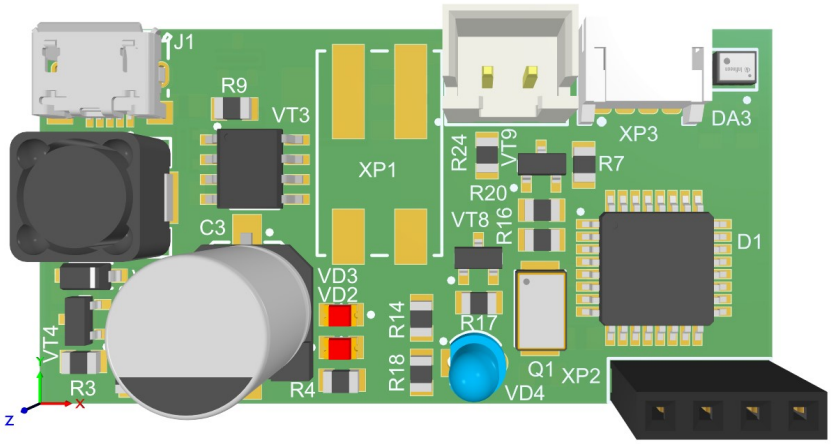


Рис. 4. Компоновка модернизированного узла электронного (вид сверху)

Предлагаемая модернизация узла электронного расширит возможности использования устройства защиты информации во многих сферах деятельности. Современные возможности изготовления и монтажа печатных плат позволяют масштабировать производство данных изделий. Использование по большей части SMD компонентов на печатной плате значительно ускоряют процессы производства и соответственно снижают себестоимость готовых узлов.

Библиографический список

1. ***Жарков, С.В.*** Устройство физического уничтожения конфиденциальной информации / С. В. Жарков, Д. В. Назаров, И. В. Ошкин // Проектирование систем вооружения и измерительных комплексов : Труды 19- й Всероссийской научно-технической конференции, 2023. – С. 92-99.
2. ***Жилина, А.А.*** Методы уничтожения данных с жесткого диска // Научные записки молодых исследователей. – 2020. – № 8(4). – С. 65-73.
3. ***Жарков, С.В.*** Новые перспективные методы экстренного уничтожения информации / С. В. Жарков, Д. В. Назаров, Д. В. Полянцев // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2022. – № 11-12(173-174). – С. 54-60.
4. ***Жарков, С.В.*** К вопросу экстренного уничтожения информации в системах боевого управления корабля / С. В. Жарков, Д. В. Назаров, И. В. Ошкин // Морской вестник. – 2023. – № S1(16). – С. 59-62.
5. Коженевский С.А. Методы гарантированного уничтожения данных на жестких магнитных дисках. – URL:http://masters.donntu.org (дата обращения 31.05.2022).

КОНЦЕПЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПРИБЛИЖЕНИЙ

***Н.Е. Румянцев*[1,2], *Е.С. Шишов* [1,2], *В.П. Морозов*[2]**
[1]*Центральное конструкторское бюро по судам на подводных крыльях им. Р.Е. Алексеева*
[2]*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*

В статье рассказывается о способах уточнения характеристик проектируемого аппарата с помощью различных видов экспериментов. Данная концепция может быть применима к экранопланам, самолетам, судам на подводных крыльях, классическим водоизмещающим судам и др.

Основным преимуществом данной концепции является доступность и быстрота изготовления моделей, быстрота получения результатов, относительная дешевизна по отношению к исследованиям с моделями из алюминия.

***Ключевые слова*:** математическая модель, аддитивные технологии, аэродинамическая труба, валидация, экраноплан,

Введение

Одна из острых проблема проектирования – проверка или подтверждение характеристик проектируемого аппарата. Данная проблема особенно остро проявляется, если у проектируемого продукта отсутствует как таковой прототип, т.е. изделие проектируется полностью или практически с нуля.

В некоторых случаях, при создании чего-либо нового, теория имеет недостаточную развитость, чтобы обеспечить необходимую точность расчетов. Приходится закладывать существенные запасы в различные разделы, что негативно сказывается на экономике продукта, а, следовательно, и на его конкурентоспособности. Уменьшение запасов на несколько процентов (например, массы, потребной мощности, толщин обшивки и т.п.) могут сделать продукт более рентабельным и увеличить его спрос в несколько раз.

Именно поэтому так важно на начальных этапах проводить серию недорогих экспериментов, которые будут обеспечивать либо подтверждение, либо уточнение некоторых характеристик. Погрешности экспериментов первого и второго приближений должны быть ниже погрешности теоретических расчетов. Стоимость данных экспериментов должна быть ниже стоимости экспериментов с достоверными моделями в несколько или несколько десятков раз, чтобы была возможность реализовать их массовость. Выигрыш также должен быть и во времени их изготовления (от первого чертежа до окончания их сборки и установки на испытательный стенд).

1. Исходные данные

В качестве примера будет приведен процесс проектирования экраноплана студентами НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

Студентами НГТУ им. Р.Е. Алексеева были спроектированы два экраноплана: речной грузопассажирский амфибийный экраноплан с шасси на воздушной подушке и морской грузопассажирский / десантный амфибийный экраноплан с шасси на воздушной подушке.

Научным руководителем был бывший специалист ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева. Методика проектирования экранопланов включала в себя разделы из классического судостроения, судов на воздушной подушке, авиации (например, массовые характеристики для различных несущих частей рассчитывались тремя различными способами), амфибийной авиации.

Методика проектирования экранопланов была доработана с учетом опыта научного руководителя и статистических данных, которая состояла из разделов аэрогидродинамики, прочности, весовых характеристик, управляемости, безопасности, анализа и выбора различных силовых установок для различных задач, выбор вентиляторов и др.

В итоге был спроектирован экраноплан, который нуждался в двух типах экспериментов:

1) эксперименты, которые подтверждали бы заявленные характеристики аппарата;

2) эксперименты, которые позволили бы ответить на вопросы, на которые не смогла дать ответы теория с достаточной точностью;

С этой целью была спроектирована свободнолетающая модель на радиоуправлении с шасси на воздушной подушке (рис. 1).

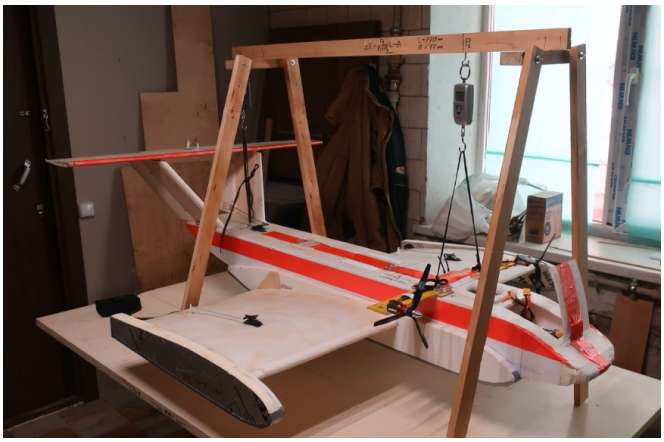


Рис.1. Свободнолетающая радиоуправляемая модель с шасси на воздушной подушке

2. Упрощенная свободнолетающая модель

Несмотря на относительную простоту изготовления и относительную низкую стоимость (до 70 тыс. рублей) данная модель позволила:

1) оценить влияние вихрей, создаваемых крыльевыми скегами, на горизонтальное оперение. Если посмотреть на экраноплан «КМ» (корабль-макет), то заметен поперечный угол наклона горизонтального оперения (составляет 22,4 градуса) из-за влияния концевых шайб на горизонтальное оперение (см. источник [1]);

2) дополнительно исследовать аэродинамические характеристики изолированного крыла, заложенного в основу проекта, в учебной аэродинамической трубе НГТУ;
3) выявить эксплуатационный диапазон центровок, обеспечивающий устойчивый полет экраноплана;
4) оценить балансировочные углы оперения;
5) изучить влияние органов продольного, путевого и поперечного управления;
6) определить влияние вентилятора воздушной подушки на балансировку ла;
7) определить основные безразмерные аэродинамические характеристики модели (крейсерский и взлетный с выпущенной и убранной механизацией коэффициенты подъемной силы, коэффициент сопротивления в крейсерском полете, аэродинамическое качество);
8) выявить недостаточную управляемость на малых скоростях;
9) оценить эффективность интерцепторов в канале путевого управления;
10) в первом приближении проанализировать и оценить характеристики взлетно-посадочного комплекса;

Полученные данные позволили выявить слабые стороны проекта, которые впоследствии претерпели корректировки.

Стоит отметить, что модель собиралась силами студентов, т.е. если учесть затраты на рабочую силу, то стоимость модели составила бы примерно 120-150 тыс. рублей.

Несмотря на относительно небольшую стоимость, модель позволила выявить на начальных этапах (студенческая работа обычно дальше аван или эскизного проектов не заходит) недоработки, которые без эксперимента было сложно заметить.

Если бы данный проект разрабатывался в конструкторском бюро, то данная упрощенная модель сэкономила бы несколько миллионов рублей за счет:

1) меньшего числа дорогостоящих моделей, которые пришлось бы изготавливать из-за доработки проекта. Наличие недорогой упрощенной модели позволило бы ближе подобраться к оптимальной конструкции;

2) меньших затрат на оплату труда рабочих, которые связаны с изготовление и транспортировкой модели, материалов и т.п.;

3) меньшей трудоемкости, т.к. недочеты были бы обнаружены на ранних стадиях проектирования;

Изложенной концепции придерживался и Ростислав Евгеньевич Алексеев. Например, лауреат Ленинской премии выдающийся конструктор России Р.Е. Алексеев на стадии проектного поиска компоновки экраноплана по схеме «бесхвостка» в начальный период проектирования почти каждую неделю строил одну-две легких пенопластовых моделей летательного аппарата и проверял ее в свободном полете, получая первичную информацию о ее летных возможностях, балансировке и центровке [1], стр. 6.

3. Математическая модель

Параллельно с упрощенными моделями следует создавать различные математические модели, которые могут быть использованы для анализа аэрогидродинамических характеристик, прочностных характеристик, вибраций, шумности, эргономичности, с целью визуализации конечного продукта и т.д.

Если выполнять весь комплекс испытаний в данном разделе, то данный способ, пожалуй, будет более дорогим, чем предыдущий (изготовление упрощенных моделей).

Данный способ требует дорогостоящего вычислительно оборудования и лицензионных программ. Стоимость данного решения оценивается десятками миллионами рублей, но именно данные технологии помогают США, Китаю и различным корпорациям держать первенство в сфере высокотехнологичных продукции.

Данные технологии требуют высококвалифицированного персонала и настройка программного обеспечения с помощью валидации с экспериментальными данными. На рис.2 представлен пример визуализации аэродинамики экраноплана в процессе расчета.

Данный способ определения характеристик проектируемого аппарата представлен в [2]. Также в источнике [2], стр. 103 и 105, представлено экономическое обоснование выгодности использования математических моделей и мощного вычислительно оборудования, по сравнению с высокоточными моделями. Стоимость всего комплекса испытаний по курсу 2016 года для одного проекта составляла 100 млн рублей.

Стоит уточнить, что предлагаемая концепция сводится к тому, чтобы использовать высокоточные модели лишь на заключительных этапах исследования, а на первом и втором приближении – упрощенные и математические модели, которые предварительно прошли валидацию.

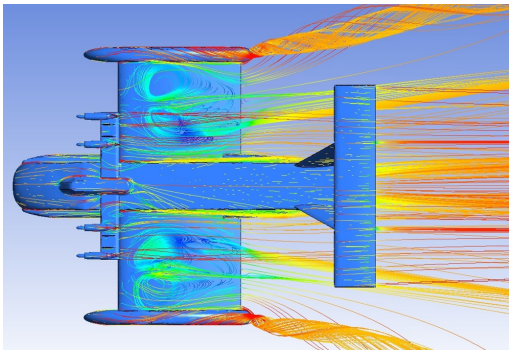


Рис.2. Визуализация аэродинамики экраноплана

4. Аддитивные технологии

Наличие математических моделей дает возможность быстрого создания модели в реальности с помощью аддитивных технологий.

Так, с целью анализа влияние экранного эффекта на аэродинамику крыла, была создана математическая модель крыла профиля *Clark YH* 8%.

Таким образом, из теории (рис.3) была создана математическая модель крыла (рис. 4), которая была напечатана на 3Д-принтере и испытана в аэродинамической трубе (рис. 5), а также его модификация с концевыми шайбами (рис. 6).

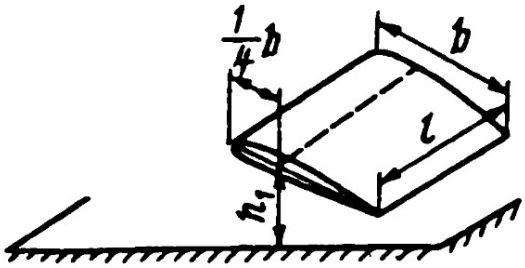


Рис. 3. Параметризация крыла вблизи экранной поверхности

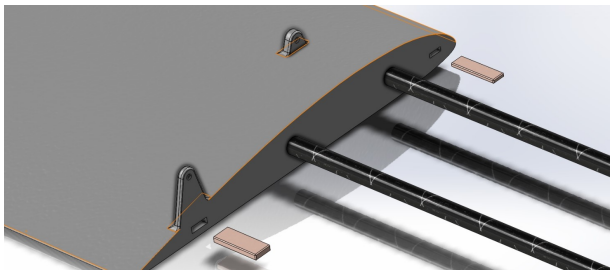


Рис. 4. Математическая модель крыла



Рис. 5. Модель крыла в аэродинамической трубе

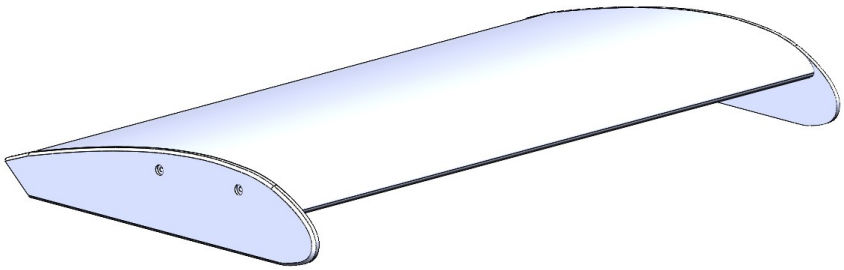


Рис. 6. Математическая модель крыла с концевыми шайбами

В результате, крыло с размахом 500 мм, хордой 250 мм и тремя контактными точками (в сумме 3,9 см^2 – две по 1,5 х 0,5 см^2 и две по 24 х 0,5 см^2) было испытано на скоростях до 30 м/с и углах атаки от -3 до 11 градусов.

Более подробно о физико-механических свойствах изделий, изготовленных по технологии 3D-печати, описано в учебном пособии [3].

Были получены результаты, схожие с источником [4].

Заключение

Представленная концепция будет особенно полезная студентам и аспирантам, бюджет которых существенно ограничен. Наибольшей трудностью для них будет приобретение лицензионных программ, но есть бесплатная платформа для численного моделирования с открытым кодом «*OpenFOAM*». С помощью имеющейся теории, нейронных сетей и *OpenFOAM* можно написать программу, которая могла бы обсчитывать различные задачи.

Представленная концепция будет актуальна и для различных конструкторских бюро, что было доказано ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева, которое в крайне сжатые сроки создавало новые проекты.

Суть концепции сводится к тому, чтобы на начальных этапах проектирования изготавливать упрощенные модели (которые отражают лишь часть характеристик натурного объекта) с целью оценки наиболее важных параметров проекта, а также параллельного исследования с помощью математических моделей, эффективность которых доказана зарубежными корпорациями (*Airbus, Boeing, Lockheed Martin* и др.). Применение упрощенных и математических моделей на начальных этапах проектирования поможет сократить использование дорогостоящих точных моделей на заключительных этапах.

После доводки проекта в первых приближениях следует оперативно изготовить модель с помощью аддитивных технологий и провести ее исследования. Подобным методом действовало и ЦКБ по СПК во времена СССР – обсчет на вычислительных машинах → корректировка модели → эксперимент → доводка → обсчет → корректировка → эксперимент → и т.д.

Библиографический список

1. **Исаченко В. П.** Ростислав Алексеев: Полет в будущее / В. П. Исаченко. – Нижний Новгород : Волго-Вят. акад. гос. службы, 2005. – 124 с.

2. **Февральских А. И.** Разработка методики проектирования аэрогидродинамической компоновки амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой на основе численного моделирования : дис. … канд. техн. наук : 05.08.01 ; 05.08.03 / А. И. Февральских. – Нижний Новгород, 2017. – 175 с.

3. **Шкуро А. Е.** Технологии и материалы 3D-печати / А. Е. Шкуро, П. С. Кривоногов. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 98 с.

4. **Мусатов Р. А.** Особенности влияния удлинения прямоугольных крыльев на аэродинамические характеристики вблизи экрана / Р. А. Мусатов. – Текст : непосредственный // Сборник докладов IV научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2002». – 2002. – С. 273–280.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ ПЕРЕМЕННОГО СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ

А.И. Рыбаков
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье представлен этап проектирования регулятора мощности переменного сетевого напряжения. Обозначена задача проекта, рассмотрены варианты коммутации сетевого напряжения, проанализированы особенности регулирования мощности методом фазового управления. Представлена структурная схема регулятора и описан принцип его работы.

Ключевые слова: регулятор мощности, переменное сетевое напряжение, фазовое управление, симисторный ключ, структурная схема.

В основе множества привычных технологических решений лежит одно незаметное, но принципиально важное устройство – регулятор мощности. Будь то приглушенный свет в кафе, плавный старт промышленного двигателя или точный контроль температуры в бытовой технике, за адаптацию энергопотребления под конкретные задачи отвечает именно данное устройство, обеспечивая комфорт и энергоэффективность в повседневной жизни.

Регуляторы мощности представляют собой ключевые элементы современных систем автоматического управления электрооборудованием. Их использование обеспечивает эффективное регулирование электрических нагрузок различного типа [1]. Задача настоящего проекта заключается в проектировании регулятора мощности сетевого напряжения, способного реализовывать оптимальное распределение электрической мощности при минимизации вычислительных ресурсов, требуемых для работы управляющего алгоритма.

Существует два типа регуляторов мощности, которые отличаются по принципу коммутации это регуляторы с коммутацией при переходе напряжения через ноль и регуляторы с фазовым управлением (рис. 1).

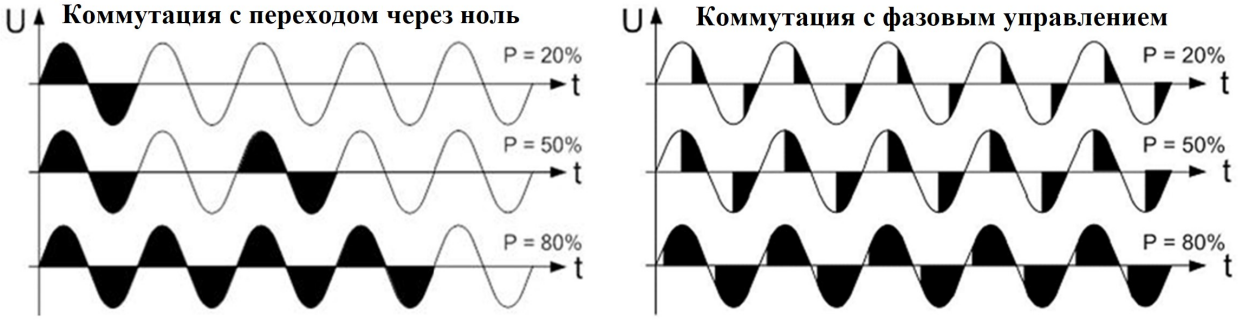


Рис. 1. Диаграммы напряжения на выходе регулятора при коммутации с переходом через ноль и при коммутации с фазовым управлением

В первом случае, регулирование обеспечивается включением и отключением нагрузки строго в моменты, когда сетевое напряжение пересекает нуле-

вой уровень. Мощность регулируется путем пропуска отдельных полупериодов. Это минимизируют электромагнитные помехи и подходит для инерционных систем по типу управления ТЭНами, где не требуется быстрая реакция.

Регуляторы с фазовым управлением регулируют мощность за счет пропуска лишь части каждого полупериода. Это позволяет плавно и точно настраивать выходную мощность. Такие регуляторы используются в задачах с высокими требованиями к динамике регулирования.

Регуляторы с фазовым управлением сложны в изготовлении, требуют точной настройки параметров и зачастую микроконтроллерного управления. В тоже время они универсальны и эффективны, следовательно для решения поставленной задачи, наиболее подходящим вариантом является применения метода фазового управления.

На рис. 2 представлена структурная схема разрабатываемого регулятора мощности сетевого напряжения.

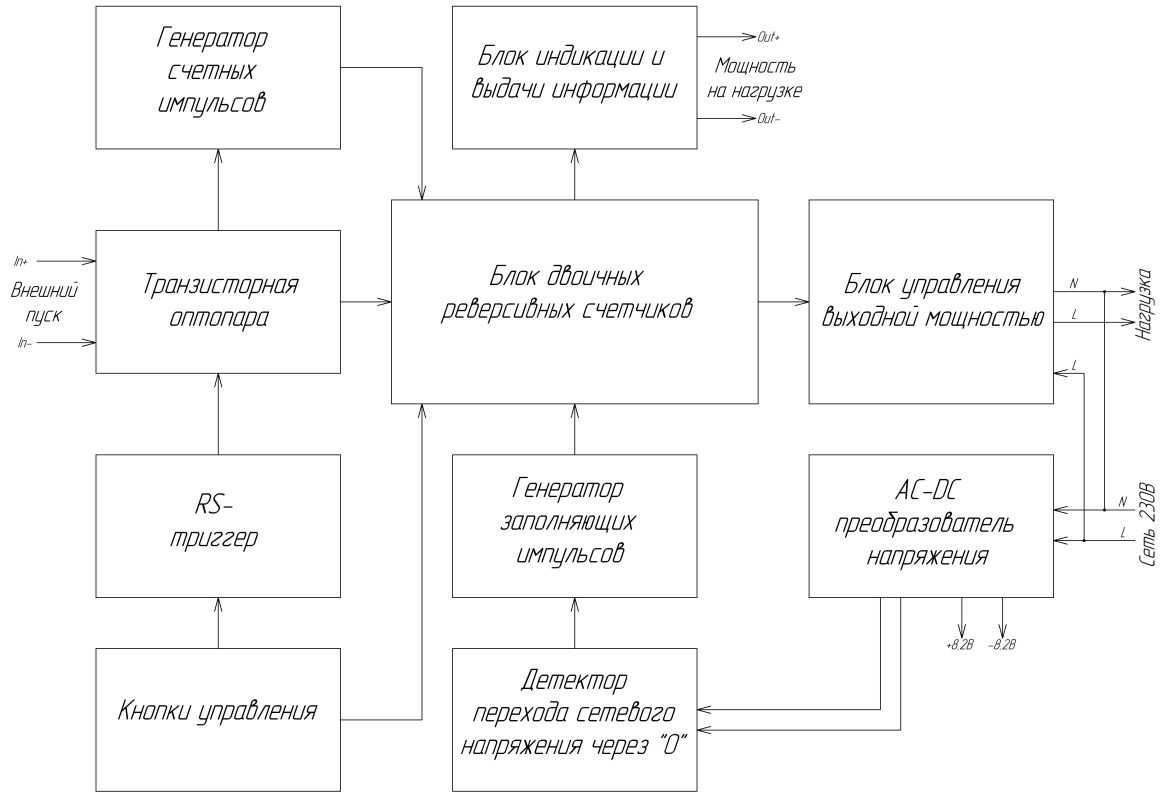


Рис. 2. Структурная схема регулятора мощности сетевого напряжения

Блок двоичных реверсивных счетчиков анализирует входные управляющие сигналы, определяет необходимую величину мощности и затем генерирует последовательность синхронизированных с сетью импульсов. Эти импульсы поступают на блок управления выходной мощностью.

Блок управления выходной мощностью выполняет функцию коммутации сетевого напряжения переменного тока в определенные моменты времени.

Одним из наиболее оптимальных вариантов схемотехнической реализации блока управления выходной мощностью является использование мощного

симистора с оптосимисторной гальванической развязкой. Варианты реализации представлены на рис. 3.

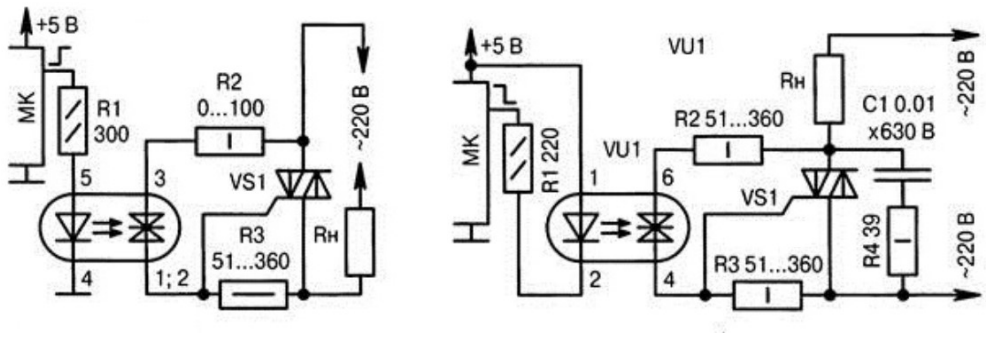


Рис. 3. Варианты реализации блока управления выходной мощностью

Узел AC-DC преобразователя формирует напряжение 8,2 В для питания всех функциональных узлов схемы, а также снижает уровень сетевого напряжения для дальнейшей его обработки в блоке контроля перехода сетевого напряжения через ноль.

Детектор перехода сетевого напряжения через ноль предназначен для точного определения моментов пересечения фазного напряжения через нулевой уровень. Он формирует короткий синхронизированный с сетью импульс, который обеспечивает синхронную регулировку мощности (коммутацию выходного симистора с фазой питающего напряжения).

Генератор заполняющих импульсов формирует импульсы с частотой 1,6 кГц, которые поступают на блок двоичных реверсивных счетчиков. По сигналу перехода сетевого напряжения через ноль генератор периодически обнуляется.

Режимы работы регулятора мощности переключаются посредством комбинации управляющих кнопок и RS-триггера, выполняющего функцию элемента памяти для фиксации текущего состояния системы.

Транзисторная оптопара выступает в качестве ключевого интерфейсного элемента системы управления мощностью: она обеспечивает гальваническую развязку и коммутирует сигнал обнуления, передаваемый от RS-триггера к генератору счетных импульсов при поступлении внешних управляющих команд.

Блок индикации и выдачи информации выполняет двойственную функцию: во-первых, он обеспечивает визуальное оповещение оператора посредством световой сигнализации при достижении выходной мощностью предельных (максимального или минимального) значений; во-вторых, инициирует коммутацию выходных контактов Out+ и Out- в момент фиксации максимального уровня мощности на выходе регулятора.

Разработанная структурная схема позволяет в дальнейшем реализовать регулятор мощности на отдельных (дискретных) электронных компонентах без применения дорогостоящих микроконтроллеров, что в свою очередь повышает надежность конечного изделия и снижает вычислительные затраты.

Библиографический список

1. ***Зиновьев, Г.С.*** Основы силовой электроники: учеб. пособие / Г. С. Зиновьев. – Новосибирск : НГТУ, 2003. – 664 с.
2. ***Руденко, В.С.*** Основы преобразовательной техники : учебник / В.С. Руденко, В.И. Сенько, И. М. Чиженко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1980. – 424 с.
3. ***Лузгин, В.И.*** Исследование электронных коммутационных аппаратов и регуляторов : учеб.-метод. пособие / В.И. Лузгин, А.В. Лузгина, А.А. Попов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 108 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА MATLAB SIMULINK

К.С. Сычев
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В работе описаны алгоритмы автоматической генерации имитационных моделей электронных устройств в среде MATLAB Simulink, базирующиеся на анализе принципиальных схем. Предложенный подход включает синтаксический разбор списка цепей, извлечение характеристик компонентов и их сопоставление с элементами библиотеки Simscape Electrical. Для обеспечения корректного соединения блоков реализована система верификации портов и анализа топологических связей. Разработанный алгоритм позволяет формировать как эталонные (бездефектные) модели, так и их вариации с искусственно внесенными неисправностями, что открывает возможность для исследования влияния дефектов на функциональное поведение устройств.

Ключевые слова: автоматическая генерация моделей, Simulink, Simscape, электронные схемы, диагностика неисправностей.

Современный этап развития электроники характеризуется неуклонным усложнением проектируемых устройств: схемы включают сотни и тысячи компонентов, что делает их ручное моделирование крайне трудоемким и подверженным ошибкам. Между тем имитационное моделирование остается ключевым инструментом верификации, позволяющим оценивать работоспособность и динамические характеристики до этапа физической реализации. В связи с этим особую актуальность приобретает автоматическое построение моделей по данным САПР, в частности по спискам цепей. Существующие средства, такие как Altium Designer, обеспечивают экспорт netlist-файлов, однако перенос схемы в среду моделирования MATLAB Simulink до сих пор выполняется вручную: инженер самостоятельно подбирает библиотечные блоки, задает параметры и восстанавливает топологию, что не только замедляет процесс, но и порождает дополнительные ошибки.

Целью работы является разработка алгоритмов автоматического построения полноценных имитационных моделей в среде MATLAB Simulink с использованием библиотеки Simscape Electrical на основе входного netlist-файла. Предлагаемый конвейер включает синтаксический анализ списка цепей, сопоставление компонентов с библиотечными блоками, автоматическое соединение по узлам и визуальное упорядочивание. Кроме того, алгоритмы поддерживают генерацию вариантов с искусственно внесенными дефектами (обрыв, короткое замыкание, дрейф параметров), что создает основу для автоматизированного анализа надежности и диагностики неисправностей [1].

Разработанный программный конвейер состоит из четырех основных модулей, последовательность работы которых показана на рис. 1.

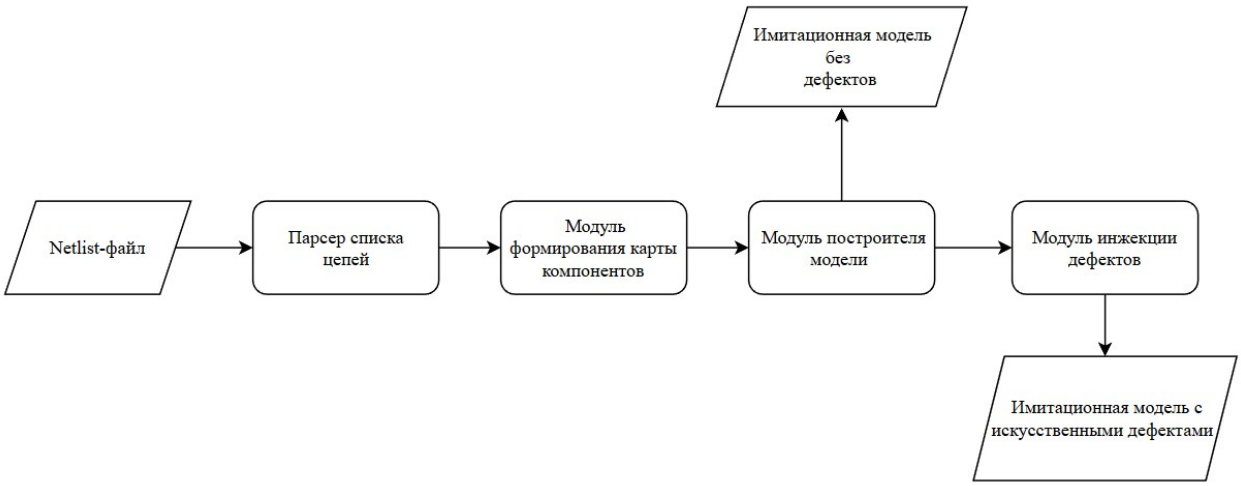


Рис. 1. Блок-схема конвейера автоматической генерации моделей

1. Парсер списка цепей выполняет чтение входного файла с извлечением перечня компонентов, их типов, узлов подключения и номиналов. Парсер способен обрабатывать файлы в форматах, приближенных к SPICE, а также блочном представлении, которое применяется в Altium Designer.

2. Модуль построения карты компонентов отвечает за сопоставление типов элементов из списка цепей с готовыми блоками библиотеки Simscape Electrical. В карте хранится полный путь к нужному блоку, имя параметра, через который задается номинал, и перечень физических портов в порядке их следования (к примеру, для двухполюсников это *LConn* и *RConn*, для транзисторов – *C*, *B*, *E*).

3. Модуль построения модели, опираясь на карту компонентов и исходный netlist, самостоятельно добавляет блоки в пустую модель Simulink, проставляет их параметры и связывает по узлам. Сначала для каждого блока определяются его порты, затем формируется таблица соответствия «номер узла → список портов». После этого все порты, относящиеся к одному узлу, объединяются по схеме «звезда». В конце выполняется автоматическая расстановка блоков, чтобы схема выглядела аккуратно и была удобна для восприятия.

4. Модуль внесения неисправностей создает на базе исходной модели ее модифицированные версии, содержащие различные дефекты – отклонение номиналов, разрыв цепи, короткое замыкание и прочие аномалии. В перспективе этот модуль планируется применять для анализа того, как те или иные неисправности сказываются на поведении устройства [2] Остановимся детальнее на том, как функционирует каждый из модулей.

Парсинг netlist-файла

Входной файл с расширением .net представляет собой обычный текст, в котором построчно записана информация о компонентах схемы. Типичная строка содержит имя элемента, перечень узлов (цифровые метки цепей) и значение – либо номинал, либо ссылку на модель. К примеру, запись «*R1 1 2 10k*» говорит о том, что резистор R1 присоединен к узлам 1 и 2 и обладает сопротив-

лением 10 кОм. Дополнительно распознаются метки *DC* и *AC*, указывающие на источники постоянного или переменного тока.

Алгоритм работы парсера построен на последовательном чтении строк. Для каждой из них определяется имя компонента, его тип (по первой букве: *R, C, Q* и т.д.), номера узлов и числовое значение. Если номинал содержит буквенный суффикс (*k, M, u, n, p*), он пересчитывается в соответствующее число – например, 10k превращается в 10000. В итоге формируется структура данных, содержащая все извлеченные сведения для дальнейших шагов.

После завершения парсинга формируется структура, содержащая все необходимые данные для дальнейшей обработки.

Карта компонентов

Библиотека Simscape Electrical содержит множество блоков, соответствующих различным электронным компонентам. Для автоматического сопоставления типов из netlist-файла с блоками библиотеки создается карта – ассоциативный массив, где ключом служит тип компонента, а значением – таблица со следующими данными:

- *path* – полный путь к блоку в библиотеке, например, *ee_lib/Passive/Resistor*;
- *param* – имя параметра, через которое задается номинал, например, (*R*);
- *ports* – список физических портов блока в порядке их следования, например, *LConn, RConn* для двухполюсников.

Примеры сопоставления для основных типов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Пример сопоставление типов элеменнтов из netlis-файла с блоками Simscape Electrical

Тип компонента	Путь в библиотеке SE	Параметр	Физические порты
RESISTOR	ee_lib/Passive/Resistor	*R*	*LConn, RConn*
CAPACITOR	ee_lib/Passive/Capacitor	*C*	*LConn, RConn*
TRANSISTOR (NPN)	ee_lib/Semiconductors & Converters/NPN Bipolar Transistor	*BF*	*C, B, E*
DC_SOURCE	fl_lib/Electrical/Electrical Sources/DC Voltage Source	*v0*	*LConn, RConn*
VOLTAGE_SENSOR	ee_lib/Sensors & Transducers/Voltage Sensor	-	*LConn, RConn,* сигнальный выход - *Outport*

Карта строится один раз и может быть расширена для поддержки новых типов компонентов.

Модуль построителя модели

Ключевым компонентом разработанного конвейера модуль построителя модели, который на основе массива данных, полученного после парсинга и карты компонентов полностью автоматизирует процесс создания Simscape-модели. Рассмотрим основные этапы подробно.

Инициализация модели и добавление служебных блоков

На начальном этапе выполняется создание новой модели Simulink, которой присваивается уникальное имя, например universal_model. Поскольку любая физическая сеть Simscape требует наличия двух обязательных элементов, в модель автоматически добавляются:

- *Solver Configuration* – блок, отвечающий за настройки численного решателя для расчета физических процессов.
- *Electrical Reference* – блок, задающий опорный узел («землю») для электрической цепи.

Вставка этих компонентов осуществляется с помощью стандартной функции *add_block*, при этом пути к блокам берутся из заранее сформированной карты. В дальнейшем служебные блоки соединяются с остальными элементами схемы, что обеспечивает физическую корректность моделирования.

Добавление компонентов схемы

По тому же принципу, что и служебные блоки, с использованием *add_block* и карты компонентов производится размещение всех элементов схемы. Если номинал элемента удалось корректно распознать и преобразовать в число (с учетом буквенных суффиксов), его значение записывается в соответствующий параметр блока через команду *set_param*, причем имя параметра извлекается из карты.

Особое внимание уделяется источникам питания: для них дополнительно проверяются альтернативные имена параметров (например, *v0, V, Amplitude*), так как в разных версиях библиотек Simscape обозначения могут различаться. Это повышает универсальность алгоритма и снижает вероятность ошибок при работе с различными версиями пакета.

Автоматическое соединение элементов схемы

Соединение блоков в соответствии с топологией схемы – наиболее ответственный этап. Алгоритм основан на анализе узлов, к которым подключены выводы компонентов. Рассмотрим порядок выполнения.

1. Получение индификаторов портов. Для каждого размещенного блока с помощью функции *get_param* извлекаются уникальные идентификаторы всех его портов. Эти идентификаторы однозначно соответствуют как физическим, так и сигнальным выводам.

2. Построение взаимосвязи «узел – порты». Создается ассоциативный массив (*node_ports*), в котором ключом выступает номер узла, приведенный к строковому типу, а значением – список идентификаторов портов, относящихся к этому узлу. Для каждого компонента, имеющего в карте описание портов (поле *ports*), выполняется следующее: для *k*-го номера узла из списка nodes выбирается *k*-е имя порта (например, для резистора *ports = {'LConn', 'RConn'}*), и если такое имя присутствует в структуре *PortHandles* данного блока, его идентификатор добавляется в список *node_ports* для соответствующего узла.

3. Обработка узла заземления. Отдельно учитывается узел с номером «0», который традиционно обозначает общую шину или землю. В список портов этого узла принудительно включается идентификатор вывода блока *Electrical Reference (GND)*, что обеспечивает корректное заземление всей схемы.

4. Соединение портов внутри узла. Заключительный шаг – создание линий между портами, принадлежащими одному узлу. Для узла, содержащего более одного индификатора, используется схема «звезда»: первый порт соединяется со всеми остальными. Это обеспечивает корректное образование электрического узла в *Simscape*, где все соединенные линии обладают равными потенциалами.

Добавление измерительной цепи

Для удобства анализа и визуализации результатов в модель автоматически добавляется измерительная цепь. По умолчанию алгоритм находит первый по порядку резистор в массиве компонентов и подключает параллельно ему датчик напряжения (*Voltage Sensor*). Физические порты датчика (*LConn* и *RConn*) соединяются с соответствующими портами резистора. Выход датчика - сигнальный порт, обычно *Outport* или *V*, через блок *PS-Simulink Converter* подключается к осциллографу *Scope*. Это позволяет непосредственно наблюдать форму сигнала на выбранном элементе. В случае отсутствия резисторов или датчика в карте измерительная цепь не добавляется, но основной процесс построения модели не прерывается.

Упорядочивание блоков

Финальным штрихом является автоматическое упорядочивание блоков на рабочем поле модели. Для этого используется встроенная функция *Simulink.BlockDiagram.arrangeSystem*. Она перестраивает блоки так, чтобы линии соединений были минимально запутанными, а сама схема приобрела более читаемый вид [3]. Рассмотрим примере работы вышеописанного конвеера.

Для демонстрации работоспособности алгоритмов была выбрана классическая схема эмиттерного повторителя на NPN-транзисторе BC547B. Исходная принципиальная схема изображена на рис. 2.

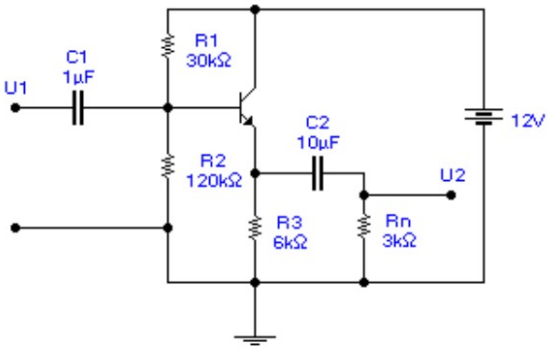


Рис.2. Исходная схема эмиттерного повторителя

Соответствующий netlist-файл имеет вид:

```
VCC 1 0 DC 12V
R1 1 2 15k
R2 2 0 20k
RE 4 0 6k
Q1 1 2 4 BC547B
```

C1 5 2 1uF
C2 4 6 10uF
RL 6 0 15k
VIN 5 0 AC 1V 1kHz
C3 1 0 100uF

После запуска конвейера была автоматически сгенерирована модель, представленная на рис. 3. Все компоненты добавлены и соединены в соответствии с топологией схемы. Датчик напряжения подключен, а его сигнал выведен на осциллограф через *PS-Simulink Converter* [4].

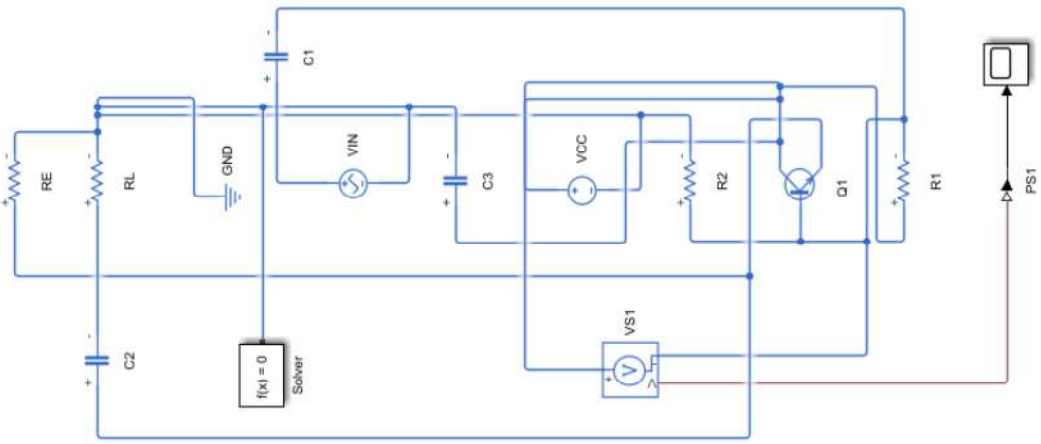


Рис. 3. Автоматически сгенерированная модель эмиттерного повторителя

В представленной работе рассмотрена реализация подхода к автоматизации построения имитационных моделей электронных устройств в среде MATLAB Simulink. Разработанные алгоритмы позволяют значительно сократить временные затраты на создание моделей и исключить типичные ошибки, возникающие при ручном проектировании. Перспективы дальнейших исследований включают расширение номенклатуры поддерживаемых компонентов, интеграцию с данными о геометрии печатных плат для повышения достоверности моделирования дефектов, а также применение методов машинного обучения для автоматической диагностики неисправностей на основе результатов симуляции.

Библиографический список

1. ***Сычев, К.С.*** Разработка перспективной системы автоматизированного мониторинга целостности электрических цепей / К. С. Сычев, Н. П. Ямпурин, В. А. Шаров // XXIX Нижегородская сессия молодых ученых (гуманитарные, технические, естественные науки) : Материалы сессии, Нижний Новгород, 12–15 ноября 2024 года. – Нижний Новгород: ООО "Издательство "Перо", 2024. – С. 356-360.
2. ***Химченко, А.В.*** Компьютерное моделирование технических систем : учебное пособие / А. В. Химченко, Н. И. Мищенко, Е. С. Сытник. – М. : Ай Пи Ар Медиа, 2025. – 205 с.

3. ***Волчок, В.А.*** Моделирование электротехнических устройств на базе MATLAB, Simulink и Simscape Electrical : практикум для студентов специальностей «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций», «Электроэнергетика и электротехника» / В. А. Волчок, А. А. Бойко, К. В. Автух, Т. А. Гриб, В. Н. Войтас ; Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы». – Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы, 2023. – 39 с.
4. ***Черных, И.В.*** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М.: ДМК Пресс, 2024. – 290 с.

ИНЖЕНЕРНЫЙ РАСЧЕТ ПЛАСТИНЧАТОГО РЕКУПЕРАТОРА ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ МАСТЕРСКИХ И МАЛЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Н.А. Тихонов[1], А. А. Авдеева[2]

[1] Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

[2] Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

В статье рассмотрено инженерное обоснование и расчет пластинчатого противоточного рекуператора, предназначенного для локальной системы вентиляции мастерских и малых производственных помещений площадью до 100 м². Предложена методика теплового и аэродинамического расчета компактного теплообменника с учетом особенностей малых расходов воздуха и ограниченных габаритных размеров установки. Приведен пример расчета для мастерской площадью 30 м², позволяющий определить теплопотери через вентиляцию, требуемую площадь теплообмена и количество каналов. Показано, что применение пластинчатого рекуператора обеспечивает снижение тепловых потерь более чем на 60 % и повышает энергетическую эффективность локальной вентиляционной системы.

Ключевые слова: пластинчатый рекуператор, локальная вентиляция, теплопередача, теплообмен, мастерская, энергоэффективность, утилизация тепла

В условиях роста тарифов на энергоресурсы и ужесточения требований к энергоэффективности зданий особую значимость приобретает снижение тепловых потерь через системы вентиляции [1,2]. Если для крупных промышленных объектов используются централизованные приточно-вытяжные установки с промышленными теплоутилизаторами, то в сегменте малых производственных помещений, мастерских, лабораторий и учебных цехов подобные решения экономически и конструктивно не всегда оправданы.

Особенностью мастерских является сравнительно небольшой объем помещений (20-100 м²), периодический режим работы, локальные источники тепловыделений и необходимость обеспечения нормативного воздухообмена [2]. При этом установка полноразмерных промышленных рекуператоров приводит к избыточным капитальным затратам и увеличению аэродинамического сопротивления системы.

В связи с этим возникает задача разработки и расчета компактного пластинчатого рекуператора, адаптированного именно для локальных систем вентиляции мастерских, работающих при умеренных расходах воздуха и ограниченных габаритах установки.

В рамках исследования рассматривается не стандартный промышленный теплоутилизатор, а малогабаритный пластинчатый противоточный рекуператор, предназначенный для установки непосредственно в локальную вентиляционную установку мастерской. Конструктивные и теплотехнические основы работы пластинчатых теплообменников подробно рассмотрены в работах [3, 4].

К ключевым особенностям проектируемого устройства относятся:

– ограниченные габаритные размеры;
– расход воздуха 300–1500 м³/ч;
– минимальное энергопотребление вентиляторов;
– простота изготовления и обслуживания;
– возможность интеграции в существующую локальную систему.

Объектом исследования является пластинчатый противоточный теплообменник, состоящий из пакета металлических пластин, образующих чередующиеся каналы для приточного и вытяжного воздуха. Потоки движутся навстречу друг другу, что обеспечивает более равномерное распределение температурного напора и повышает эффективность теплопередачи.

Передача теплоты осуществляется через твердую стенку без смешивания потоков, что особенно важно для мастерских с пылевыделением и возможным содержанием производственных загрязнений.

При инженерном расчете используются классические зависимости теории теплообмена [4, 5]. Суммарная площадь поверхности теплообмена определяется выражением:

$$S = 2 \cdot n \cdot L \cdot b, \quad (1)$$

где S - площадь теплообмена, м²; L - длина канала, м; b - ширина канала, м; n - количество каналов.

Эксплуатационные параметры включают температуру удаляемого воздуха $T_{вых}$, температуру наружного воздуха $T_{вх}$ и объемный расход воздуха V.

Массовый расход воздуха:

$$G = \rho \cdot V, \quad (2)$$

где ρ - плотность воздуха, кг/м³; V - м³/с.

Количество теплоты, передаваемое в рекуператоре:

$$Q = G \cdot c_в \cdot (T_{вых} - T_{вх}), \quad (3)$$

где $c_в$ - удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К).

Максимально возможная теплопередача:

$$Q_{max} = C_{min} \cdot (T_{вых} - T_{вх}), \quad (4)$$

где $C_{min} = G \cdot c_в$ – теплоемкостная характеристика потока.

Эффективность рекуператора:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}}. \quad (5)$$

Общий коэффициент теплопередачи определяется:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (6)$$

где α_1 и α_2 - коэффициенты теплоотдачи со стороны потоков; δ - толщина пластины, м; λ - коэффициент теплопроводности материала пластины.

В условиях локальной вентиляции мастерских режим движения воздуха чаще всего является переходным или турбулентным, что влияет на величину коэффициентов теплоотдачи. Поэтому при расчете необходимо учитывать кри-

терии Рейнольдса и Нуссельта для оценки интенсивности конвективного теплообмена.

В отличие от типовых расчетов промышленных теплоутилизаторов, для локальной вентиляции мастерских расчет начинается с определения требуемого воздухообмена по кратности.

После определения расхода воздуха выполняются этапы, перечисленные далее.

1. Расчет тепловых потерь через вентиляцию без рекуперации.
2. Определение требуемой тепловой мощности утилизатора.
3. Предварительный выбор геометрических параметров теплообменника.
4. Определение площади теплообмена.
5. Расчет коэффициента теплопередачи.
6. Проверка эффективности ε.
7. Оценка аэродинамического сопротивления каналов.

Особое внимание уделяется компромиссу между эффективностью теплообмена и ростом аэродинамического сопротивления. Для малых помещений чрезмерное увеличение длины каналов может привести к увеличению потребляемой мощности вентиляторов, что снизит общий энергетический эффект.

Таким образом, расчет локального рекуператора должен учитывать не только тепловую, но и аэродинамическую эффективность системы.

Рассмотрим пример расчета пластинчатого рекуператора для локальной системы вентиляции мастерской площадью 30 м².

Исходные данные:

Площадь помещения: $F = 30$ м²,

Высота помещения: $H = 3$ м,

Объем помещения: $V_{пом} = F \cdot H = 30 \cdot 3 = 90$ м³.

Для мастерских принимаем кратность воздухообмена $n_{кр} = 3\ \frac{1}{ч}$.

Тогда требуемый расход воздуха:

$$L = n_{кр} \cdot V_{пом}, \tag{7}$$

$$L = 3 \cdot 90 = 270 \frac{м^3}{ч}.$$

Переведем в м³/с:

$$V = \frac{270}{3600} = 0{,}075 \frac{м^3}{с}.$$

Плотность воздуха принимаем: ρ = 1,2 кг/м³

Массовый расход воздуха:

$$G = 1{,}2 \cdot 0{,}075 = 0{,}09 \frac{кг}{с}.$$

Температура внутри мастерской:

$$T_{вых} = +20\ °C.$$

Температура наружного воздуха (расчетный зимний режим):

$$T_{вх} = -15\ °C.$$

Разность температур:

$$\Delta T = 20 - (-15) = 35\ °C.$$

Удельная теплоемкость воздуха:

$$c_в = 1000 \frac{Дж}{кг \cdot К}.$$

Количество теплоты, теряемое с вытяжным воздухом:

$$Q_{пот} = 0{,}09 \cdot 1000 \cdot 35 = 3150\ Вт.$$

Таким образом, через вентиляцию теряется 3,15 кВт тепловой мощности.

Предположим, что проектируемый рекуператор обеспечивает эффективность [6]:

$$\varepsilon = 0{,}6\ (60\ \%).$$

Тогда возвращаемая тепловая мощность:

$$Q_{воз} = \varepsilon \cdot Q_{пот}, \quad (8)$$

$$Q_{воз} = 0{,}6 \cdot 3150 = 1890\ Вт.$$

Следовательно, рекуператор способен вернуть 1,89 кВт тепловой энергии.

Оставшиеся теплопотери составят:

$$Q_{ост} = 3150 - 1890 = 1260\ Вт.$$

Используем уравнение теплопередачи [4]:

$$Q = k \cdot S \cdot (T_{вых} - T_{вх}). \quad (9)$$

Для компактного пластинчатого рекуператора принимаем ориентировочное значение [6]:

$$k = 25 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Тогда требуемая площадь теплообмена:

$$S = \frac{Q}{(k \cdot (T_{вых} - T_{вх}))}, \quad (10)$$

$$S = \frac{1890}{(25 \cdot 35)} = 2{,}16\ м^2.$$

Следовательно, для обеспечения требуемой мощности необходима площадь теплообмена примерно 2,2 м².

Предположим:

$$L = 0{,}4\ м,$$

$$b = 0{,}3\ м.$$

Площадь одной пластины с двух сторон:

$$S_1 = 2 \cdot L \cdot b, \quad (11)$$

$$S_1 = 2 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}3 = 0{,}24\ м^2.$$

Необходимое количество каналов:

$$n = \frac{S}{S_1}, \quad (12)$$

$$n = \frac{2{,}2}{0{,}24} \approx 9{,}2.$$

Округляем до 10 каналов.

Таким образом, компактный рекуператор длиной 0,4м и шириной 0,3м с 10 каналами способен обеспечить требуемую тепловую мощность для мастерской площадью 30 м².

В результате расчета установлено, что для мастерской площадью 30 м² при кратности воздухообмена 3 $\frac{1}{ч}$ теплопотери через вентиляцию составляют 3,15 кВт. Применение пластинчатого рекуператора с эффективностью 60% позволяет вернуть 1,89 кВт тепловой энергии и снизить нагрузку на систему отопления более чем в два раза.

Полученные расчетные параметры подтверждают техническую реализуемость компактного рекуператора для локальной вентиляции мастерских. При этом устройство имеет умеренные габариты и может быть интегрировано в малогабаритную приточно-вытяжную установку.

Применение компактных пластинчатых рекуператоров в мастерских позволяет:

– снизить тепловые потери на 40–70 %;

– уменьшить нагрузку на систему отопления;

– сократить эксплуатационные расходы;

– повысить энергетическую эффективность небольших производственных объектов.

Разработка специализированной методики расчета для локальных систем вентиляции позволяет адаптировать конструкцию под реальные условия эксплуатации, избегая избыточных проектных решений.

В работе рассмотрен инженерный подход к расчету пластинчатого рекуператора, предназначенного для локальных систем вентиляции мастерских и малых производственных помещений. В отличие от стандартных промышленных решений, проектируемый теплообменник ориентирован на умеренные расходы воздуха, ограниченные габариты и минимизацию энергетических затрат.

Разработанная методика позволяет обоснованно определить геометрические параметры теплообменника, рассчитать его тепловую мощность и оценить эффективность работы в реальных условиях эксплуатации. Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения компактных рекуператоров в локальные вентиляционные системы малых производственных объектов с целью повышения их энергоэффективности и снижения эксплуатационных расходов.

Библиографический список

1. Федеральный закон РФ № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». – М., 2009.

2. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – М.: Минстрой России, 2020.

3. ***Богословский, В.Н.*** Отопление и вентиляция / В.Н. Богословский, А.Н. Сканави. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.

4. ***Исаченко, В.П.*** Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 416 с.

5. ***Михеев, М.А.*** Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
6. ***Кокорин, О.Я.*** Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: АСВ, 2003. – 512 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТАЙМЕРА С ПАМЯТЬЮ ДЛЯ УФ-ЛАМПЫ

А.А. Хорьков, Е.И. Лазарева
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматривается процесс проектирования таймера с памятью для УФ-лампы, который позволяет автоматизировать процесс и обеспечить воспроизводимость результатов. Основное внимание уделяется разработке электрической принципиальной схеме таймера с памятью. Представлена схема электрическая принципиальная и сборочный чертеж блока таймера.

Ключевые слова: таймер с памятью, УФ-лампа, печатный узел, конструкция, блок

В современных технологических процессах, связанных с фотополимеризацией, дезинфекцией и обработкой материалов, широко применяются ультрафиолетовые (УФ) лампы. Ключевым фактором эффективности их использования является точное соблюдение временных параметров облучения: недостаточная экспозиция приводит к неполному протеканию реакций, избыточная – повышает энергозатраты и может повредить обрабатываемые объекты. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка специализированных управляющих устройств – таймеров с функцией памяти, позволяющих автоматизировать процесс и обеспечить воспроизводимость результатов.

Целью настоящей работы является проектирование конструкции блока таймера с памятью для УФ-лампы, предназначенного для автоматизированного управления включением и выключением ультрафиолетовой лампы с заданной временной выдержкой. Ключевая задача блока – гарантирование стабильного и воспроизводимого режима облучения, минимизация человеческого фактора при настройке и повышение безопасности эксплуатации УФ-оборудования.

Устройство применяется в сферах, где требуется регламентированное УФ-облучение: в медицинских и лабораторных учреждениях (дезинфекция помещений, оборудования, инструментов), в промышленности (отверждение клеев, лаков, печатных красок), в системах водоподготовки и воздухоочистки (бактерицидная обработка), в полиграфии и микроэлектронике (фотолитография), а также в бытовых и коммерческих установках для санитарной обработки. Блок таймера позволяет адаптировать режим работы УФ-лампы к специфике конкретной задачи – от кратковременных импульсных воздействий до длительных циклов непрерывного облучения.

Схема электрическая принципиальная таймера с памятью представлена на рис. 1.

«Плавкая вставка FU1 и диод VD1 защищают прибор от переполюсовки напряжения питания, превышения им и потребляемым от его источника током допустимых значений. Интегральный стабилизатор DA1 и конденсаторы C4,

С6, С9, С10 формируют и фильтруют напряжение +5 В для питания микроконтроллера DD1, к которому подключены» [1]:

– кварцевый резонатор BQ1;

– узел формирования импульса установки микроконтроллера в исходное состояние R1R2C1;

– управляемый транзистором VT7 излучатель звука HA1;

– фильтр сигналов инкрементного энкодера R19R20R22R23C11C12, собранный по схеме;

– токоограничительные резисторы R6-R13 для светодиодного индикатора;

– управляемое транзистором VT2 исполнительное реле К1 с индикатором состояния – светодиодом VD7.

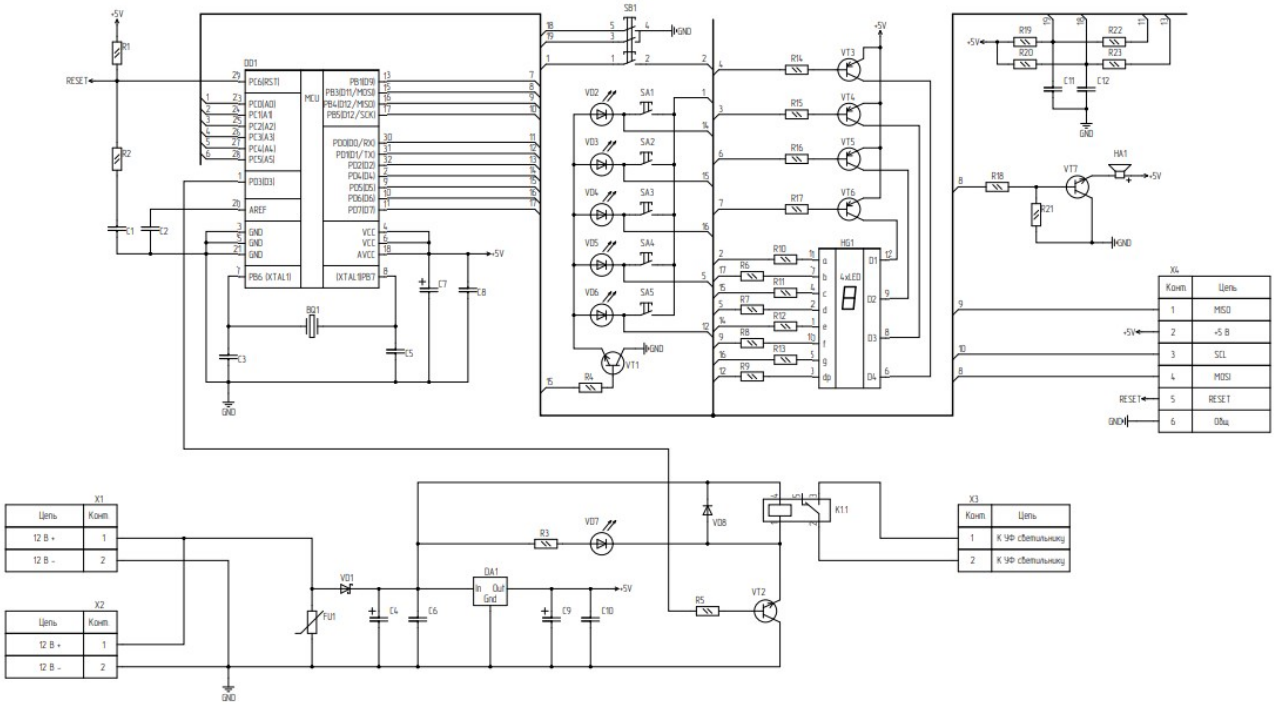


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная

На схеме также имеются следующие функциональные узлы:

– семиэлементный четырехразрядный (с разделительным двоеточием) светодиодный индикатор HG1 с общими анодами и ключами выборки разряда на транзисторах VT3-VT6;

– кнопки управления SA1–SA5 со светодиодами подсветки VD2-VD6 и энкодер SB1 с кнопкой.

Принцип работы индикатора – динамический. Его разряды включаются поочередно, но переключаются с такой частотой, что кажутся светящимися одновременно. Преимущество динамической индикации – сокращение числа соединительных проводов и коммутационных элементов, необходимых для управления индикатором.

Программа микроконтроллера открывает транзисторы VT1, VT3-VT6 по одному, сопровождая открытое состояние каждого из них кодами на линиях PB4, PC1, PC4, PD1 и PD4-PD7, включающими нужные элементы выбранного разряда индикатора HG1 или светодиоды VD2-VD6.

«Максимально допустимый ток нагрузки каждого выхода микроконтроллера – 20 мА, вполне достаточен для их яркого свечения. Поэтому выходы микроконтроллера соединены с катодами светодиодов (в том числе находящихся в индикаторе) без дополнительных усилителей.

Те же выводы микроконтроллера, что обслуживают индикатор, использованы и для опроса состояния кнопок SA1–SA5. По завершении очередного цикла управления индикатором и светодиодами программа закрывает транзисторы VT1, VT3-VT6, а перечисленные выше линии портов конфигурируют как входы. Затем она считывает логические уровни на этих входах, которые теперь зависят от состояния кнопок SA1–SA5, после чего начинает новый цикл динамической индикации» [1].

После разработки принципиальной электрической схемы был спроектирован печатный узел (ПУ) (рис. 2).

«Для максимального снижения затрат на разработку и производство изделия, а, следовательно, и конечной стоимости устройства целесообразно разместить все основные функциональные узлы, включающие в себя электрорадиоэлементы (ЭРЭ) на одном печатном узле (ПУ).

Для увеличения плотности монтажа и уменьшения габаритов ПУ выбираем двухслойную печатную плату (ПП) с размещением компонентов на двух сторонах. ПП будет разрабатываться в САПР Altium Designer с использованием автоматической трассировки при проектировании печатной платы. Кроме того, двухслойные печатные платы характеризуются:

− повышенной надежностью соединений и плотности монтажа;

−возможностью обеспечения повышенных требований к точности выполнения проводящего рисунка;

− меньшей длиной сигнальных проводников» [2].

Следующим этапом стала разработка корпуса и компоновка составных элементов. Блок таймера с памятью для УФ-лампы должен быть выполнен в моноблочном исполнении, таким образом, следует отдать предпочтение варианту компоновки блока, в котором все функциональные узлы будут размещены на одном печатном узле. Было взято в расчет, что объем разрабатываемого устройства в большей степени зависит от габаритных размеров печатного узла. Лучшим решением, будет увеличение плотности компоновки печатного узла. «Конструкция ПУ зависит от типа конструкции самого блока, в состав которого он входит. Крепление ПУ осуществляется по углам платы. Выбираем безрамочное исполнение, так как ПУ не подвергается значительным вибрациям и ударам» [3].

На рис. 3 представлен сборочный чертеж разработанной конструкции.

В результате работы была разработана конструкция блока таймера с памятью для УФ-лампы, предназначенного для автоматизированного управления включением и выключением ультрафиолетовой лампы с заданной временной выдержкой.

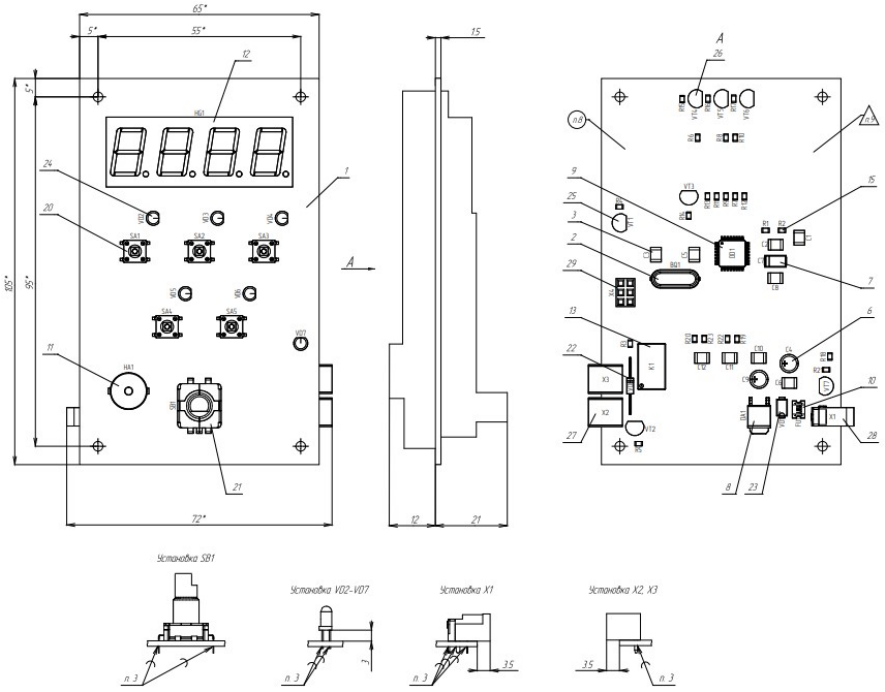


Рис. 2. Печатный узел таймера с памятью

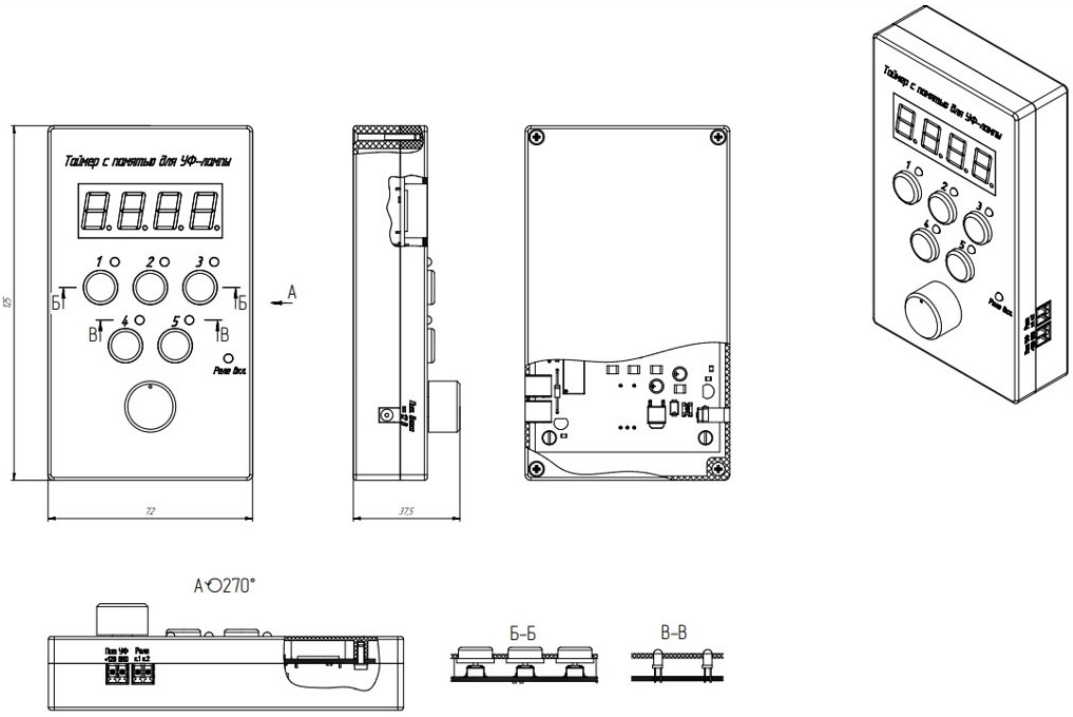


Рис. 3. Сборочный чертеж блока таймера с памятью

Библиографический список

1. ***Иншаков, В.*** Таймер с памятью для УФ-лампы / В. Иншаков – «Радио» №7, 2019. – С. 28–33.
2. ***Пирогова, Е.В.*** Проектирование и технология печатных плат: Учебник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.
3. ***Баканов Г.Б***.Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Г.Б.Баканов, С.С.Соколов, В.Ю.Суходольский; под ред. И.Г.Мироненко. – Изд. центр "Академия", 2007. – 368 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И СТРУКТУРЫ ОБТЕКАНИЯ КРЫЛА С ПРОФИЛЕМ NACA 64(1)A412

***Е.С. Шишов*[1,2]**

[1]*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*

[2]*Центральное конструкторское бюро по судам на подводных крыльях им. Р.Е. Алексеева*

В работе представлены результаты численного моделирования гидродинамических характеристик глубоко погруженного крыла конечного размаха с профилем NACA 64_1-A412. Исследование проведено методами вычислительной гидродинамики (CFD) с использованием модели турбулентности SST k-ω. Для обеспечения высокой точности расчета пограничного слоя построена расчетная сетка объемом 10 млн элементов с безразмерным расстоянием до первой пристеночной ячейки $y^+ \approx 1$.

Проведена верификация численной модели, включающая анализ сеточной независимости и сопоставление безразмерных профилей скорости в пограничном слое с универсальным законом стенки. В ходе валидации по экспериментальным данным NASA установлено, что относительное расхождение по подъемной силе в рабочем диапазоне углов атаки не превышает 10%, достигая минимального значения 1% при угле атаки свыше 2°. Выполнена визуализация структуры образования концевых вихрей и распределения коэффициента давления по размаху крыла. Полученные результаты подтверждают применимость выбранного подхода для проектирования современных крыльевых устройств судов на подводных крыльях.

Ключевые слова: судно на подводных крыльях, CFD, верификация, пограничный слой, NACA 64_1-A412

Современный скоростной флот во многом сформировался благодаря научному наследию выдающегося конструктора Р.Е. Алексеева. Его фундаментальные разработки в области гидродинамики судов на подводных крыльях сыграли решающую роль в создании целого класса высокоскоростных транспортных средств. В настоящее время при проектировании перспективных крыльевых систем уже недостаточно использовать только традиционные эмпирические зависимости. Все более важную роль играют методы вычислительной гидродинамики, обеспечивающие более высокую точность и надежность результатов. Это обусловлено необходимостью учитывать сложные трехмерные эффекты, такие как формирование концевых вихрей и неоднородность пограничного слоя, которые напрямую влияют на эффективность подводных крыльев. Одним из важнейших этапов проектирования является подробный анализ гидродинамических характеристик используемых профилей.

Профили серии NACA 641-A412 относятся к классу ламинарных профилей, геометрия которых способствует сохранению ламинарного режима течения на значительной части хорды.

Это обеспечивает высокое гидродинамическое качество и стабильность характеристик на расчетных режимах эксплуатации. Вместе с тем, получение

точных данных для подобных профилей требует тщательного контроля качества расчетной сетки и подтверждения достоверности результатов путем их сравнения с экспериментом [1].

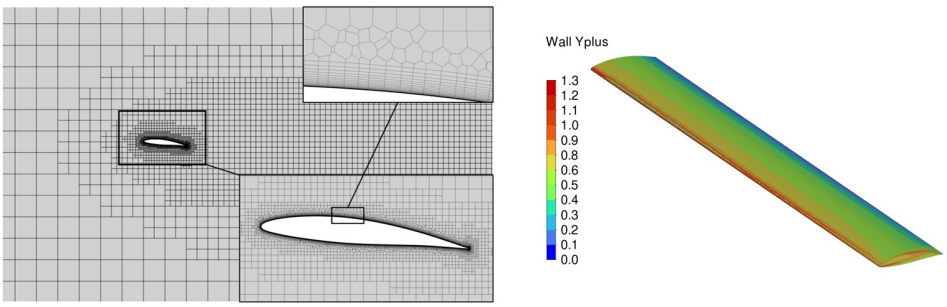
Целью данной работы является комплексное численное исследование структуры трехмерного обтекания и валидация расчетных характеристик по экспериментальным данным для крыла конечного размаха с профилем NACA 64_1-A412 в условиях глубокого погружения.

Численное моделирование гидродинамических характеристик крыла выполнено на основе решения трехмерных стационарных уравнений Навье – Стокса, осредненных по Рейнольдсу (3D Steady RANS). Для замыкания системы уравнений использовалась двухпараметрическая модель турбулентности k-ω SST (Shear Stress Transport). Выбор данной модели обусловлен ее способностью эффективно сочетать преимущества модели k-ω в пристеночной области и k-ε модели во внешнем потоке, что важно для корректного предсказания точки отрыва потока и учета градиентов давления на ламинарных профилях [2, 3].

Расчетная область представляла собой прямоугольный параллелепипед, размеры которого выбраны из условия исключения влияния границ на структуру обтекания модели. На входной границе задавалось условие скорости потока 12,2–4,6 м/с, на выходной – атмосферное давление. Поверхность крыла определялась как непроницаемая стенка с условием прилипания без проскальзывания.

В ходе исследования решалась задача обеспечения сеточной независимости результатов. Для этого было построено и проанализировано четыре варианта расчетных сеток с различной степенью детализации пристеночной области. Основным варьируемым параметром являлось безразмерное расстояние до первой пристеночной ячейки y^+, значения которого изменялись от «грубых» ($y^+ \approx 200$) до «точных» ($y^+ \approx 1$).

Для финальных расчетов была получена «точная» сетка общим объемом 10 млн ячеек. Данная сетка имеет гибридную структуру с измельчением в области профиля и вихревого следа (рис. 1, *а*). Для детального разрешения пограничного слоя сформировано 35 призматических слоев с коэффициентом роста 1,2. Параметры первого слоя обеспечивают значение $y^+ \approx 1$ (рис. 1, *б*) по поверхности крыла, что позволяет реализовать прямое разрешение вязкого подслоя без использования полуэмпирических пристеночных функций.



а) б)

Рис. 1. Параметры расчетной модели: а) структура расчетной сети; б) распределение y^+ по поверхности крыла

Для обоснования достоверности численных результатов был проведен анализ сеточной независимости путем сравнения четырех вариантов сеток с различной степенью детализации пристеночной области. Результаты сопоставления расчетной подъемной силы (для скорости набегающего потока 12,2 м/с и угла атаки 2°) с экспериментальными данными представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние параметра y^+ на подъемную силу

y^+	**Подъемная сила, Н**	**Расхождение, %**
1	13523	1,97
5	12955	6,09
30	12903	6,47
200	12348	10,48

Проведенный анализ показывает, что с уменьшением параметра y+ численное решение все лучше согласуется с экспериментальными данными. При переходе от использования пристеночных функций (y+ =" 30–200) к прямому разрешению вязкого подслоя (y+ ≈ "1) удалось снизить погрешность определения подъемной силы более чем в пять раз – до 1,97%. Это свидетельствует о необходимости применения расчетных сеток с полным разрешением пограничного слоя при моделировании ламинарных профилей.

Проверка адекватности расчетной модели выполнена путем сравнения интегральных аэродинамических сил с экспериментальными данными NASA. На рис. 2 приведены зависимости подъемной силы и силы сопротивления от угла атаки.

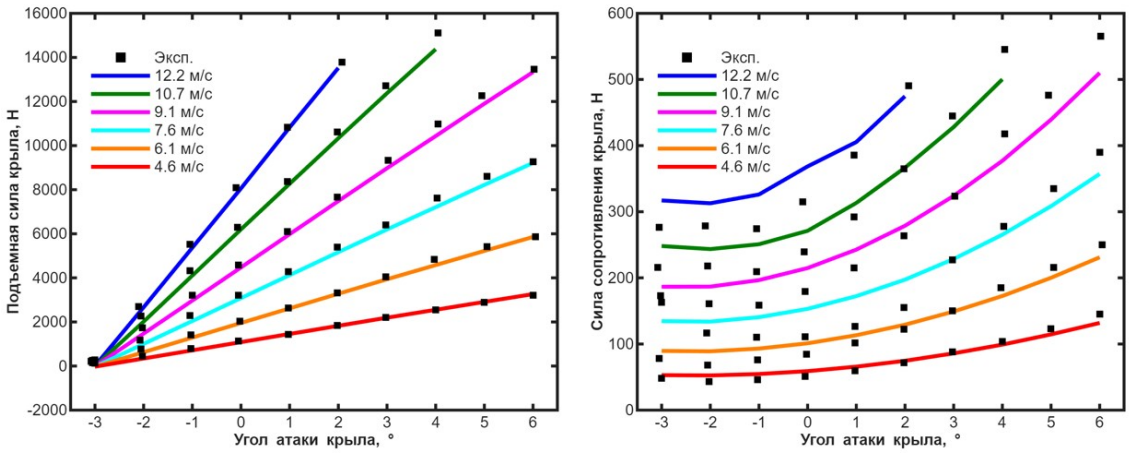


Рис. 2. Сравнение расчетных (CFD) и экспериментальных данных

Результаты численного анализа (табл. 2) показывают хорошее согласование с экспериментальными данными при положительных углах атаки крыла (более 0°).

Таблица 2

Относительное расхождение данных (v = 9,1 м/с)

α, °	Подъемная сила, %	Сила сопротивления, %
6	0,94	9,77
5	2,95	7,70
4	4,96	9,70
3	3,88	0,02
2	2,47	5,87
1	1,90	12,98
0	2,56	19,65
-1	7,69	23,91
-2	7,51	16,11
-3	2,89	14,42

Заметное увеличение относительной погрешности при определении силы сопротивления на малых углах атаки ($\alpha < 2°$) может быть связано с особенностями учета ламинарно-турбулентного перехода. Кроме того, в данном диапазоне даже небольшие абсолютные расхождения между численными и экспериментальными данными приводят к существенному росту относительной погрешности. В то же время при углах атаки в диапазоне 2-6° расчетная модель показывает хорошее согласование с экспериментом, при этом погрешность не превышает 10%.

Для установления физических причин достигнутой сходимости по интегральным силам необходимо рассмотреть структуру течения вблизи поверхности крыла. Поскольку для ламинарных профилей точность определения сопротивления и подъемной силы в значительной степени определяется корректностью описания вязкого трения, в работе выполнена проверка параметров пограничного слоя.

Сравнение безразмерных профилей скорости, полученных в расчете для различных сечений по хорде крыла (0,2c; 0,5c; 0,8c) относительно передней кромки, с законом стенки представлено на рис. 3.

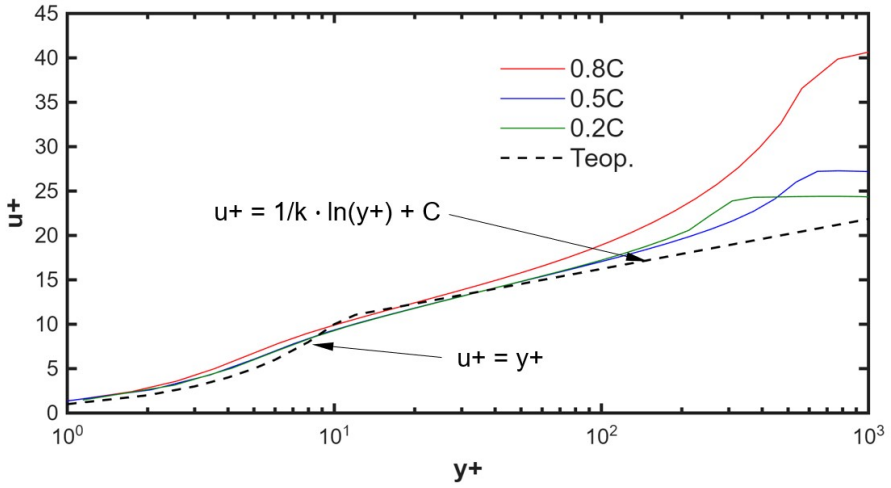
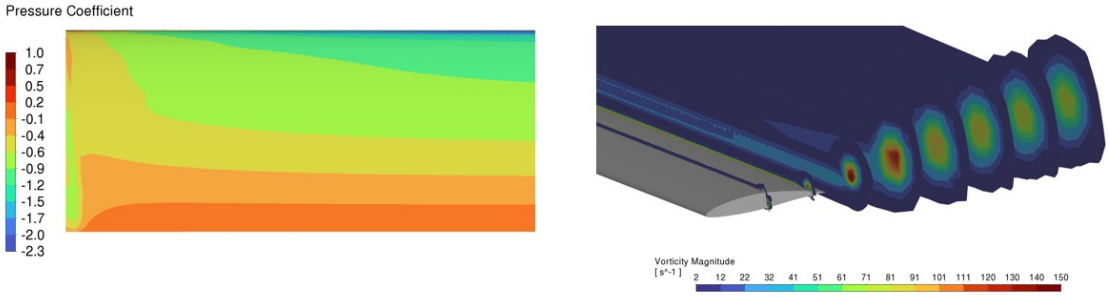


Рис. 3. Профили безразмерной скорости u^+ в зависимости от логарифма расстояния y^+

Анализ профилей скорости показывает, что в области вязкого подслоя (y+ < 5) расчетные данные хорошо согласуются с линейной зависимостью u+ =" y+, что свидетельствует о корректном разрешении вязкого подслоя. В логарифмической области (30 < "y+ < 300) профили следуют аналитической зависимости $u^+ = \frac{1}{k}\ln(y^+) + C$, что подтверждает адекватность выбранной модели турбулентности при описании пристеночных явлений. Совпадение кривых вблизи стенки указывает на правильную передачу характера распределения скоростей вдоль поверхности крыла. Отклонения профилей во внешней части пограничного слоя (y+ > 500) объясняются выходом потока из пристеночной области в зону свободного течения, где существенное влияние начинает оказывать геометрия профиля. Наиболее выраженный рост кривой наблюдается в хвостовой части крыла (0,8c): здесь происходит утолщение пограничного слоя и снижение касательных напряжений на поверхности, что приводит к увеличению безразмерной скорости u+.

Помимо пристеночных эффектов, значительное влияние на формирование характеристик крыла конечного размаха оказывают трехмерные явления, связанные с перетеканием потока в области законцовки. Это хорошо видно по распределению коэффициента давления Cp на верхней поверхности крыла (рис. 4, *а*), которое наглядно отражает данный процесс.



а) б)

Рис. 4. Трехмерные эффекты обтекания крыла (v = 9,1 м/с; α = 6°):
а) распределение коэффициента давления C_p; б) структура концевого вихря

На представленной картине распределения коэффициента давления (рис. 4, *а*) видно, что вблизи торцевой части крыла (левая область рисунка) происходит изменение структуры поля давления: изолинии смещаются в сторону передней кромки, а область пониженного давления сужается по мере приближения к законцовке. Это связано с выравниванием давления между верхней и нижней поверхностями крыла, что приводит к локальному уменьшению подъемной силы в данной зоне. В результате формируется концевой вихрь, структура которого показана на рис. 4, *б.*

Проведенное численное исследование гидродинамических характеристик и особенностей обтекания крыла с профилем NACA 641-A412 подтвердило целесообразность использования расчетных сеток с разрешением вязкого подслоя при анализе крыльевых устройств скоростных судов. Результаты исследования

сеточной сходимости и проверка параметров пристеночной области показали, что прямое разрешение вязкого подслоя при значениях $y+ \approx 1$ является необходимым условием для достоверного моделирования ламинарных профилей. Достигнутое согласование с экспериментальными данными подтверждает возможность применения выбранного численного подхода при решении инженерных задач.

Библиографический список

1. **Wadlin, K. L.** A Theoretical and Experimental Investigation of the Lift and Drag Characteristics of a Hydrofoil at Subcritical and Supercritical Speeds: Research Memorandum L52D23a / K. L. Wadlin, C. L. Shuford, J. R. McGehee; National Advisory Committee for Aeronautics (NACA). – Langley Field, Va.: Langley Aeronautical Laboratory, 1952. – 34 p.
2. **Гарбарук, А. В.** Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений: учеб. пособие / А. В. Гарбарук, М. Х. Стрелец, А. К. Шур. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 88 с.
3. **Лойцянский, Л. Г.** Механика жидкости и газа: учебник для вузов / Л. Г. Лойцянский. – 7-е изд. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.

РАЗРАБОТКА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ВРАЩЕНИЯ ТРУБ ПРИ СВАРКЕ ОПЫТНЫХ КАРДАННЫХ ВАЛОВ

А.В. Платонов[1], К.А. Щеглетов[1], И.А. Платонов[2], А.Д. Корнеев[1]
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт[1],
Арзамасский приборостроительный завод им. П.И. Пландина[2]

В статье рассмотрено соединение элементов карданных валов (вилок, фланцев и других) с трубами осуществляется с использованием сварочных полуавтоматов при вращении труб. При изготовлении новых образцов карданных валов в небольших опытных мастерских необходимо разрабатывать, изготавливать и использовать специальные, по возможности, простые приспособления. Такие приспособления должны обеспечивать качество изготовления опытной техники с техническими характеристиками, назначенными на подобные серийные изделия.

Ключевые слова: новые образцы карданных валов, автоматические вращатели труб, приспособление для вращения труб, роликовые опоры, полуавтоматическая сварка, качество сварочного шва

Работа выполнена при финансовой поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям) по Договору № 19560ГУ/2025 от 25 ноября 2025 года в рамках НИР по программе «УМНИК».

Конечным продуктом, заявленным на конкурс «Умник», является «Карданная передача машины, состоящая из отдельных взаимозаменяемых модулей». Используется для передачи крутящего момента от коробки перемены передач, например, автомобиля к его заднему мосту или к колесным приводам. Отличительные от аналогов потребительские характеристики рассматриваемого «Комплекта» следующие:

- возможность извлечения/установки модулей при проведении ремонта или технического обслуживания карданной передачи без снятия ее из трансмиссии автомобиля;
- балансировка карданной передачи (это обязательная в настоящее время операция, проводимая после ТО/ремонта) не требуется;
- обеспечение срока эксплуатации карданных передач до полного износа «машин» (автомобилей, военной колесной техники, сельскохозяйственной техники, вертолетов, морских судов, железнодорожного транспорта и др. техники).

Планом реализации проекта предусматривается изготовление опытного образца заявленной конструкции с комплектом сменных модулей. Необходимость изготовления опытных образцов изделий машиностроения перед их постановкой на производство предусматривается стандартом [1].

В настоящей статье представлены схемы и эскизы для изготовления приспособления для ручного вращения трубы карданного вала при сварке ее с соответствующими деталями. При получении оператором необходимых навыков

полуавтоматической сварки труб будет изготовлено специальное приспособление с механическим вращением трубы с нужными параметрами вращения.

Перед началом работ по изготовлению приспособления для сварки труб опытного карданного вала следует провести анализ существующих конструкций стендов (устройств) для вращения труб при сварке.

Обзор источников информации

В представленных источниках информации показаны промышленные образцы устройств для вращения труб при сварке (т.н. «вращателей» труб для сварки).

Примером является «Сварочный вращатель (позиционер) S3D tiq» [2] (рис. 1), который используется для сварки кольцевых швов на трубных заготовках (деталях), его стоимостью 78,5 т. р.



Рис. 1. Сварочный вращатель (позиционер)

Этот сварочный вращатель-позиционер поможет добиться высокого качества и производительности при сварке. Ключевые преимущества: точное управление вращением: плавная регулировка скорости от 0,1 до 26 об/мин с шагом 0,1 об/мин, поставляется с патроном на выбор (125мм или 160 мм). Широкий спектр применения достигается благодаря возможности прямого и обратного вращения. Включение вращения возможно с пульта или педали для максимального удобства. Устройство подходит для сварки труб и прутков благодаря сквозному отверстию в патроне ⌀28 мм. Надежность и мощность достигается высоким крутящий момент (~12 Нм) обеспечивающим стабильное вращение даже при работе на малой скорости с тяжелыми деталями. Функциональные особенности: индикация скорости вращения; точный контроль за процессом сварки; наличие токоприемника для удобного подключения массы сварочного аппарата.

Имеется также «Сварочный роликовый вращатель малой грузоподъемности ССК ВС-1Р» [3], стоимость которого 106.00 т. р. Это надежное и функциональное оборудование, которое значительно облегчает сложный технологический процесс сварки (рис. 2).



Рис. 2. Сварочный роликовый вращатель малой грузоподъемности ССК ВС-1Р

Простота конструкции и использование высокопрочных материалов делают этот роликовый вращатель очень надежным. Опоры, покрытые полиуретаном, обеспечивают отличное сцепление с обрабатываемым изделием, что гарантирует стабильность и точность процесса сварки. Благодаря двум фиксированным положениям роликовых опор, вращатель может быть настроен под сварку изделий нужного диаметра.

Приводная секция вращателя оснащена электродвигателем с плавной регулировкой скорости вращения и возможностью управления с помощью специальной педали. Это позволяет точно контролировать скорость вращения и обеспечивает стабильность процесса сварки.

Имеется «Автоматический вращатель с ЧПУ СКВ 3000 А» [4], стоимость не показана. Этот стен является автоматизированным сварочным вращателем, который предоставляет возможность предварительно выставить части собираемого вала с минимальным биением. После выставления деталей к месту будущего шва подводится горелка и запускается процесс сварки (рис. 3).

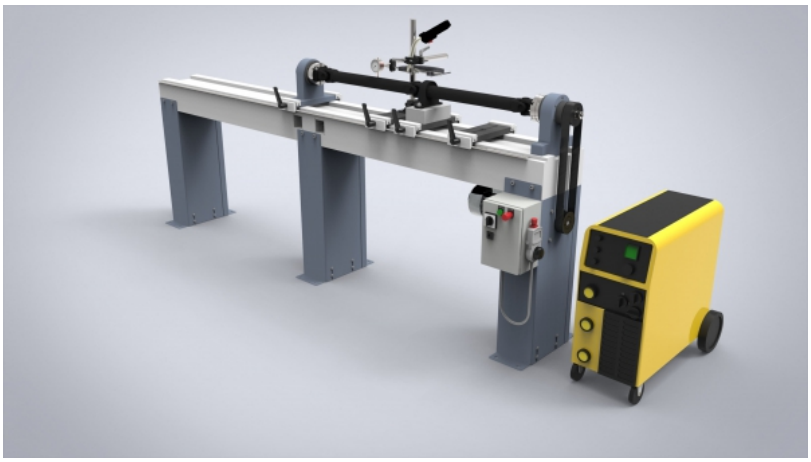


Рис. 3. Автоматический вращатель с ЧПУ СКВ 3000 А

На основе анализ представленных устройств для вращения труб при сварке можно сделать следующие выводы.

1. Ни в одном из них не показано устройство для фиксации трубы с свариваемой деталью с противоположного торца трубы карданного вала.

2. Отсутствуют устройства для удержания сварочной горелки и индикатора.

3. Не показаны рекомендации по режимам сварки и скоростям вращения трубных изделий.

4. Положительным фактором следует отметить сравнительно низкую стоимость оборудования.

Разработка схемы конструкции простейшего механизированного устройства для сварки труб опытного карданного вала с присоединяемыми деталями

В качестве концепции разработки приняты доступные имеющиеся в наличии у разработчика элементы будущей конструкции. Это электродвигатель с понижающим редуктором, токарный патрон 125 мм, сварочный полуавтомат, фланцевые подшипниковые узлы (опоры), комплект направляющих с опорами. Схема (предварительная) механизированного устройства для сварки труб показана на рис. 4.

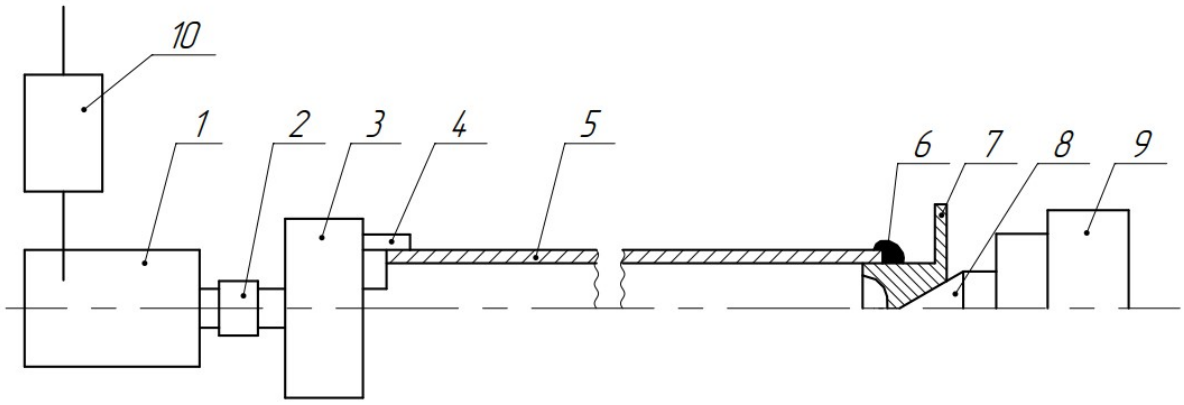
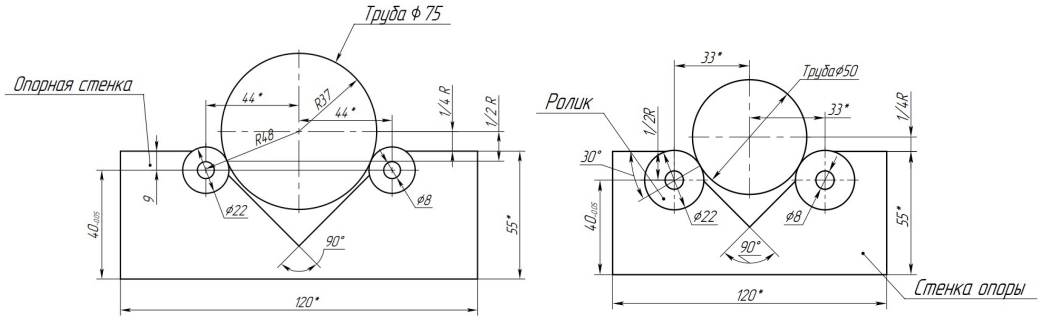


Рис. 4. Схема приспособления для вращения трубы в процессе автоматической сварки:
1 – электродвигатель; 2 – соединительная муфта; 3 – патрон зажимной; 4 – кулачки зажимные; 5 – труба карданная; 6 – сварной шов; 7 – фланец карданного вала; 8 – центр поджимной; 9 – поджимное устройство; 10 – частотный преобразователь

Сборка и испытание механизированного устройства для сварки труб займет не малое время, поэтому принято решение по разработке эскизов для изготовления роликовых опор для сварки труб при вращении их вручную с соответствующими элементами конструкции «Труба в сборе». На рис. 3, *а* и *б* показаны эскизы схем размещения осей отверстий в стенках роликовых опор и другие размеры, необходимые для изготовления деталей и сборки роликовых опор.



а б

Рис. 5. Схемы роликовой опоры. а – для трубы диаметром 75 мм; б – для трубы диаметром 50 мм

Заключение

1. Проведен анализ состояния вопроса по конструкциям механизированных устройств для сварки труб карданных валов.

2. Разработана схема упрощенного механизированного приспособления для сварки труб в условиях опытного производства.

3. В статье обоснована необходимость разработки и изготовления роликовых опор для сварки труб для опытных карданных валов.

4. Изготовлены роликовые опоры для ручного вращения трубы при сварке труб опытных карданных валов.

5. Результаты испытаний роликовых опор и полученные результаты по сварке труб с другими элементами конструкции опытного карданного вала будут представлены в следующей статье.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 15.301-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2017-07-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 124 с.

2. Сварочный вращатель (позиционер) S3D tiq, Электронный ресурс. URL. https://s3dtig.ru/products/svarochnyi-vraschatel-pozitsioner-predzakaz?ysclid=mmqha5v110548161475 (дата обращения 15.03.2026 г.)

3. Сварочный роликовый вращатель малой грузоподъемности ССК ВС-1Р». Электронный ресурс. URL. https://market.yandex.ru/card/svarochnyy-rolikovyy-vrashchatel-maloy-gruzopodyemnosti-ssk-vs-1r/101724378844?ysclid=mmqhogc34t593877648&wprid=1773502447927240- (дата обращения 15.03.2026 г.)

4. Автоматический вращатель с ЧПУ СКВ 3000 А. Электронный ресурс. URL: https://kts-32.ru/oborudovanie/ (дата обращения 15.03.2026 г.)

ИСПЫТАНИЕ РОЛИКОВЫХ ОПОР ПРИ ВРАЩЕНИИ ТРУБЫ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ ОПЫТНОГО КАРДАННОГО ВАЛА

А.В. Платонов[1], К.А. Щеглетов[1], И.А. Платонов[2], А.Д. Корнеев[1], Д.А. Макаров[1]

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт[1], Арзамасский приборостроительный завод им. П.И. Пландина[2]

В статье приведено описание операций технологического процесса изготовления роликовых опор для вращения трубы карданного вала при ее ручной сварке. Показан способ сборки одного из узлов опытного карданного с трубой посредством перемещения пиноли задней бабки токарного станка. Подобраны оптимальных рабочие режимы сварочного полуавтомата. Контроль радиального биения трубы опытного карданного вала после сварки показал положительные результаты.

Ключевые слова: изготовление роликовых опор, соединение деталей сваркой, сварочный полуавтомат, опытные сварочные швы, оптимальные режимы сварки, работоспособность роликовых опор

Работа выполнена при финансовой поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям) по Договору № 19560ГУ/2025 от 25 ноября 2025 года в рамках НИР по программе «УМНИК».

В статье «Разработка приспособления для вращения труб при сварке опытных карданных валов» при анализе существующих конструкций оборудования был упомянут «Автоматический вращатель с ЧПУ СКВ 3000А». На момент подготовки той статьи не было сведений по стоимости данного сварочного комплекса. Сейчас такие сведения имеются, по нашему запросу предприятие-изготовитель ООО «Энсет» г. Ростов на Дону предоставило сведения по цене, которая составила 2171400 руб. Показанная стоимость оборудования никоим образом нее соотносится с нашим случаем, именно, с проведением опытных работ. Такие сведения еще раз подтверждают актуальность проводимых работ по созданию собственного простейшего механизированного устройства для сварки труб.

Далее показана технология изготовления в условиях не большой мастерской роликовых опор для сварки труб карданного вала с соответствующими деталями (вилками, переходными втулками, соединительными фланцами).

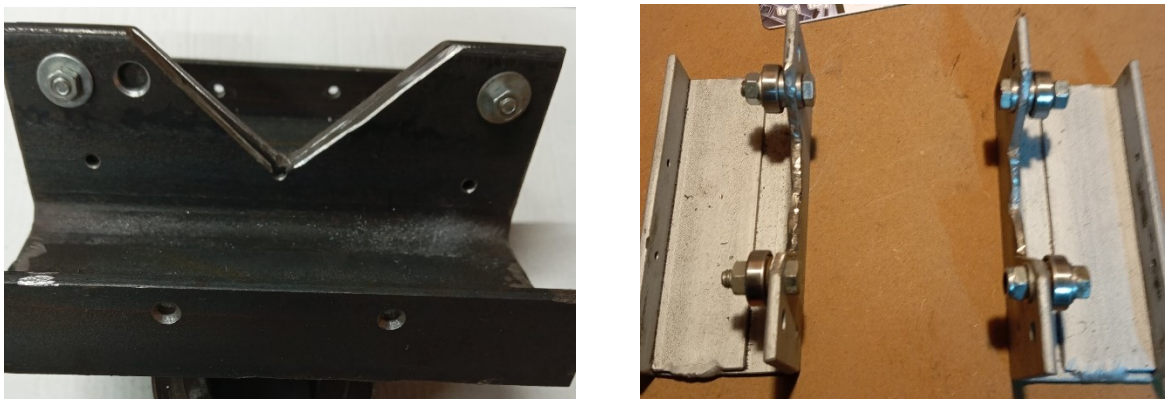
Вначале были подобраны заготовки для базовой детали. В нашем случае подходит сварное изделие в виде швеллера, предназначаемое ранее для крепления опор балок перекрытия гаражного бокса (см. рис. 1, *а*). На высокой полке заготовки выполнили разметку углового паза, закрепили заготовку в губках мощных станочных тисков [1, стр. 97] и прорезали соответствующие пазы с использованием угловой отрезной машинки «Болгарка» (см. рис. 1, *б*) [2]. Следующим важным этапом по изготовлению опорной детали для роликов является сверление специальных технологических отверстий диаметром 8 мм. Необходимость такой операции вызвана тем, что расстояния до осей отверстий под

ролики (подшипники) в стенках пары швеллеров должны иметь минимальные величины отклонений, (показано в первой статье). В эти отверстия вставляются винты М6 с шайбами и гайками, предварительно пара наших опор скрепляется (рис. 2, *а*), на специальной плите основания опор выставляются в одной плоскости и окончательно скрепляются винтами и гайками. Далее сверлятся сквозные отверстия одновременно через две стенки отверстия под винты для роликов. Сверление всех отверстий в стенках корпуса роликовой опоры производилось с использованием ступенчатого сверла [3]. Использование такого инструмента позволяет значительно сократить время на обработку отверстий. Также при таком способе сверления снижается нагрузка на режущие кромки ступеней сверла, следовательно, повышается стойкость инструмента. Пара роликовых опор в рабочем виде показана на рис. 2, *б*.



а б

Рис. 1. Подготовка роликовой опоры: а – исходная заготовка для изготовления роликовой опоры, б – вырезание углового паза в стенке заготовки



а б

Рис. 2. Подготовка роликовой опоры: а - скрепление двух заготовок болтами М6 мм с шайбами и гайками не до упора; б – комплект роликовых опор в собранном виде

Наладочные режимы, на которых производилась первая на данном сварочном полуавтомате сварка трубы опытного карданного вала, показаны на рис. 3 на лицевой панели сварочного полуавтомата [4].



Рис. 3. Панель сварочного полуавтомата, с фиксированными режимами сварки

Труба опытного карданного вала, в которую с обеих сторон методом сварки смонтированы соответствующие сборочному чертежу детали, показана на рис. 4.



Рис. 4. Готовый узел опытного карданного вала «Труба передняя», первый вариант, соединение деталей в котором произведен с использованием роликовых опор и сварочного полуавтомата

Операция запрессовки на токарном станке перемещением пиноли задней бабки детали «Фланец в сборе» в торцевое отверстие трубы (длина ее 405 мм) показан на рис. 5.

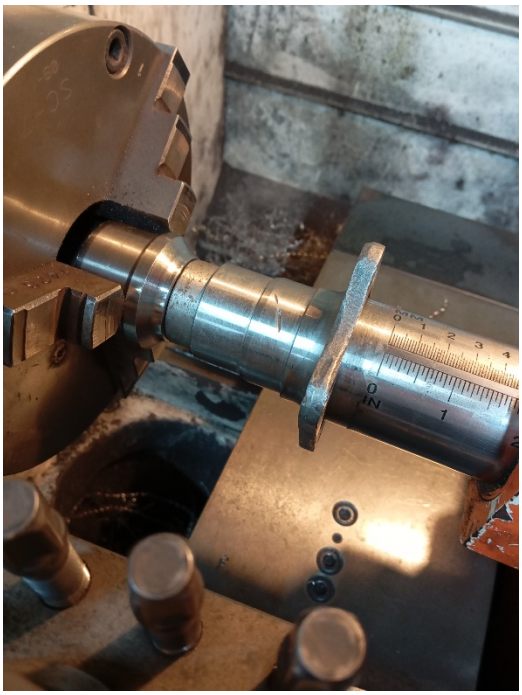
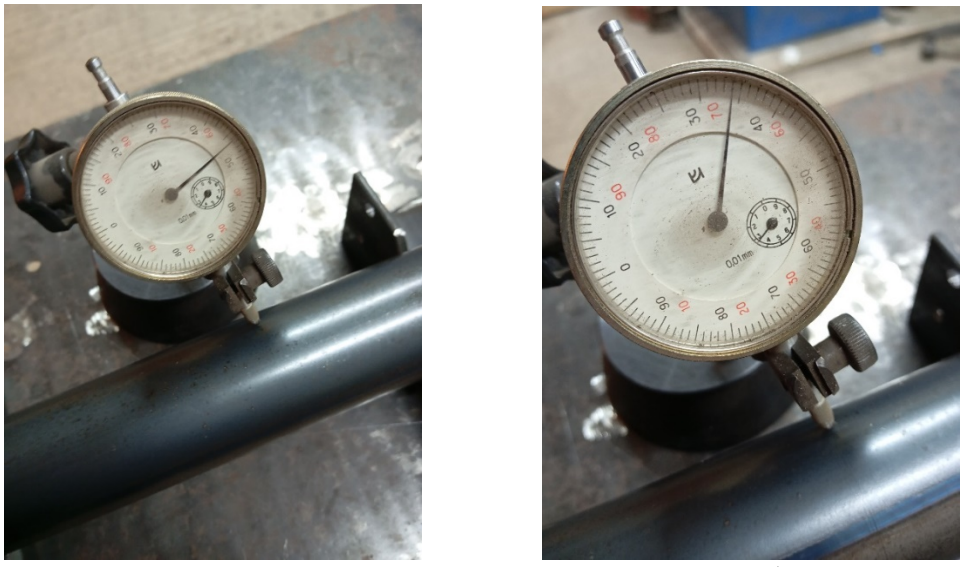


Рис. 5. Запрессовка сборочной единицы «Конец шлицевый трубный» на токарном станке

После выполнения сварки было проверено биение наружного диаметра трубы, фактическое биение составило 0.130 мкм (согласно ТУ д. б. не более 0.5 мм). Замеры производили с использованием индикатора часового типа на магнитной стойке (рис. 6) [5].



а б

Рис. 6. Проверка радиального биения трубы, установленной на роликовые опоры, индикатором часового типа, смонтированным на стойке: а – показание первое на шкале 470 мкм, б – показание второе на шкале при повороте на 180 градусов 340 мкм

Заключение

1. Представлена технология изготовления роликовых опор для сварки труб карданного вала с соответствующими деталями.

2. Изготовлен и испытан при сварке трубы с ответными деталями опытный образец роликовой опоры.

3. Положительные результаты испытаний роликовой опоры являются предпосылкой использования их в конструкции изготавливаемого опытного образца устройства для вращения трубы карданного вала при сварке.

4. Выполнена опытная работа по сварке с ручным вращением первого опытного образца трубы карданного вала, подобраны наладочные режимы сварки. Проверка радиального биения опытного образца показали положительные результаты.

5. Показан способ сборки одного из узлов опытного карданного вала с трубой посредством перемещения пиноли задней бабки токарного станка.

6. Использование в производстве карданных валов способа по п. 5 позволит повысить качество сборки.

Библиографический список

1. ***Васькин, К.Я.*** Станочные приспособления: Электронное учебное пособие / К.Я. Васькин – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. – 1 оптический диск.

2. Шлифовальная машина угловая электрическая Makita GA5030 720 Вт d 125 мм. для отрезных и шлифовальных работ. Электронный ресурс.URL https://petrovich.ru/product/166619/?from=petrovich_znaet&content=kak-vybrat (дата обращения 19.03.2026 г.).

3. Сверло ступенчатое для металла. Электронный ресурс. URL. https://mekkain.ru/St_sverlo1.jpg (дата обращения 19.03.2026 г.).

4. Сварочный полуавтомат Aurora PRO OVERMAN 200 MOSFET (MIG-MAG). Электронный ресурс. URL. https://ros-inst.ru/product/1hH8yjtKqE2G-o9eDPd3hw/svarochnyi-poluavtomat-aurora-pro-overman-200-mosfet-mig-mag?etext=2202. (Дата обращения 19.03.2026 г.).

5. Индикатор часового типа: как им пользоваться и для чего он нужен. Электронный ресурс. URL. https://www.vseinstrumenti.ru/uploads/custom/images/indikator2.1641826255.jpg (дата обращения 19.03.2026 г.).

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАКЕТА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

***И.Е. Тюльтин*[1], *А.А. Тужилкин*[2], *Д.А. Червяков*[3], *К.С. Сычев*[4]**
Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрена разработка макета антенной решетки. Вариант исполнения каркаса и обозначены дальнейшие направления исследования.

Ключевые слова: антенная решетка, логарифмическая спиральная антенна, антенный комплекс.

Целью данной работы является разработка конструкции макета антенной решетки, использующей пассивные спиральные логарифмические антенны.

Требования к разрабатываемому изделию: антенная решетка должна иметь круговой обзор пространства: по горизонтали – 360°, по вертикали – 170°, что и обеспечивает полный обзор пространствавокруг места нахождения изделия. Изделие должно в сложенном виде занимать малый объем, легко разбираться и собираться в полевых условиях.

Исходя из данного задания вытекает геометрия изделия: оно должно представлять собой полукруглый купол, состоящий из элементов, с возможностью быстрой сборки и разборки. Каждый элемент должен содержать антенну, перпендикулярную плоскости данного элемента.

В качестве принимающих элементов были выбраны антенны плоской формы. Было выделено два типа антенн – это спиральная архимедова и логарифмическая [1]. При примерно одинаковых приемопередающих свойствах указанные антенны имеют разные геометрические параметры – максимальнаядлина волны принимаемого сигнала для архимедовой антенны определяет ее радиус, а для логарифмической – длину плеча, что позволяет сделать ее более компактной. Как следствие, в качестве принимающего элемента была выбрана логарифмическая спиральная антенна. Внешний вид антенны представлен на рис. 1.



Рис. 1. Логарифмическая спиральная антенна

Длина плеча антенны соответствует максимальной длине волны принимаемого сигнала. Для определения размеров антенны, ее геометрии и соответствующих размеров элементов каркаса, был произведен анализ требуемого частотного диапазона. В ходе анализа был определен диапазоны частот от 2,4-5,8 ГГц [4], что соответствует длинам волны 125-52 мм. Для корректной работы антенны в заданном диапазоне должно соблюдаться следующие условие: длина плеча антенны должна быть не менее половины длины волны самой низкой частоты.

Расчет параметров антенн проведен, согласно [1]:

$$R_1 = R_0 \exp(a\varphi) \tag{1}$$

$$R_2 = (R_0 - w_0)\exp(a\varphi) = R_0 \exp(a(\varphi - \delta)) = R_0 \exp(a\varphi)\exp(-a\delta) \tag{2}$$

$$L = \sqrt{\frac{1}{a^2} + 1}(R_{\max} - R_0) = (1 \div 1.5)\lambda_{\max} \tag{3}$$

где φ – угол поворота векторов R1, R2; R1 – радиус внешней образующей плеча спирали; R2 – радиус внутренней образующей плеча спирали; R0 – радиус внешней образующей плеча спирали в районе точек питания; w_0 – ширина проводника спирали в районе точек питания; a – коэффициент плотности навивки спирали; δ – угол сдвига внешней образующей плеча спирали относительно внутренней образующей; L – длина плеча спирали.

Расчетные параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1

Геометрические параметры антенны

a	φ_{max}, рад	R_0, мм	W_0, мм	R_1, мм	R_2, мм	L, мм
0,15	16,9646	5,5	1,0	70,07	57,33	435,256

Вид рассчитанной геометрии антенны приведен на рис. 2.



Рис. 2. Форма рассчитанной логарифмической спиральной антенны

Для определения приемопередающих параметров рассчитаем диаграмму направленности единичной антенны. Расчет параметров проведем согласно [1]:

$$F(\Theta) = \frac{\cos\Theta \operatorname{tg}\frac{\Theta}{2} e^{\frac{1}{a}\operatorname{arctg}(a\cos\Theta)}}{\sin\Theta\sqrt{1+(a\cos\Theta)^2}} \sqrt{\cos^2\beta + \sin^2\beta}\,, \quad (4)$$

где β – параметр, вычисляемый по выражению (5):

$$\beta = \Psi(\Theta) + \varphi + \frac{\pi}{2}\,, \quad (5)$$

$\Psi(\Theta)$ – функция, определяемая по выражению

(6): $$\Psi(\Theta) = \frac{n}{2a}\ln(1+a^2\cos^2\Theta) + arctg(a\cos\Theta) \quad (6)$$

φ – угол поворота векторообразующей плеча спирали;
a– коэффициент плотности навивки спирали;
Θ – угол поворота направления ДН.

Исходными данными для расчета являются геометрические параметры антенны, представленные в табл.1. Данная антенна является частотно независимой [1, 2], поэтому на всех рабочих диапазонах диаграмма направленности остается неизменной, как следствие, и длина волны в расчетах не учитывается.

Для расчета ДН используем программу MathCAD. Результат расчета ДН представлен на рис. 3.

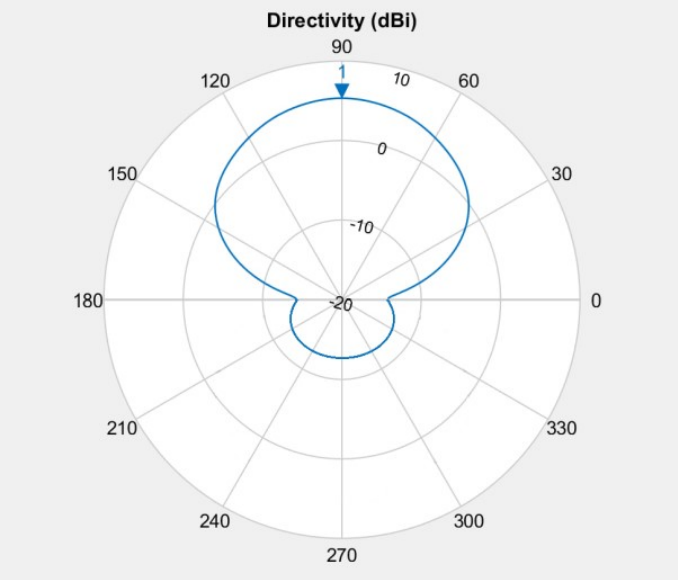


Рис. 3. Диаграмма направленности антенны

Ширина основного лепестка ДН по уровню 0,707 амплитуды $2\Theta_{0,5}$ составляет 62°.

Исходя из расчетных параметров геометрии антенны, определяется размер единичного элемента антенной решетки. Единичный элемент представляет

собой равносторонний треугольник. Согласно ранее рассчитанным размерам антенны, сторона треугольника должна составлять не менее 234 мм.

Исходя из размеров единичного элемента рассчитываются габаритные размерынесущего каркаса. Диаметр полусферы составляет порядка 990 мм, а высота – 495 мм, что позволяет установить около 40 антенных элементов.

В программе SolidWorks была разработана 3D-модель несущего каркаса антенной решетки, представленная на рис. 4. Каркас представляет собой полусферу, составленную из треугольников с посадочными местами под антенные элементы. Данное конструктивное решение позволяет повысить количество устанавливаемых антенных элементов.

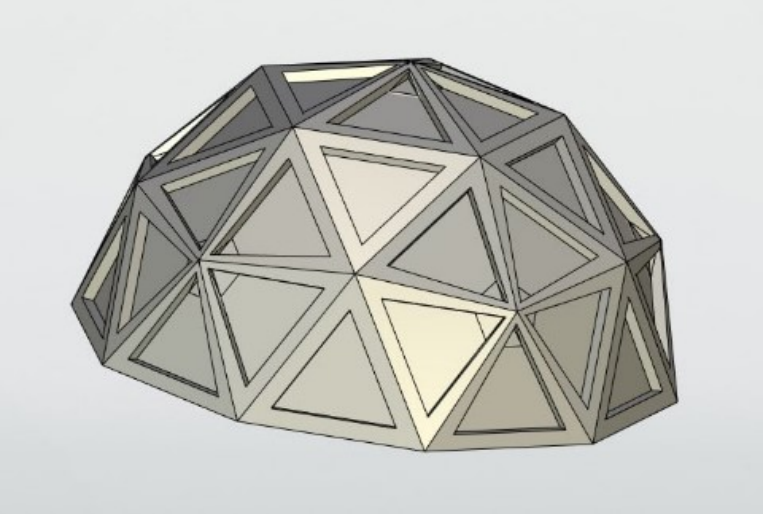


Рис. 4. Модель несущего каркаса

В данной работе был проведен расчет геометрических параметров антенного элемента, получена его диаграмма направленности, а также создана 3D-модель несущего каркаса антенной решетки. В будущем планируется изготовление опытного образца антенного элемента для подтверждения расчетных параметров, а также изготовления макета антенной решетки в сборе.

Библиографический список

1. Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапазонных антенн и фидерных устройств [Текст] / М. С. Жук, Ю. Б. Молочков. - М. : Энергия, 1973. - 439 с.
2. Устройства СВЧ и антенны / Под ред. Д.И. Воскресенского. Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Радиотехника, 2006. - 376 с.
3. ***Свердлов, Р. В.*** Разработка направленных антенн для пользовательской GSM- аппаратуры / Р. В. Свердлов // Перспективные технологии в средствах передачи информации - ПТСПИ-2017 : Материалы 12-ой международной научно - технической конференции, в 2-х томах, Суздаль, 05–07 июля 2017 года. Том 2. – Суздаль: Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2017. – С. 183-186.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ УРОВНЯ ПУЛЬСАЦИЙ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Е.В. Шелудько
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

Статья посвящена разработке измерителя уровня пульсаций искусственного освещения для контроля коэффициента пульсации светоизлучающих приборов. В работе обоснована актуальность задачи, описаны ключевые компоненты устройства. Представлены структурная и принципиальная схемы, раскрыты принципы и алгоритм работы основных модулей и прибора в целом. Также приведена трехмерная модель печатного узла измерительного модуля.

Ключевые слова: искусственное освещение, измеритель уровня пульсаций, датчик освещенности, микроконтроллер, структурная схема, печатный узел.

Естественные источники света характеризуются равномерным излучением, в то время как многие искусственные источники – включая различного типа лампы и экраны мониторов – генерируют световой поток с пульсациями. Параметры таких пульсаций (частота и коэффициент пульсации) варьируются в зависимости от типа источника, схемы питания и особенностей конструкции. При частоте 50 Гц и коэффициенте пульсации свыше 50 % мерцание становится визуально заметным: оно вызывает дискомфорт, зрительное утомление и может провоцировать головные боли [1].

Современные исследования подтверждают, что органы зрения и центральная нервная система способны воспринимать пульсации светового потока с частотой до 300 Гц даже если они не фиксируются сознанием. Воздействие таких пульсаций может влиять на гормональный фон, что опосредованно сказывается на эмоциональном состоянии, работоспособности и циркадных ритмах человека. При этом пульсации с частотой выше 300 Гц не оказывают значимого влияния на организм: они не воспринимаются сетчаткой глаза и не запускают физиологических реакций [2].

Учитывая значительное влияние качества освещения и изображения на экранах мониторов и телевизоров на здоровье человека, контроль коэффициента пульсации светоизлучающих приборов становится важной задачей. Этот параметр напрямую связан с комфортом зрения, работоспособностью и общим самочувствием. Однако на рынке практически отсутствуют доступные приборы для измерения коэффициента пульсации, что делает разработку измерителя уровня пульсаций искусственного освещения актуальной инженерной задачей.

Обобщенная структурная схема измерителя уровня пульсаций искусственного освещения представлена на рис. 1. Работа измерителя складывается из нескольких основных этапов. Первоначально датчик освещенности регистрирует уровень освещенности и фиксирует пульсации света, преобразуя оптические данные в электрический сигнал. Этот сигнал поступает на микроконтроллер, который выполняет оцифровку, анализ данных и вычисляет уровень пульсаций

в соответствии с методикой расчета приведенной в ГОСТ Р 54945-2012. Полученные результаты измерений передаются на OLED-дисплей, где отображаются для пользователя. Автономную работу схемы обеспечивает аккумулятор, состояние которого контролирует встроенный контроллер заряда. Контроллер осуществляет безопасную зарядку аккумулятора при подключении устройства к внешнему источнику питания с напряжением +9 В.

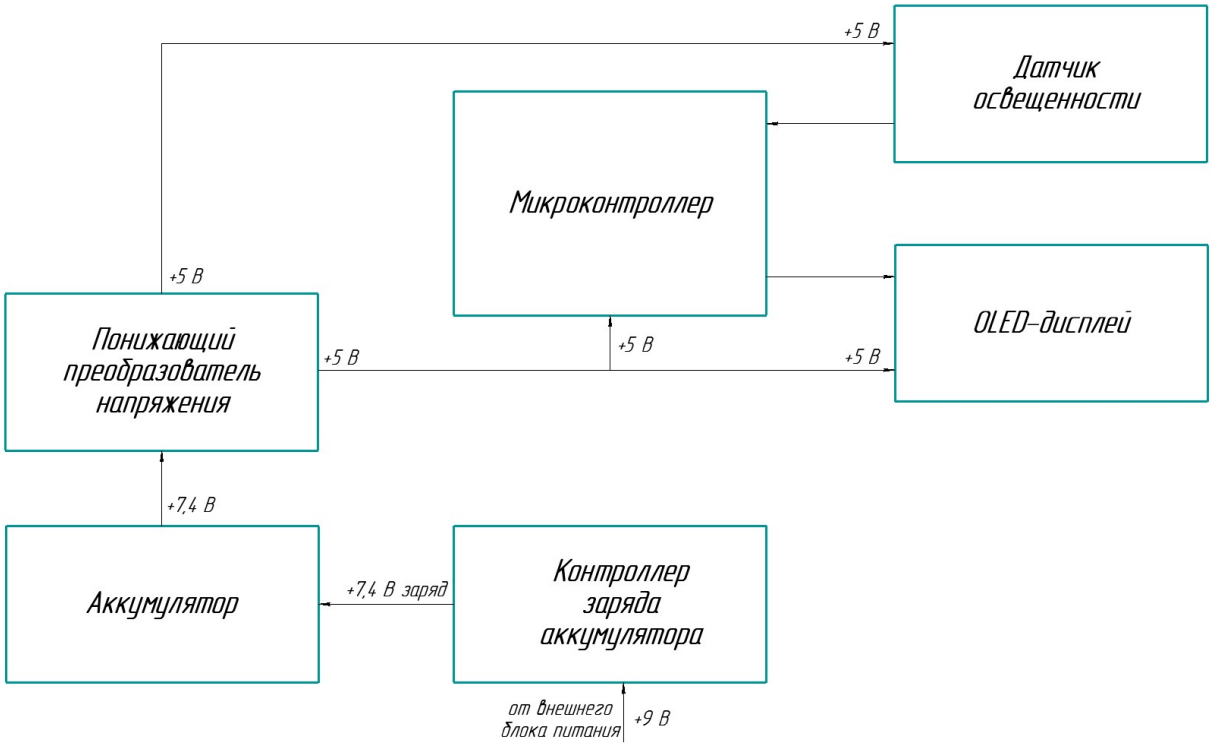


Рис. 1. Структурная схема измерителя уровня пульсаций искусственного освещения

На рис. 2. приведена схема электрическая принципиальная устройства измерения уровня пульсаций

В проекте использован датчик освещенности TEMT6000 (модуль A1). Благодаря своей высокой скорости реакции он позволяет фиксировать быстрые изменения яркости (в т.ч. пульсации с частотой до 800 Гц). Датчик работает при напряжении питания 5 В, угол чувствительности составляет ±60°, спектральный диапазон датчика составляет от 440 нм до 800 нм с пиком чувствительности на 570 нм, что соответствует максимальной чувствительности человеческого глаза.

Датчик содержит кремниевый фототранзистор. Ток коллектора пропорционален интенсивности света, он преобразуется в напряжение с помощью встроенного нагрузочного резистора, которое в свою очередь считывается с помощью встроенного АЦП микроконтроллера.

Для индикации параметров освещенности схема содержит OLED-дисплей HG1 – SSD1306. Данный дисплей является компактным, обладает низким энергопотреблением и хорошей читаемостью данных. Дисплей имеет разрешение 128×64 пикселя и позволяет одновременно отображать такие параметры как: минимальный и максимальный коэффициент пульсаций, часто-

ту пульсаций и уровень заряда аккумулятора. Дисплей взаимодействует с микроконтроллером через интерфейс I²C.

Через разъем X5 осуществляется загрузка управляющей программы микроконтроллера D1. Кнопка SA1 обнуляет измеренные данные.

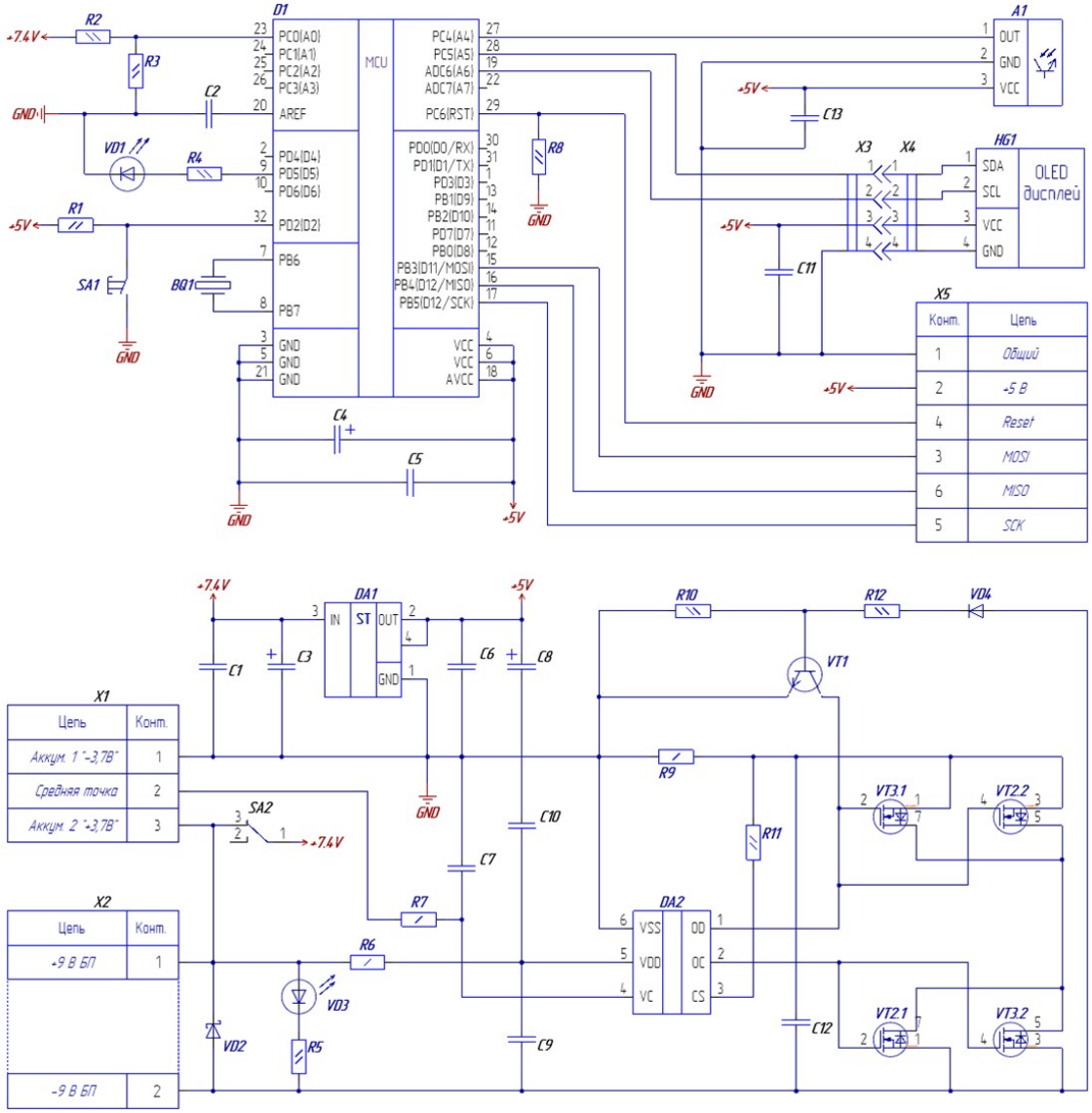


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная

Сдвоенный аккумулятор (2 Li-Ion аккумулятора типоразмера AA) подключаются через разъем X1 и питают схему напряжением 7,4 В. Включение устройства осуществляется переключателем SA2.

Для питания основной части схемы, с помощью понижающего преобразователя DA 1 и фильтрующих конденсаторов C1, C3, C6, C8, формируется напряжение +5 В.

Контроллер заряда аккумулятора выполнен по типовой схеме включения микросхемы DA2 (HY2120-CB). Такое решение гарантирует безопасный процесс заряда сдвоенного аккумулятора с номинальным напряжением отдельной ячейки 3,7 В.

Индикация подключения зарядного устройства осуществляется посредством светодиода VD3.

Трехмерная модель печатного узла (ПУ) измерителя пульсаций представлена на рис. 3. На ПУ размещены все основные функциональные узлы за исключением аккумулятора и OLED-дисплея. Это обусловлено увеличением плотности компоновки блока, а также упрощением последующего обслуживания и ремонта.

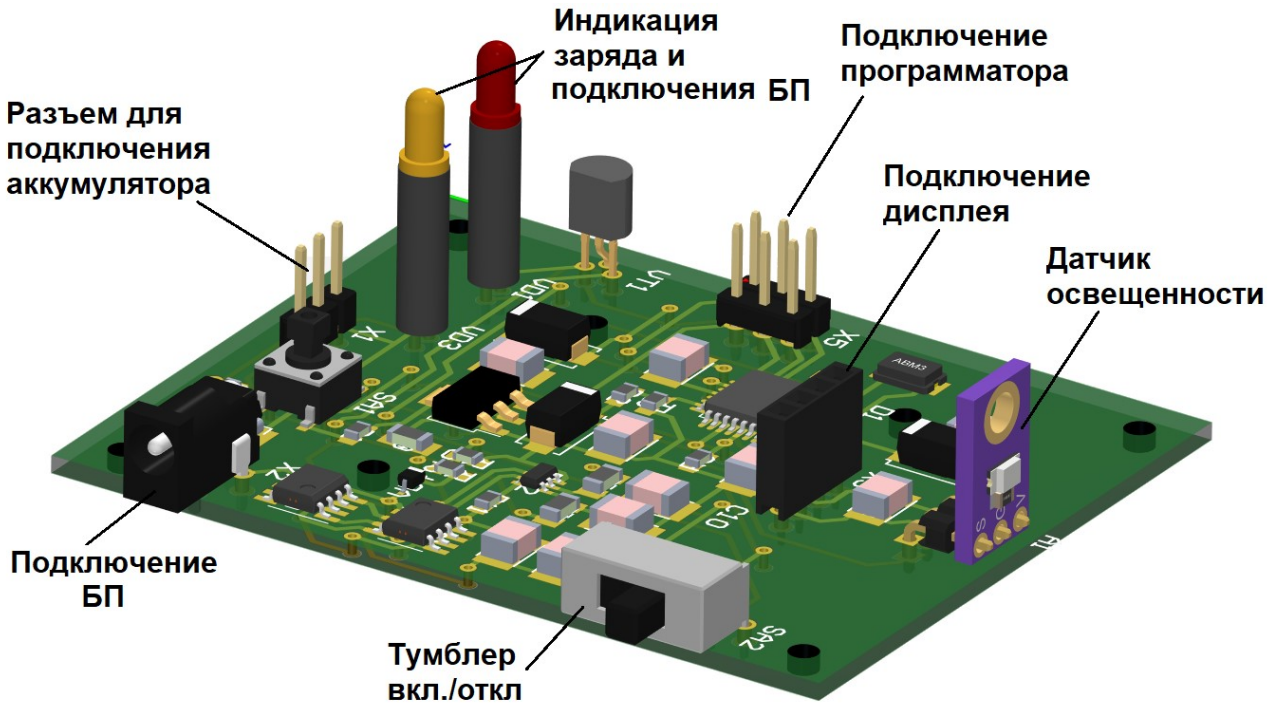


Рис. 3. Модуль измерения

Дальнейшая работа предполагает разработку конструкции блока измерителя уровня пульсаций в виде портативного карманного устройства, написание программного обеспечения для микроконтроллера, изготовление и отладку макетного образца.

Библиографический список

1. ***Менумеров, Р.М.*** Пульсация освещенности как негативный фактор световой среды // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 16(68). С. 149-152.
2. ***Харари, Ф.*** Влияние мерцания экранов на когнитивные функции и биоэлектрическую активность мозга / Ф. Харари, А.Я. Каплан // Физиология человека. – 2019. – Т. 45, № 2. – С. 67-74.
3. ***Лопаткин, А.*** Проектирование печатных плат в Altium Designer. – ДМК Пресс, 2016. – 400 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОСТАНЦИИ

М.А. Щербакова
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрено использование цифровых технологий в радиосвязи на предприятиях с диспетчерским управлением технологическим процессом производства, передачи энергоносителей. Рассмотрены преимущества цифровой радиосвязи DMR (digital mobile radio) перед аналоговой. Выделены некоторые недостатки и предложены варианты их решения.

Ключевые слова: цифровая радиосвязь, запись диспетчерских переговоров, устройства согласования

Современные энергетические и нефтегазовыепредприятия оборудованы диспетчерскими пунктами с системой коллективного отображения информации, внедрена автоматизированная система диспетчерского управления объектами. Это улучшило подконтрольность и позволило применить единый подход к функционированию диспетчерских служб во всей отрасли.

Рассмотрим применение цифровой радиосвязи на предприятии.

Использование цифровой системы радиосвязи на предприятии дает много плюсов, а именно:

- увеличение зоны покрытия, цифровые сигналы увеличивают эффективную зону покрытия (рис.1);
- увеличение пропускной способности на существующих каналах с полосой 12,5 кГц в два раза;
- улучшенное качество передачи голоса за счет цифровой обработки сигнала;
- возможность оцифровывать лишь ключевые элементы речи, исключая посторонние звуки;
- разные типы вызовов: можно совершать индивидуальные вызовы, групповые на радиостанции нескольких выбранных абонентов или общие;
- цифровое шифрование речи, стандарт DMR подразумевает защиту переговоров цифровым шифрованием, которое надежнее аналогового;
- оптимизация энергопотребления абонентского терминала за счет технологии двух слотового TDMA;
- использование режима «сна» и технологий управления энергопотреблением;
- возможность адаптации системы под задачи любой сложности, от простых решений до масштабных проектов с тысячами пользователей.

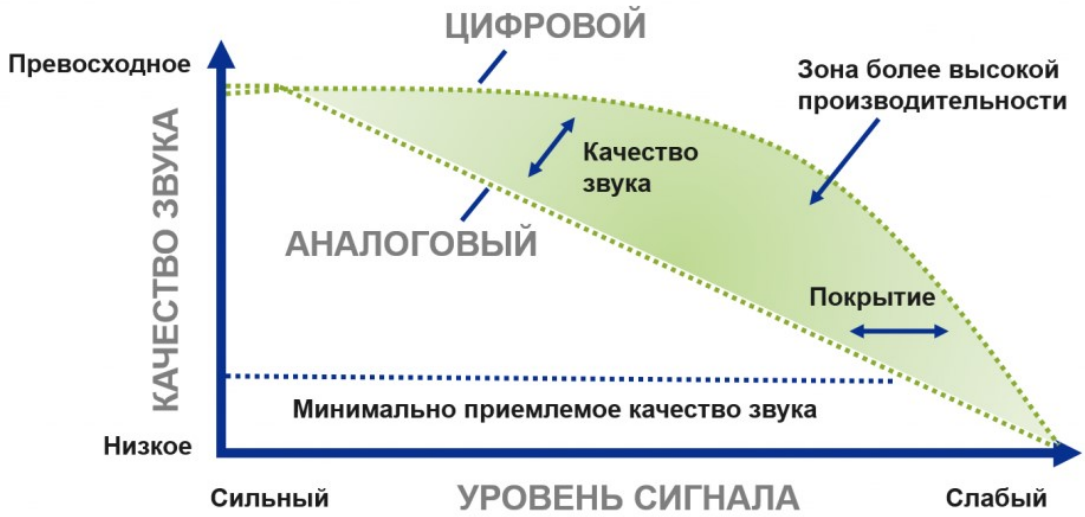


Рис.1. Сравнение качества звука, относительно уровня сигнала для аналогового и цифрового звука

Стандарт DMR делится на три уровня (Tier), каждый из которых соответствует определенному классу применения и функциональности:

1. Tier I, базовый, безлицензионный уровень;

2. Tier II, лицензионная конвенциональная радиосвязь с возможностью использования ретрансляторов, индивидуальными вызовами, передачей данных;

3. Tier III, лицензионные транкинговые системы с динамическим распределением каналов, централизованным управлением и масштабируемостью.[1]

Рассмотрим уровень Tier II, как наиболее распространенный и более дешевый по сравнению с Tier III. Есть несколько фирм производителей данных систем:

1. Система подвижной радиосвязи ХАЙТЕРУС, г. Ижевск.

2. Системы на базе Радиус-IP, ООО «Элком+» г. Томск.

3. Система цифровой радиосвязи ИНТРАНК МС, ООО "ЛЕО ТЕЛЕКОМ" г. Москва.

4. Системы Hytera, ООО Компания «НЕМАН» г. Новосибирск.

5. Системы на базе «Волновая сеть», ООО «Цифровые Системы Радиосвязи», г. Москва.

6. Система MotoTRBO, компании Motorola, прекратившая работу на территории России в 2022 году.

Все эти системы работают по клиент-серверной архитектуре, это означает что диспетчер (оператор) со своего рабочего места должен подключиться к серверу, через клиентское программное обеспечение. Количество подключений строго ограничивается лицензией.

В каждой такой системе есть каналы связи Ethernet, они подключают каждый ретранслятор к серверу. Количество подключений строго ограничивается лицензией.

Желание лицензировать каждый параметр системы сковывает ее развитие. Увеличение подключений, требует дополнительных денежных вливаний, а если полученный в результате функционал будет работать на 10-20%, то на лицо не эффективная трата денежных ресурсов.

Из большого количества функций, реализованных и продаваемых через лицензию, рассмотрим один – звукозапись.

Данная функция идет вместе с другими, нужными для оператора (диспетчера) системы и совершенно не нужными контролирующим переговоры оператора (диспетчера) инженерам по охране труда, главному инженеру участка, другим контролирующим лицам. Устанавливать им полный функционал системы будет не эффективной тратой денежных ресурсов.

Вторая проблема, это утеря пакетных данных в сетях, основанных на протоколах IP, обычное и ожидаемое явление. Для передачи голосовых импульсов вовремя, система связи между ретрансляторами с протоколом IP не может использовать надежный механизм передачи (т.е. подтвержденные пакеты), поэтому при построении и выборе специальных сетей необходимо сохранять утерю пакетов. Значение требуемой ширины полосы пропускания канала связи играет важную роль, если используются низкоскоростной канал провайдера или канал спутниковой связи, то велики шансы потери части голосового трафика либо его полное прекращение [1].

Рассмотрим вариант решения данных проблем с использованием цифрового аудио регистратора «MDL2», он предназначен для записи, хранения и анализа накопленной аудио информации, полученной от различных источников сигнала, таких как: телефонная линия, линейные выходы различных устройств, микрофоны и другие. Доступ к находящейся в них информации может осуществляться как дистанционно, посредством проводной и беспроводной сети, так и локально, при непосредственном подключении к персональному компьютеру.

Основные преимущества применения регистраторов серии «MDL2», по сравнению с типовыми моделями, представленными на рынке:

- работа без компьютера;
- простота установки и эксплуатации;
- малые габариты и потребляемая мощность;
- большой диапазон электропитания, подключение аккумулятора;
- бесшумность;
- скоростной доступ к данным 100 Мбит;
- высокоемкостной гибридный накопитель повышенной надежности;
- встроенный аудио архив на длительный срок;
- мощный сигнальный процессор для аудио обработки, компандерная обработка звука для выравнивания громкости сильных и слабых сигналов;
- расширенный динамический и частотный диапазон, фантомное питание
- полностью электронные регулировки и настройки всех параметров;
- подключение внешних сетевых дисков больших емкостей позволяющее организовать централизованное хранилище данных с использованием гигабит Ethernet или RAID-массивов и периодически, по мере поступления или по рас-

писанию, используя только встроенное ПО регистратора, сбрасывать накопленную информацию по локальной сети или через Интернет;

- защита данных от несанкционированного доступа, кодированиеконтента, защищенные сетевые протоколы HTTPS, FTPS;
- WEB интерфейс для доступа, открытые сетевые протоколы, независимость от типа ОС и ПК;
- E-mail нотификация важных событий;
- возможность быстрой модернизации изменением прошивки.
- интеграция в локальную сеть предприятия, подключение к беспроводным Wi-Fi сетям и к сети Интернет.
- удаленный доступ и аудио-мониторинг в реальном времени [3].

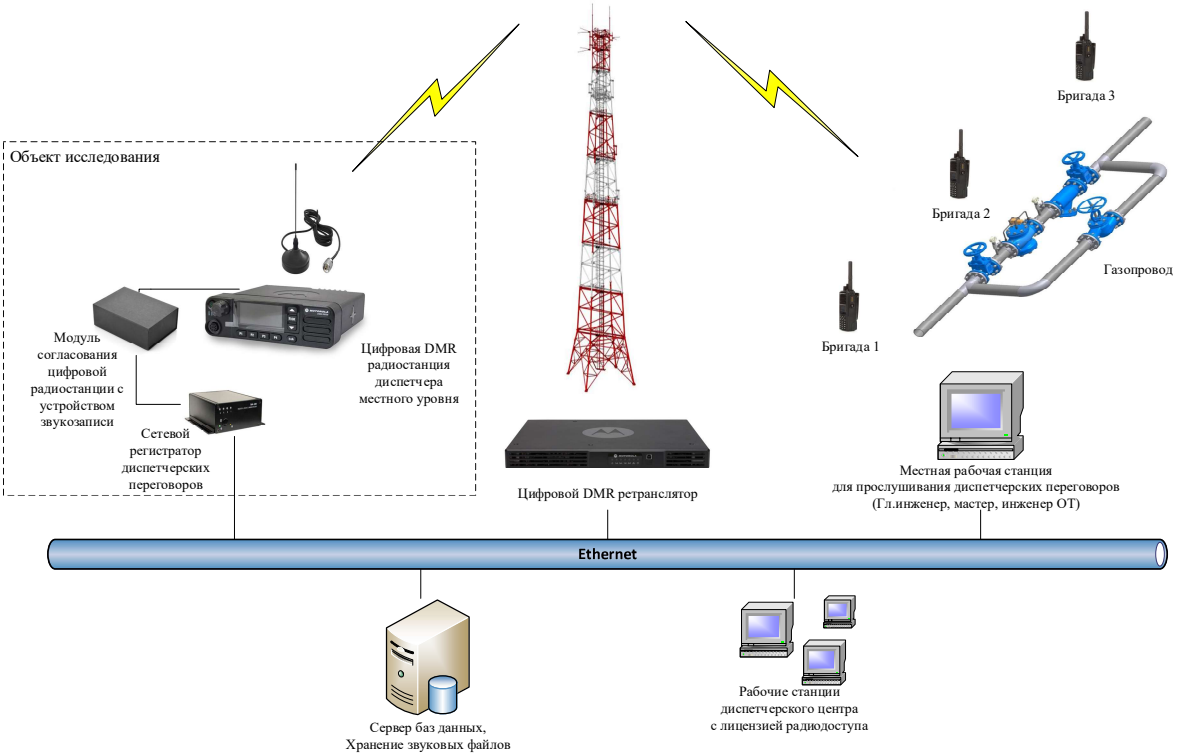


Рис. 2. Схема доступа к аудиоданным

На рис.2 показан объект исследования, в него входит конкретное оборудование, используемое на предприятии. В отношении других типов, исследование показало, что данные решения применимы и к ним [2].

В основе предлагаемого решения проблемы записи и прослушивания диспетчерских переговоров, лежит разработка модуля согласования цифровой радиостанции и цифрового аудио регистратора. В этом случае на каждом региональном диспетчерским пунктом будет возможность оперативно прослушать имеющиеся переговоры. Уже не требуются дополнительные лицензии для подключения клиентов к серверу, всегда есть доступ к аудиоинформации, с микрофона радиостанции сразу все пишется на жесткий диск цифрового аудио регистратора. В случаях использования прямых каналов (без использования ретранслятора) все разговоры будут записаны цифровым аудио регистратором.

Библиографический список

1. «Professionaldigitaltwo-wayradiosystem MOTOTRBO™ systemplaner, 2012.
2. «Руководство диспетчера Radiusip». Настоящий документ описывает продукт, разработанный ООО «Элком+». Официальный веб-сайт продукта - elcomplus.ru/ru/service/dmr-sistemy-radius-ip/.
3. «MDL2-4N-02/03 Руководство по эксплуатации ЦТКД 256 РЭ». Закрытое акционерное общество «ЭЛЕКТОН» Россия, 600910, ЗАТО г. Радужный, Владимирская обл., а/я 77, ЗАО "ЭЛЕКТОН" Тел./факс: (49254) 3-11-99 (секретарь). Техническая поддержка изделия, E-mail: support@digiolog.ru , www.digiolog.ru. Загрузка обновлений: http://www.digiolog.ru/download.htm.

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ ПЛАСТИНЧАТОГО РЕКУПЕРАТОРА ЛОКАЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

С.В. Юнюшкин[1], А. А. Авдеева[2]

[1] Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

[2] Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

В статье рассмотрено обоснование выбора материалов теплообменных пластин для пластинчатого рекуператора, применяемого в локальных системах вентиляции мастерских и малых производственных помещений. Проведен сравнительный анализ алюминия, меди, оцинкованной и нержавеющей стали, а также поликарбоната по основным физико-техническим характеристикам: теплопроводности, массе, коррозионной стойкости, технологичности изготовления и стоимости. Показано влияние свойств материалов на эффективность теплообмена и область их практического применения при проектировании компактных рекуператоров.

Ключевые слова: рекуперация тепла; пластинчатый рекуператор; теплообменник; материалы теплообменных пластин; теплопроводность; локальная вентиляция.

В условиях повышения требований к энергетической эффективности зданий и производственных помещений особое внимание уделяется снижению тепловых потерь через системы вентиляции. При работе приточно-вытяжной вентиляции значительная часть тепловой энергии удаляется вместе с вытяжным воздухом. Для небольших производственных помещений, мастерских, лабораторий и учебных инженерных центров такие потери могут составлять существенную долю общего теплового баланса здания.

Одним из наиболее эффективных способов уменьшения теплопотерь является использование рекуперации тепла удаляемого воздуха. В таких системах часть тепловой энергии передается приточному воздуху через теплообменное устройство – рекуператор. Это позволяет снизить нагрузку на систему отопления и уменьшить эксплуатационные расходы [1,2].

Для локальных вентиляционных систем малых помещений наиболее часто применяются пластинчатые рекуператоры [3]. Данные устройства представляют собой пакет тонких пластин, между которыми образуются каналы для движения приточного и вытяжного воздуха. Потоки воздуха движутся по соседним каналам и разделены тонкой перегородкой, через которую осуществляется теплопередача.

Преимуществами пластинчатых рекуператоров являются:

- отсутствие подвижных элементов;
- простота конструкции;
- сравнительно низкая стоимость;
- высокая надежность эксплуатации;
- отсутствие смешивания воздушных потоков.

Эффективность работы такого теплообменника во многом определяется параметрами теплообменных пластин, среди которых ключевую роль играет материал. Материал теплообменных пластин оказывает влияние сразу на несколько характеристик устройства: интенсивность теплопередачи; массу конструкции; устойчивость к коррозии; долговечность; стоимость изготовления.

Поэтому выбор материала является одним из важных этапов проектирования рекуператора.

Основным физическим параметром, определяющим способность материала передавать тепло, является коэффициент теплопроводности. Чем выше теплопроводность, тем меньше температурный перепад внутри пластины и тем эффективнее происходит передача тепловой энергии между воздушными потоками [4].

Процесс теплопередачи через пластину можно описать законом теплопроводности [5]:

$$Q = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{\delta}, \quad (1)$$

где Q – тепловой поток, Вт; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К); A – площадь поверхности теплообмена, м²; ΔT – разность температур между потоками воздуха, К; δ – толщина пластины, м.

Из данной зависимости видно, что тепловой поток прямо пропорционален коэффициенту теплопроводности материала. Однако в реальных теплообменниках эффективность определяется не только теплопроводностью материала, но и совокупным тепловым сопротивлением конструкции.

Полное сопротивление теплопередаче в пластинчатом теплообменнике складывается из трех составляющих [5]:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (2)$$

где k – общий коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); α_1 – коэффициент теплоотдачи со стороны вытяжного воздуха, Вт/(м²·К); α_2 – коэффициент теплоотдачи со стороны приточного воздуха, Вт/(м²·К).

Данная формула показывает, что тепловое сопротивление состоит из трех частей:

– сопротивление конвективного теплообмена со стороны первого потока воздуха;

– сопротивление теплопроводности материала пластины;

– сопротивление теплообмена со стороны второго потока.

Для металлических пластин, обладающих высокой теплопроводностью, величина δ/λ оказывается очень небольшой. В этом случае основное сопротивление создается пограничными слоями воздуха, а влияние материала на эффективность теплообмена становится менее значительным.

Однако при использовании материалов с низкой теплопроводностью тепловое сопротивление пластины начинает играть заметную роль и может существенно снижать эффективность рекуперации.

Помимо теплопроводности к материалам теплообменных пластин предъявляется ряд других требований, перечислим основные.

1. Высокая теплопроводность. Материал должен эффективно передавать тепло между потоками воздуха.

2. Коррозионная стойкость. В процессе работы рекуператора на поверхности пластин может образовываться конденсат. Поэтому материал должен быть устойчив к воздействию влаги.

3. Механическая прочность. Пластины имеют небольшую толщину (обычно 0,1-0,5 мм), поэтому материал должен сохранять прочность при малой толщине.

4. Технологичность обработки. Материал должен допускать штамповку, гибку или формование для создания каналов теплообменника.

5. Экономическая доступность. Стоимость материала напрямую влияет на стоимость вентиляционной установки.

В рамках данного исследования рассматриваются пять материалов, которые потенциально могут использоваться для изготовления теплообменных пластин: алюминий; оцинкованная сталь; нержавеющая сталь; медь; поликарбонат.

Эти материалы существенно различаются по своим теплофизическим и эксплуатационным характеристикам.

Далее в табл. 1 приведены основные свойства рассматриваемых материалов.

Таблица 1

Основные физические свойства материалов теплообменных пластин

Материал	**Теплопроводность λ, Вт/(м·К)**	**Плотность, кг/м³**	**Коррозионная стойкость**	**Относительная стоимость**
Медь	380–400	~8900	высокая	очень высокая
Алюминий	200–220	~2700	высокая	средняя
Оцинкованная сталь	45–60	~7850	средняя	низкая
Нержавеющая сталь	14–17	~7900	очень высокая	высокая
Поликарбонат	0,19–0,22	~1200	очень высокая	низкая

Анализ приведенных данных показывает, что наибольшей теплопроводностью обладает медь. Этот материал широко применяется в теплообменной технике, особенно в холодильных установках и системах кондиционирования воздуха. Высокая теплопроводность меди обеспечивает минимальное тепловое сопротивление пластины и способствует эффективной передаче тепла.

Однако медь имеет ряд ограничений. Основными из них являются высокая стоимость и значительная плотность. Это приводит к увеличению массы теплообменника и удорожанию конструкции, что делает применение меди менее целесообразным в недорогих вентиляционных установках.

Алюминий занимает промежуточное положение между медью и стальными материалами. Он обладает высокой теплопроводностью, относительно небольшой плотностью и хорошей устойчивостью к коррозии. Благодаря этому алюминий получил широкое распространение в конструкции пластинчатых рекуператоров.

Оцинкованная сталь отличается более низкой стоимостью и высокой механической прочностью. Наличие цинкового покрытия обеспечивает защиту от коррозии, однако при повреждении защитного слоя возможно образование коррозионных очагов.

Нержавеющая сталь обладает высокой устойчивостью к влаге и агрессивным средам, что обеспечивает длительный срок службы теплообменника. Недостатками являются сравнительно низкая теплопроводность и высокая стоимость материала.

Поликарбонат относится к полимерным материалам и имеет принципиально иные свойства по сравнению с металлами. Он обладает крайне низкой теплопроводностью, но отличается малой массой, высокой ударной прочностью и полной устойчивостью к коррозии.

Использование поликарбоната в теплообменниках возможно благодаря тому, что теплопередача в рекуператоре определяется не только свойствами материала, но и площадью теплообмена и толщиной пластин. При увеличении поверхности теплообмена влияние низкой теплопроводности может частично компенсироваться.

Таким образом, каждый из рассматриваемых материалов обладает собственным набором преимуществ и ограничений. Для обоснованного выбора материала необходимо оценить не только его физические свойства, но и влияние на эффективность работы рекуператора.

Для оценки влияния материала на эффективность пластинчатого рекуператора необходимо проанализировать вклад теплового сопротивления пластины в общий процесс теплопередачи.

Выполним сравнительную оценку теплового сопротивления пластин из различных материалов. Предположим, что толщина пластины составляет:

$$\delta=0{,}0003,$$

м=0,3 мм.

Тепловое сопротивление пластины определяется выражением:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}. \quad (3)$$

Вычислим значения для рассматриваемых материалов. Полученные результаты показывают, что тепловое сопротивление металлических пластин на несколько порядков меньше сопротивления поликарбоната (табл. 2).

Таблица 2

Тепловое сопротивление пластин из различных материалов

Материал	**Теплопроводность λ, Вт/(м·К)**	**Толщина пластины δ, м**	**Тепловое сопротивление δ/λ**
Медь	390	0,0003	0,00000077
Алюминий	205	0,0003	0,00000146
Оцинкованная сталь	50	0,0003	0,000006
Нержавеющая сталь	16	0,0003	0,0000187
Поликарбонат	0,2	0,0003	0,0015

Однако для полного анализа необходимо сравнить эти значения с сопротивлением теплообмена воздуха. Для вентиляционных теплообменников коэффициенты теплоотдачи обычно находятся в диапазоне:

$$\alpha=20–40 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Если принять средний коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha=30 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Тогда сопротивление конвективного теплообмена составит:

$$\frac{1}{R_{\text{возд}}}=\frac{1}{\alpha}=0{,}033.$$

Сравнение показывает, что для металлических пластин величина теплового сопротивления материала составляет лишь небольшую долю от общего сопротивления системы. Это означает, что в таких теплообменниках ограничивающим фактором является не материал пластины, а процесс теплообмена между воздухом и поверхностью теплообменника.

Совершенно иная ситуация наблюдается при использовании поликарбоната. Тепловое сопротивление этого материала оказывается значительно выше, чем у металлов, и начинает заметно влиять на общий коэффициент теплопередачи.

Таким образом, при одинаковых геометрических параметрах рекуператора использование полимерных материалов может привести к снижению эффективности рекуперации тепла.

Рассмотрим условный пример компактного рекуператора для локальной вентиляции мастерской. Предположим следующие параметры установки:

A = 2,5 м²- площадь теплообмена,

ΔT = 30 °C - разность температур между потоками воздуха.

Для металлических теплообменников в подобных установках коэффициент теплопередачи обычно составляет:

$$k=20–30 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Примем среднее значение:

$$k=25 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$$

Тогда тепловая мощность рекуператора составит:

$$Q = 25 \cdot 2{,}5 \cdot 30 = 1875 \text{ Вт}.$$

Таким образом, рекуператор способен вернуть около 1,9 кВт тепловой энергии.

Если же использовать пластины из поликарбоната, коэффициент теплопередачи может уменьшиться приблизительно до:

$$k=12–15 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Примем значение:

$$k=14 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Тогда тепловая мощность составит:

$$Q = 14 \cdot 2{,}5 \cdot 30 = 1050 \text{ Вт}.$$

Следовательно, применение поликарбоната может привести к снижению мощности рекуператора примерно на 40-45 % при одинаковой площади теплообмена.

Однако использование полимерных материалов имеет и ряд преимуществ. Поликарбонат обладает значительно меньшей плотностью по сравнению с металлами, что позволяет существенно уменьшить массу конструкции. Кроме того, данный материал полностью устойчив к коррозии и воздействию влаги, что может быть важным фактором при эксплуатации вентиляционных систем.

В работе проведен анализ материалов, применяемых для изготовления теплообменных пластин пластинчатых рекуператоров локальных систем вентиляции. Рассмотрены теплофизические и эксплуатационные свойства пяти материалов: меди, алюминия, оцинкованной стали, нержавеющей стали и поликарбоната.

Показано, что теплопроводность материала оказывает значительное влияние на тепловое сопротивление пластины и общий коэффициент теплопередачи. Наиболее высокие показатели теплопередачи обеспечивает медь, однако ее применение ограничено высокой стоимостью и значительной массой конструкции.

Алюминий обладает оптимальным сочетанием теплопроводности, массы, коррозионной стойкости и стоимости, что делает его наиболее рациональным материалом для изготовления теплообменных пластин рекуператоров локальных вентиляционных систем.

Оцинкованная сталь может использоваться в недорогих вентиляционных установках, однако уступает алюминию по эффективности теплообмена. Нержавеющая сталь отличается высокой долговечностью, но применяется преимущественно в условиях агрессивной среды.

Поликарбонат имеет существенно более низкую теплопроводность по сравнению с металлическими материалами, что приводит к снижению эффек-

тивности рекуперации. Тем не менее, его малая масса и высокая устойчивость к коррозии могут быть преимуществом в отдельных конструкциях компактных вентиляционных установок.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании пластинчатых рекуператоров для локальных систем вентиляции мастерских, лабораторий и малых производственных помещений, где важным является поиск оптимального компромисса между тепловой эффективностью, стоимостью и эксплуатационной надежностью оборудования.

Библиографический список

1. ***Кокорин, О. Я.*** Энергоэффективные системы вентиляции зданий // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2019. – №5. – С. 18–25.
2. ***Гримитлин, М. И.*** Современные решения в области вентиляции и рекуперации тепла / М.И. Гримитлин, А.М. Гримитлин // Инженерно-строительный журнал. – 2020. – №4. – С. 52–60.
3. ***Иванов, В. К.*** Анализ эффективности пластинчатых теплообменников систем вентиляции / В.К. Иванов, А.В. Селиванов // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. – №9. – С. 1042–1050.
4. ***Богословский, В.Н.*** Отопление и вентиляция / В.Н. Богословский, А.Н. Сканави. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.
5. ***Михеев, М.А.*** Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.

4 СЕКЦИЯ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.А. Андриянов, Т.В. Емельянова, В.А. Емельянов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрены приниципр работы комплекса имитационного моделирования. Комплекс помогают моделировать движение объекта в реальных условиях.

***Ключевые слова*:** комплекс имитационного моделирования (КИМ), трактории, моделирование

Беспилотные летательные аппараты (БпЛА) находят все более широкое применение в различных сферах, в том числе в деятельности силовых структур. Их используют для выполнения специальных задач, таких как поиск и обнаружение очагов природных и техногенных аварий и катастроф. Для исследования и оптимизации процессов организации воздушного движения применяется комплекс имитационного моделирования (КИМ) – специализированный программный продукт, позволяющий проводить многовариантные расчеты с использованием технологий ускоренного моделирования. КИМ автоматизирует поддержку принятия решений по планированию и управлению воздушным движением, позволяя решать как прямую задачу (оценку эффективности принимаемых решений), так и обратную (выработку дополнительных решений для повышения эффективности на основе анализа результатов моделирования). Данная работа была написана исходя из открытых источников литературы (1-6).

Целью работы является разработка комплекса имитационного моделирования полета беспилотного летательного аппарата.

В качестве основы рассматривается бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС), оснащенная датчиками угловой скорости и акселерометрами, а также бортовой цифровой вычислительной машиной, реализующей алгоритмы управления и обработки измерительной информации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) подготовить среду реального времени;
2) выполнить настройку информационного взаимодействия между БИНС и имитаторами аппаратной части;
3) разработать пользовательский интерфейс в C++Builder2006;

4) сформировать диспетчера вызова имитационных моделей;

5) разработать структуры вывода служебной информации по результатам электронного пуска.

Термин «навигация» (от лат. navigo – «плыву на корабле») исторически означал искусство кораблевождения. В современном понимании навигация – это теория и практика управления движением объекта по заданному маршруту. В узком смысле под навигацией понимают определение текущих координат объекта, а в широком – использование этой информации для управления его движением. Автономная навигация осуществляется исключительно на основе данных, получаемых на борту объекта с помощью акселерометров, гироскопов и часов. Такой подход называется инерциальной навигацией. Основная идея метода заключается в двукратном интегрировании измеренных ускорений. Принципы инерциальной навигации базируются на фундаментальных физических законах, не зависящих от внешних условий.

Простейшее объяснение инерциальной навигации можно получить, рассмотрев движение тела по плоской поверхности под действием внешних сил. Согласно второму закону Ньютона, ускорение тела связано с приложенной силой и массой:

$$F = ma. \qquad (1)$$

Теоретически, зная приложенные к телу силы и начальные условия, можно определить его координаты путем интегрирования ускорения. Однако на практике измерить внешние силы сложно, поэтому измеряют непосредственно ускорения.

Если бы оси чувствительности акселерометров совпадали с осями навигационной системы координат, задача решалась бы простым двукратным интегрированием ускорений. На практике такое совпадение невозможно, поэтому для определения углового положения акселерометров относительно навигационной системы координат используются гироскопы. На основании изложенного можно заключить, что для инерциального определения координат местоположения объекта необходимо:

- знать информацию о начальных значениях координат (x_0, y_0) и скоростей (v_{0x}, v_{oy});
- непрерывно измерять проекции ускорения объекта с помощью акселерометров;
- определять с помощью гироскопов ориентацию осей чувствительности акселерометров относительно навигационной системы координат;
- дважды интегрировать ускорения объекта по времени.

На практике задача осложняется тем, что акселерометры измеряют не только ускорение объекта, но и влияние гравитационного поля Земли. Для исключения гравитационной составляющей применяют различные методы: например, с помощью гиростабилизированной платформы (ГСП) выравнивают оси акселерометров по горизонту. В бесплатформенных инерциальных систе-

мах функции ГСП выполняет бортовой вычислитель, что позволяет размещать датчики непосредственно на подвижном объекте.

Для разработки КИМ для конкретного изделия рекомендуется использовать шаблон UKIM. Схема шаблона представлена на рис. 1. Использование UKIM существенно повышает скорость разработки КИМ конкретного изделия, так как в шаблоне уже реализованы основные программные механизмы общие для всех КИМов.

Формирование основных параметров в процессе проведения моделирования происходит в объекте управления (математическая модель). Объект управления для каждого КИМа предоставляет, в виде набора c и .h файлов.

Перед сборкой проекта КИМ необходимо подключить файлы математической модели к проекту. В файле Union.cpp определить данные, для которых нужен общий доступ как со стороны КИМ, так и со стороны математической модели. Сюда могут входить структуры с параметрами массивов, пакеты обменов со стендом, структура с отладочной информацией для анализа работы модели, структура констант для инициализации модели.

Для корректной работы объекта управления перед началом обмена необходимо инициализировать ряд констант – описателей условий моделирования. Удобно использовать для этого форму констант UKIM (см. ниже).

Объявить вызов функции объекта управления в КИМ в соответствии с требованиями представителей (частота, режим, последовательность и т.д.).

В ходе проведланной работы был разработан комплекс имитационного моделирования и решены все поставленные цели.

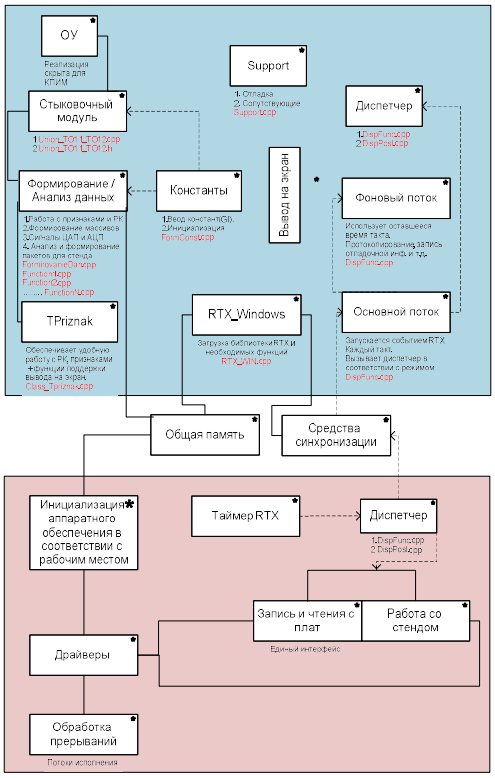


Рис. 1. Шаблон UKIM

Библиографический список

1. **Кринецкий, Е. И.** Системы самонаведения / Е. И. Кринецкий. – М. : Машиностроение, 1970. – 236 с.
2. **Лебедев, А.А.** Динамика полета беспилотных летательных аппаратов / А.А. Лебедев, Л.С. Чернобровкин. – М. : Машиностроение, 1973. – 616 с.
3. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / под ред. В.Н. Харисова, А. И. Перова, В. А. Болдина. – М. : ИПРЖР, 1998.
4. **Липкин, И. А.** Спутниковые навигационные системы / И.А. Липкин. – М. : Вузовская книга, 2001.
5. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. – Редакция 5.1. – М. : КНИЦ ВКС, 2008.
6. Interface Control Document: NAVSTAR GPS Space Segment / Navigation User Interfaces (ICD-GPS-200). – Rockwell Int. Corp., 1987.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ QT

М.С. Беляков
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрена реализация модуля цифровой фильтрации сигналов для приложения мониторинга данных с can-шины. Описана интеграция c++ класса фильтров с пользовательским интерфейсом на qml. Приведены результаты тестирования разработанной системы на реальных данных.

Ключевые слова: цифровая фильтрация, qt, qml, c++, фильтр баттерворта, скользящее среднее, обработка сигналов

В современных системах сбора и обработки данных одной из ключевых задач является подавление шумов и помех, неизбежно присутствующих в измерительных сигналах. Цифровая фильтрация позволяет эффективно решать эту задачу программными средствами без изменения аппаратной части. Целью данной работы является разработка и интеграция модуля цифровой фильтрации в приложение для мониторинга данных с CAN-шины.

На рис. 1 представлен исходный сигнал, поступающий с CAN-шины. Сигнал содержит высокочастотные шумы с амплитудой до 0.1 В и выбросы, характерные для реальных измерительных систем. Амплитуда сигнала варьируется в пределах 1.4-1.7 В, частота дискретизации составляет 1 кГц. Такой сигнал характерен для реальных промышленных систем сбора данных, где на полезный сигнал всегда накладываются шумы различной природы: электромагнитные наводки, шумы квантования, помехи от работы соседних устройств [1].

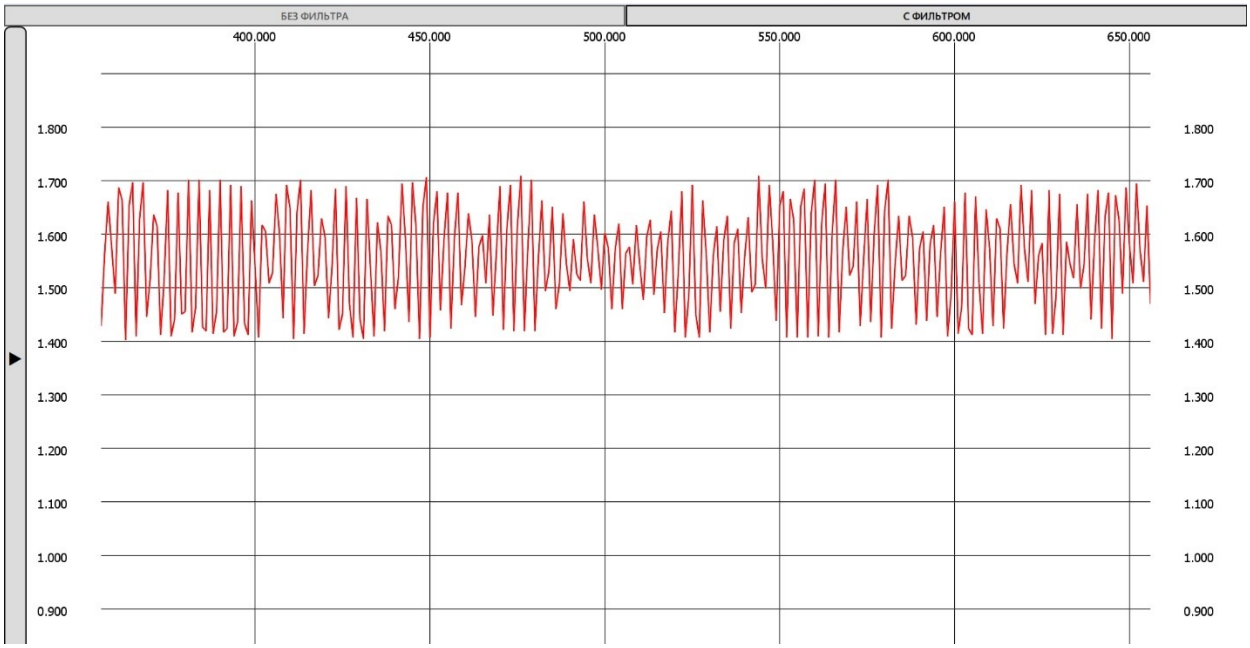


Рис 1. Исходный сигнал

На рис. 2 представлен результат обработки исходного сигнала фильтром скользящего среднего с размером окна 32 отсчета. Данный фильтр является одним из наиболее простых и широко используемых методов сглаживания сигналов. Принцип работы фильтра скользящего среднего основан на поддержании скользящего окна фиксированного размера и вычислении среднего арифметического значений, попадающих в это окно. Однако в реализации применена оптимизация, позволяющая избежать полного пересчета суммы на каждом шаге.

Анализ отфильтрованного сигнала показывает следующее:

- кривая стала более гладкой, потому что высокочастотные шумы значительно подавлены;
- общая форма сигнала сохранена, так как все изменения исходного сигнала видны на отфильтрованной кривой.

Фильтр скользящего среднего с окном 32 обеспечивает хороший компромисс между степенью сглаживания и сохранением динамики изменения сигнала. При меньшем окне фильтр хуже подавляет шумы, при большем – становится слишком инерционным и начинает сглаживать полезные изменения сигнала [2].

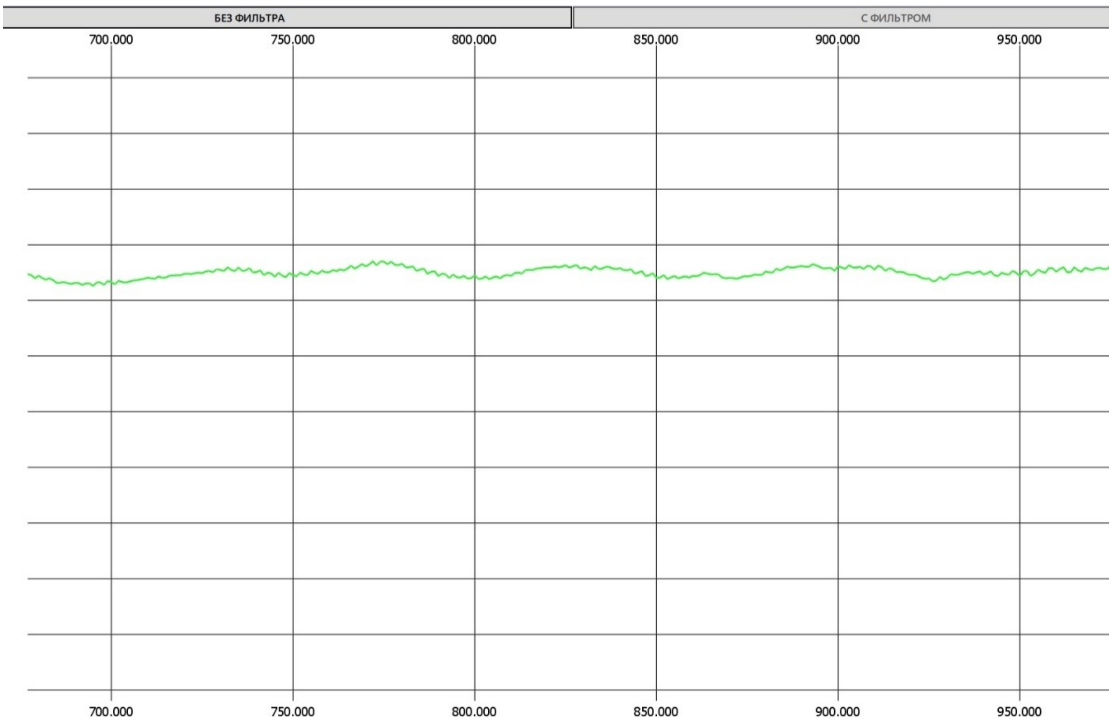


Рис. 2. Сигнал после фильтрации скользящим средним

На рис. 3 представлен результат обработки исходного сигнала фильтром Баттерворта нижних частот 1-го порядка с частотой среза 100 Гц. Фильтр Баттерворта относится к классу рекурсивных (БИХ) фильтров и обеспечивает более качественное подавление шумов по сравнению со скользящим средним [3]. По графику можно сказать, что кривая, в сравнении с фильтром скользящего среднего, существенно чище. Среднеквадратичное отклонение снизилось до

0.05. Форма полезного сигнала сохраняется максимально точно благодаря гладкой амплитудно-частотной характеристике фильтра Баттерворта [3]. Для каждого порядка фильтра используется своя разностная схема:

- фильтр 1-го порядка: использует два состояния линии задержки. Выход вычисляется как взвешенная сумма текущего и предыдущего состояний.
- фильтр 2-го порядка: использует три состояния. Выход вычисляется с коэффициентами (1, 2, 1), что соответствует биномиальным коэффициентам.
- фильтр 3-го порядка: использует четыре состояния с коэффициентами (1, 3, 3, 1) (треугольник Паскаля).

Линия задержки z постоянно обновляется: самый старый элемент удаляется, новый добавляется в конец. Это обеспечивает учет предыдущих состояний фильтра при вычислении текущего выхода.

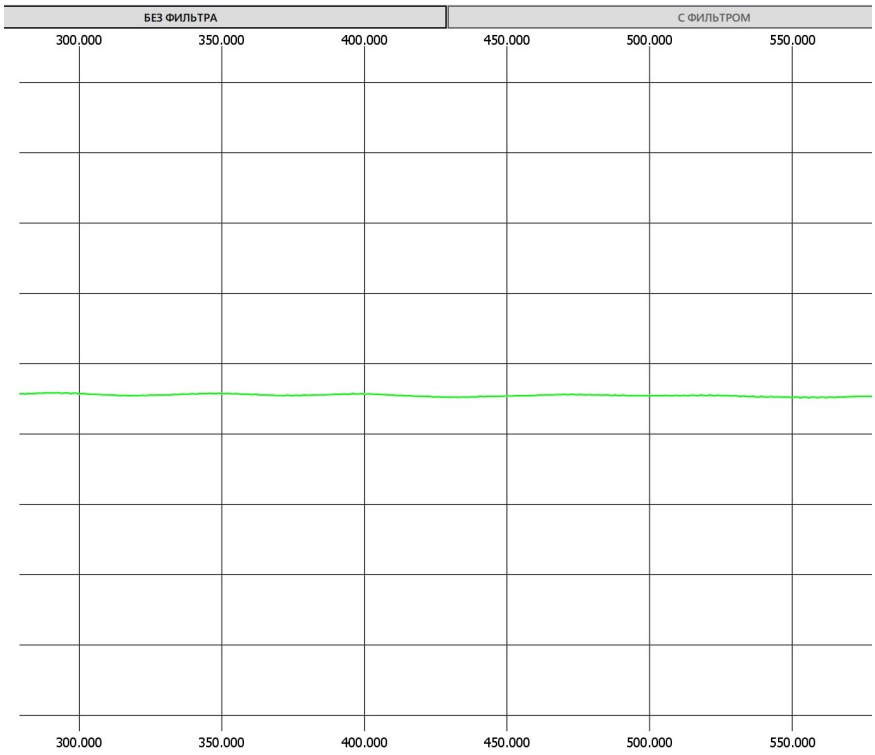


Рис. 3. Сигнал после фильтрации Баттерворта

Библиографический список

1. **Умняшкин, С.В.** Основы теории цифровой обработки сигналов : учебное пособие / С. В. Умняшкин. – Издание седьмое, исправленное. – М. : Рекламно-издательский центр "Техносфера", 2024. – 552 с.
2. **Сухорукова, И.Г.** Эффективность работы адаптации фильтра на критерии серий / И. Г. Сухорукова, И. О. Оробей, Д. А. Гринюк // Труды БГТУ. №6. Физико-математические науки и информатика. – 2011. – № 6(144). С. 107-111.
3. **Кондратович, П.А.** Основы обработки цифровых сигналов в радиофизических приложениях: учебное пособие / П.А. Кондратович. – М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2025. – 164 с.

СОГЛАСОВАНИЕ АСТРОВИЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА И БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

М.Д. Бочкарева
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматривается реализация алгоритма автономного счисления координат и вектора скорости в инерциальной системе координат.

Ключевые слова: астровизирующее устройство, бесплатформенная инерциальная навигационная система.

Астровизирующее устройство (АВУ) обеспечивает астрокоррекцию ошибок БИНС, которые накапливаются пропорционально времени полета. АВУ позволяет ограничить темп накопления ошибок бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) и обеспечить повышение точности определения БИНС координат и углов в режиме автономной навигации без поддержки средств ГЛОНАСС/GPS. Астровизирующее устройство предназначено для круглосуточной астрокоррекции ошибок бесплатформенной инерциальной навигационной системы, которые имеют свойство накапливаться со временем. Наличие высокоточного круглосуточного АВУ сегодня актуально для различных объектов применения.

При построении систем навигации в авиационных приложениях базовым инструментом выступает БИНС, которая обеспечивает автономное вычисление координат места и углов ориентации [2, с.12]. На рис. 1 представлен внешний вид БИНС.



Рис. 1. БИНС

АВУ предоставляют точные абсолютные угловые ориентиры, которые используются для калибровки и коррекции ошибок БИНС [1]. Дрейф гироскопов в БИНС приводит к накоплению ошибок в ориентации со временем. АВУ

компенсируют этот дрейф, обеспечивая долгосрочную стабильность навигационного решения.

В основе вычислительных алгоритмов ИНС лежат алгоритмы идеальной работы ИНС, о чем говорится в [3]. Рассмотрим этап реализации алгоритма автономного счисления координат и вектора скорости в инерциальной системе координат, который в дальнейшем будет использован для коррекции ошибок при помощи АВУ.

В первую очередь формируется начальный вектор состояния ИНС:

$$\vec{X} = \begin{bmatrix} \hat{\Lambda}_{и1} \\ \vec{R}_{и} \\ \vec{V}_{и} \end{bmatrix},$$

где $\hat{\Lambda}_{и1}$ – кватернион перехода от связанной СК к инерциальной СК,

$\vec{R}_{и}$ – вектор прямоугольных координат,

$\vec{V}_{и}$ – вектор скоростей в инерциальной СК.

Вектор скорости в ИСК вычисляется путем поворота вектора скорости в нормальной СК $\left(\vec{V}_g\right)$ на кватернион перехода от нормальной СК к инерциальной СК$\left(\hat{\Lambda}_{иg}\right)$.

Далее на каждом такте работы алгоритма осуществляется прием показаний ДУС и акселерометров.

И на основе текущих показаний ДУС формируется кватернион поворота $\left(\Delta\hat{\Lambda}\right)$, который используется для обновления кватерниона $X\left[\hat{\Lambda}_{и1}\right]$:

$$X\left[\hat{\Lambda}_{и1}\right] = X\left[\hat{\Lambda}_{и1}\right] \otimes \Delta\hat{\Lambda}.$$

Текущие приращения кажущегося ускорения $\left(\Delta\vec{V}_1\right)$, полученные с акселерометров, переводятся в ИСК:

$$\Delta\vec{V}_{и} = X\left[\hat{\Lambda}_{и1}\right] \otimes \Delta\vec{V}_1 \otimes X\left[\bar{\hat{\Lambda}}_{и1}\right].$$

Затем осуществляется расчет модуля вектора силы тяжести и его перевод в ИСК:

$$\left|\vec{g}_t\right| = \begin{bmatrix} 0 \\ -9.780573 \cdot \left[1 + 5.28372 \cdot 10^{-3} \cdot \sin^2(\mathrm{B}) - 5.9 \cdot 10^{-6} \cdot 4\sin^2(\mathrm{B}) \cdot \cos^2(\mathrm{B})\right] + 3{,}086 \cdot \mathrm{H} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Далее производится интегрирование координат и скорости в ИСК:

$$\mathrm{X}\left[\vec{\mathrm{R}}_{\mathrm{и}}\right] = \mathrm{X}\left[\vec{\mathrm{R}}_{\mathrm{и}}\right] + \mathrm{X}\left[\vec{\mathrm{V}}_{\mathrm{и}}\right] \cdot \Delta t + \left(\Delta\vec{\mathrm{V}}_{\mathrm{и}} + \vec{g}_{\mathrm{и}} \cdot \Delta t\right) \cdot \frac{\Delta t}{2},$$

$$\mathrm{X}\left[\vec{\mathrm{V}}_{\mathrm{и}}\right] = \mathrm{X}\left[\vec{\mathrm{V}}_{\mathrm{и}}\right] + \Delta\vec{\mathrm{V}}_{\mathrm{и}} + \vec{g}_{\mathrm{и}} \cdot \Delta t,$$

где Δt – шаг времени алгоритма.

Осуществляется перевод скорости из инерциальной СК в нормальную:

$$\vec{\mathrm{V}}_{\mathrm{g}} = \hat{\Lambda}_{\mathrm{gи}} \otimes \mathrm{X}\left[\vec{\mathrm{V}}_{\mathrm{и}}\right] \otimes \bar{\bar{\Lambda}}_{\mathrm{gи}}.$$

Вектор $\mathrm{X}\left[\vec{\mathrm{R}}_{\mathrm{и}}\right]$ переводится в планетоцентрическую СК для дальнейшего преобразования к геодезическим координатам:

$$\vec{\mathrm{R}}_{\mathrm{г}} = \hat{\Lambda}_{\mathrm{ги}} \otimes \mathrm{X}\left[\vec{\mathrm{R}}_{\mathrm{и}}\right] \otimes \bar{\bar{\Lambda}}_{\mathrm{ги}}.$$

Затем прямоугольные координаты переводятся в геодезические.

По результатам моделирования получены следующие графики ошибок счисления координат (рис. 2). Из графика видно, что ошибка счисления составила менее 5 м.

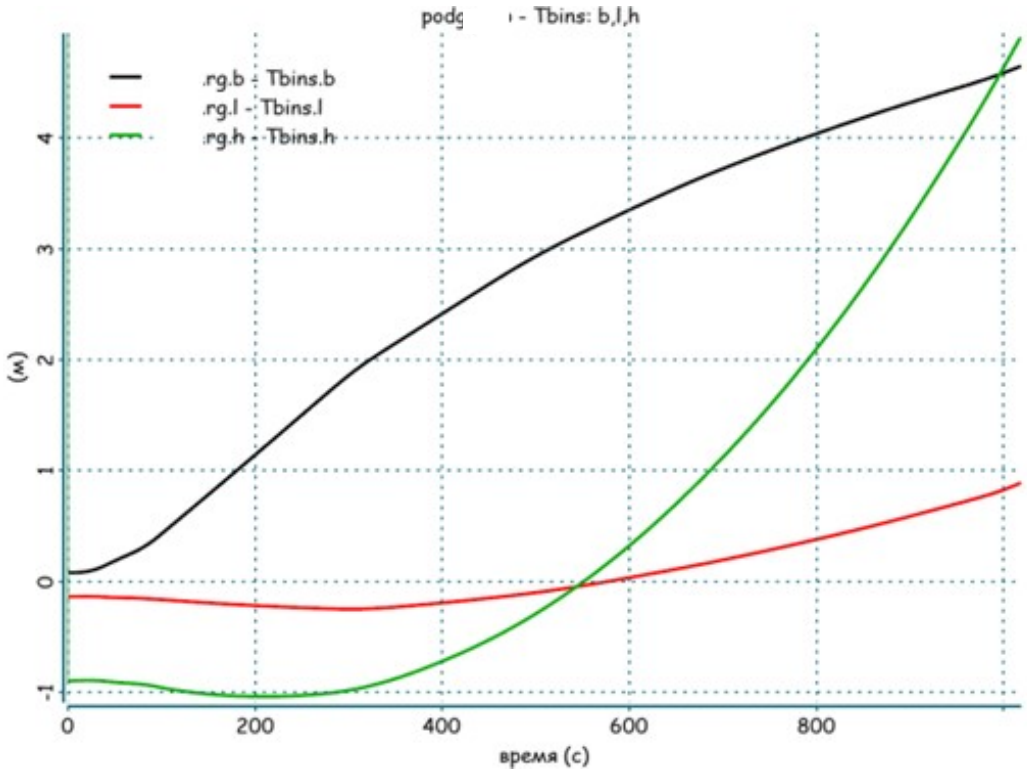


Рис. 2. ΔB, ΔL, ΔH **, м**

Таким образом, в результате работы был реализован алгоритм автономного счисления координат и вектора скорости в инерциальной системе координат. Проведено интегрирование уравнений движения в ИСК, моделирование вектора силы тяжести, а также выполнен расчет вектора скорости в нормальной подвижной системе координат.

Библиографический список

1. ***Андреев, В.Д.*** Теория инерциальной навигации. Автономные системы / В.Д. Андреев. – М.: «Наука», 1966. – 579 с.
2. ***Матвеев, В.В.*** Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / В.В. Матвеев, В.Я. Распопов – М.: «Электроприбор», 2009. – 280 с.
3. ***Фридлендер, Г.О.*** Инерциальные системы навигации. / Г.О. Фридлендер – М., 1961. – 154 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ

В.С. Бочков, Д.Д. Леонов, Е.В. Филиппова

АО «АНПП "ТЕМП-АВИА"»

В статье рассматривается процесс разработки программного обеспечения для системы автоматического анализа работоспособности электронного модуля. При проведении тестирования программа использует модуль ввода-вывода цифровых и аналоговых сигналов L-CARD и отправляет команды микроконтроллерам модуля по интерфейсу CAN. Описан алгоритм работы приложения, включая структуру программы и взаимодействие между ее частями, общий алгоритм тестирования и описание графического интерфейса.

Ключевые слова: программное обеспечение, сбор и анализ данных, CAN, L-CARD, графический интерфейс.

При производстве электронных модулей (МЭ) возникает необходимость в проведении контроля качества для выявления дефектов на этапе производства. Рассматриваемый модуль используется в составе цифрового стабилизатора и взаимодействует с другими устройствами и модулями. Перечислим его основные функции.

1. Сбор и оцифровка информации с различных датчиков (текущее положение линии визирования, угловая скорость, текущее положение относительно инерциального пространства)
2. Управление двигателями горизонтального и вертикального каналов.
3. Обеспечение стабилизации.
4. Осуществление информационного обмена с составными частями.

Поскольку ручной анализ занимает много времени и может содержать ошибки в связи с человеческим фактором, возникает потребность в автоматизации процесса.

Структурная схема системы автоматического контроля представлена на рис. 1. В ее состав входят перечисленные далее элементы.

1. **Модуль L-CARD**. Управляет подачей напряжения на МЭ тестирующих сигналов, измерением аналоговых и цифровых сигналов.
2. **Пульт проверки**. Блок с различными электрическими схемами, имитирующими работу составных частей. В его функции входит: формирование напряжений, имитация работы электродвигателя, гироскопа, датчика угла, датчика угловой скорости и других устройств.
3. **МЭ**. Проверяемое изделие.
4. **ПК с установленным ПО**. Разработанное ПО позволяет автоматизировать анализ работоспособности электронного модуля. К его функционалу можно отнести: управление модулем L-CARD через интерфейс USB, информационный обмен с МЭ через интерфейс CAN, анализ собранных данных и вывод результатов тестирования.

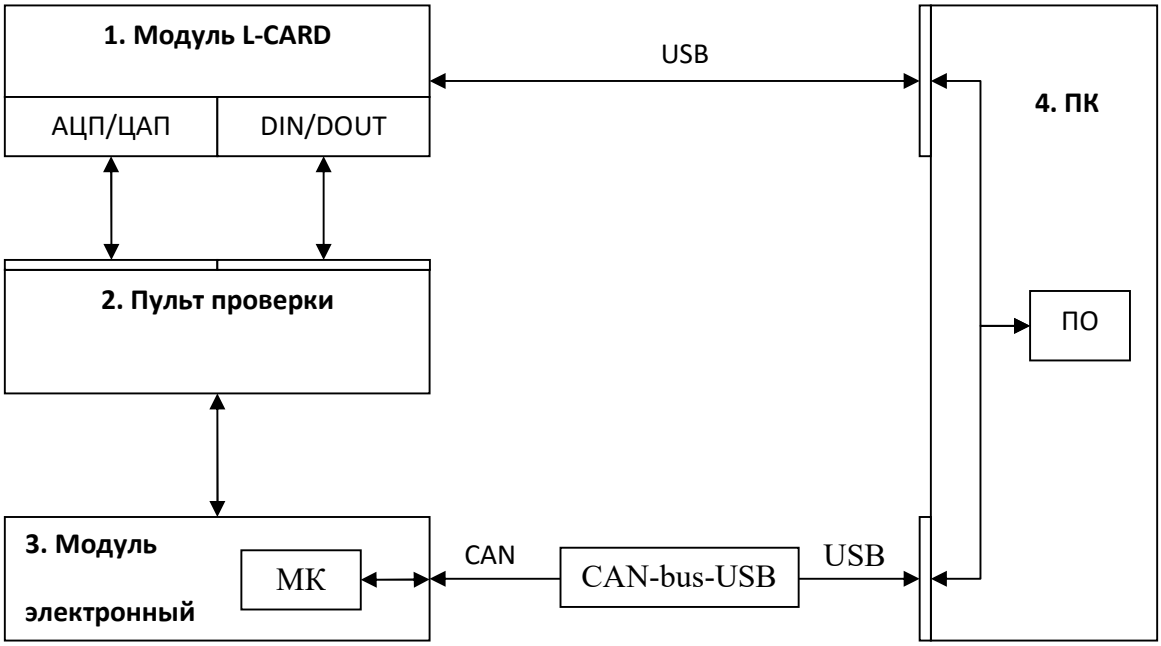


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического контроля

Для взаимодействия программы с проверяемым модулем необходимо использование специальных устройств.

CAN-bus-USB – модуль, позволяющий ПО отправлять сообщения по интерфейсу CAN. **CAN** (англ. Controller Area Network – сеть контроллеров) – стандарт промышленной сети, ориентированный, прежде всего, на объединение в единую сеть различных исполнительных устройств и датчиков. Режим передачи – последовательный, широковещательный, пакетный. Протокол CAN отличается высокой помехоустойчивостью и автоматическим арбитражем доступа к сети без потери пропускной способности [1].

Модуль L-Card E502 – универсальный модуль ввода/вывода аналоговых и цифровых сигналов в ПК через интерфейсы USB 2.0 (high-speed) и Ethernet (100 Мбит) с возможностью их цифровой обработки в реальном времени.

В своем составе он имеет:

- АЦП: 16 бит, 2 МГц, до 32 каналов.
- ЦАП: 16 бит, 1 МГц, 2 канала.
- Цифровые входы/выходы. Ввод – 2 МГц, вывод – 1 МГц, по 16 линий.

Данный модуль применяется в системах сбора данных и системах автоматизации. Он внесен в Государственный реестр средств измерений. [2, 3]

Разработанное ПО написано на языке C++ с использованием фреймворка Qt, так как это современный объектно-ориентированный язык с высокой производительностью [4]. Графический интерфейс реализован на языке разметки QML, так как он позволяет упростить процесс разработки интерфейса [5].

Структуру программы можно разделить на пять блоков:

1) основная логика,
2) внутренний протокол,

3) библиотека L-Card,

4) тесты,

5) пользовательский интерфейс.

В следующих пунктах эти блоки будут разобраны более подробно.

1. Основная логика. Соединяет все остальные части программы воедино.

В основе работы программы лежит использование шаблона проектирования «Менеджер активностей». Команды пользователя представляются в виде последовательностей действий (Активностей), которые добавляются в очередь выполнения. При проведении тестирования эти действия используют блоки 2 и 3 для взаимодействия с модулем.

2. Внутренний протокол. Реализует информационный обмен с микроконтроллером.

В разработанной программе был использован протокол CAN, так как он уже используется в изделии для обмена данными между микроконтроллерами на плате МЭ с другими составными частями и технологическим ПО. Для реализации тестирования протокол информационного обмена был расширен дополнительными технологическими командами.

3. Библиотека L-Card. Реализуют взаимодействие с L-Card.

Производитель поставляет вместе с модулями библиотеку для работы с ним. Однако для упрощения работы с L-Card были разработаны несколько классов для взаимодействия с модулем на более высоком уровне абстракции.

4. Тесты. Реализуют логику тестов и работу с ними.

Как уже было сказано разработанные тесты добавляют в менеджер активностей последовательность действий на выполнение. При этом все тесты выполняются по общему шаблону, который описывается следующим алгоритмом.

1. Отправить команды L-Card для установки выходов (цифровых и ЦАП) в нужное состояние и/или команды микроконтроллеру для перехода в требуемый режим работы.
2. Подождать пока будут проведены измерения. Запросить значения с микроконтроллера и/или L-Card.
3. Полученные значения сравнить с эталонными и сохранить для формирования отчета.
4. Если необходимо провести несколько измерений с разными входными параметрами, то вернуться к пункту 1.
5. Вывести результаты измерений на экран.

В большинстве случаев для получения значений используются измерения АЦП, обработанные с помощью экспоненциального фильтра или фильтра скользящего среднего. Однако в некоторых тестах используются более сложные алгоритмы, такие как:

- измерение частоты сигнала с помощью L-Card;
- измерение микроконтроллером амплитуды сигнала ДУ гироскопа и ДУС.

5. Пользовательский интерфейс. Реализует взаимодействие программы с пользователем.

Окно программы представлено на рис. 2. На нем выделены группы элементов управления.

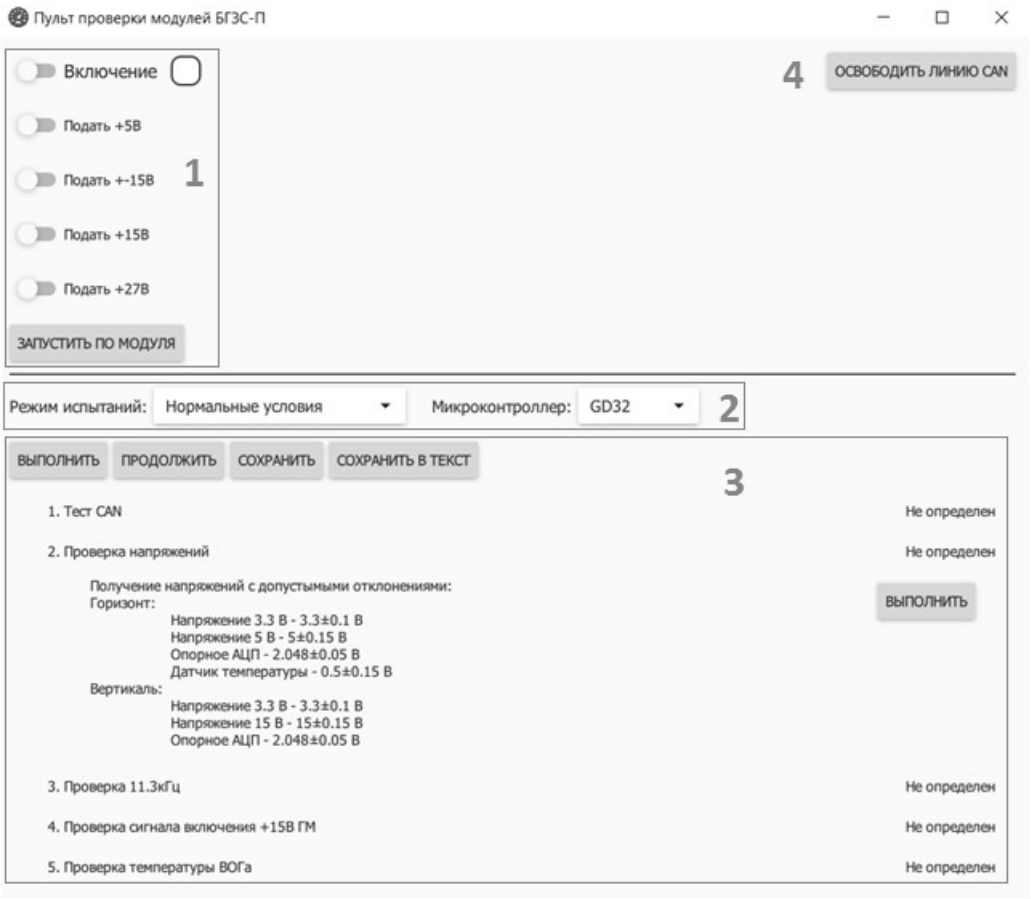


Рис. 2. Графический интерфейс приложения

Программа позволяет:

- управлять подачей питания на блок и запуском ПО микроконтроллеров (блок 1);
- управлять настройками тестирования в зависимости от микроконтроллера модуля и климатических условий, в которых проводится проверка (блок 2);
- проводить тестирование модуля. Как все тесты последовательно, так и каждый тест отдельно. А также сохранять результаты в файл формата Excel или текстовый файл (блок 3);
- освободить линию CAN (кнопка 4), для использования другого приложение, задействующее CAN.

В ходе выполнения работы была разработана система автоматического анализа работоспособности электронного модуля.

Данная программа позволяет:

- ускорить процесс проверки модуля;
- исключить влияние человеческого фактора на процесс проверки;
- структурировать собранные данные и отображать информацию об

ошибках;

- автоматизировать формирования отчета для документирования результатов проверки.

Дальнейшее развитие программного продукта направлено на расширение списка проверяемых модулей и улучшение дизайна пользовательского интерфейса.

Библиографический список

1. Controller Area Network / Википедия: свободная энциклопедия: [сайт] – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Controller_Area_Network (дата обращения: 01.03.26). Текст: электронный.

2. Л Кард E-502. Модули АЦП/ЦАП/ТТЛ на USB – URL: https://www.lcard.ru/products/external/e-502 (дата обращения: 01.03.26). Текст: электронный.

3. Л Кард Универсальные модули АЦП/ЦАП/ТТЛ – URL: https://www.lcard.ru/products/external/about (дата обращения: 01.03.26). Текст: электронный.

4. Стенли Б. Липпман. Язык программирования C++. Базовый курс, 5-е изд./ Стенли Б. Липпман, Жози Лажойе, Барабара Э. Му // Пер. с англ. – М.: ООО "ИЛ. Вильяме". – 2014. – 1120 с.

5. Шлее, М. Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++ / М. Шлее // СПб.: БХВ-Петербург. – 2015. – 928 с.

ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ НА ЯЗЫКЕ JULIA: РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ

Э. Р. Варганова, Д. А. Фролова
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматривается создание электронных учебных ресурсов, направленных на изучение языка программирования Julia, а также на практическую реализацию алгоритмов численных методов с его использованием. В качестве основных средств разработки использован стек веб-технологий (HTML, CSS, JavaScript), что обеспечивает кроссплатформенность и простоту развертывания. Архитектура пособий построена с помощью безсерверной технологии: весь учебный контент, включая теоретические блоки, тесты и практические задания, хранится в структурированном виде в формате JSON. Исходный код разработанных программных продуктов был выложен в публичные репозитории GitHub с лицензией MIT. С помощью GitHubPagesресурсы были развернуты в Интернете. Материалы статьи могут быть полезны специалистам, занимающимся разработкой цифровых образовательных продуктов, а также преподавателям дисциплин физико-математического и технического профилей.

Ключевые слова: разработка электронных средств обучения, свободное программное обеспечение, кроссплатформенная разработка.

Введение. В условиях развития образования увеличивается необходимость создания надежных электронных образовательных ресурсов (ЭОР), которые будут соответствовать современным технологиям и моделям обучения [2]. Знание языков программирования и владение инструментами численных методов выполняет основную роль в развитии профессиональных навыков для будущих специалистов.

Свободное программное обеспечение занимает особое место в образовательной сфере: оно не только устраняет финансовые ограничения для студентов и университетов, но и создает условия для доступного и независимого проведения научных исследований, предоставляя ученым возможность открыто обмениваться программным кодом и алгоритмическими решениями.

Язык программирования Julia, история которого берет начало в 2009 году в стенах Массачусетского технологического института, завоевывает все большую популярность среди инженеров. Этому способствует уникальное сочетание вычислительной мощности, сопоставимой с возможностями C/C++, и лаконичного, выразительного синтаксиса, близкого к MATLAB или Python [1]. Вместе с тем сравнительно короткая история языка приводит к тому, что учебно-методическая база по нему остается весьма скромной – особенно это ощутимо в русскоязычном сегменте.

Анализ существующей литературы и постановка задачи. В рамках подготовительного этапа разработки собственных электронных образовательных ресурсов (ЭОР) был проведен обзор уже существующих материалов. В частности, рассматривалась платформа Engee (https://engee.com/helpcenter/stable/ru/index.html), специализирующаяся на ин-

женерных вычислениях с применением языка Julia. Однако представленный контент имеет обобщенный характер и не привязан к учебным планам высших учебных заведений. Выявленный пробел определил направление дальнейшей работы: была сформулирована задача по созданию учебно-методических пособий, содержание которых согласовано с рабочими программами дисциплин, реализуемых в Арзамасском политехническом институте.

Таким образом, задача создания доступных и удобных электронных учебных пособий по работе с языком Julia, адаптированных для использования в Арзамасском политехническом институте, является актуальной.

В настоящей работе предлагается подход к разработке таких пособий на основе современных веб-технологий, обеспечивающих простоту создания и использования, а также кроссплатформенность.

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка серии интерактивных веб-пособий для изучения языка программирования Julia, ориентированных на студентов технических специальностей.

Функциональные требования. Пособия должны предоставлять пользователям доступ к структурированному теоретическому материалу, содержащему текстовое описание, математические формулы и листинги программного кода. Для эффективного усвоения материала и обратной связи необходимо предусмотреть тесты самопроверкии перечень практических заданий. Необходима реализация удобной системы навигации по разделам, позволяющей быстро переходить между темами. Интерфейс должен поддерживать переключение цветовых тем для комфортной работы в различных условиях освещения.

Технические требования. ЭОР должны функционировать в среде веб-браузера без необходимости установки дополнительного программного обеспечения. Требуется обеспечить корректное отображение интерфейса на устройствах с различной шириной экрана (десктопы, ноутбуки, планшеты, смартфоны). Кодовая база должна допускать легкое расширение функциональности и обновление контента даже без специальных технических знаний.

Технические средства разработки. Реализация интерфейса ЭОР выполнена на основе стандартной веб-технологии – связки HTML, CSS и JavaScript. Использование данного стека обеспечивает кроссплатформенность, корректное отображение на любых устройствах с браузером и не требует установки дополнительного программного обеспечения со стороны пользователя, что соответствует современным требованиям к электронным образовательным ресурсам.

Реализация пользовательского интерфейса. Интерфейс пособий реализован с использованием HTML и CSS.Особое внимание уделено адаптивной верстке, обеспечивающей комфортное отображение на экранах различных размеров. Веб-страницы формируются динамически с помощью JavaScript.

Важной функциональной особенностью является реализация двух цветовых тем – светлой и темной, их внешний вид продемонстрирован на рис.1. Пользователь может выбрать комфортный для глаз режим работы, что особенно актуально при длительном изучении материала. Для отображения математических формул используется библиотека MathJax, обеспечивающая рендеринг TEX-разметки, а код для улучшения читаемости снабжен подсветкой синтакси-

са с применением библиотеки SyntaxHighlighter.js. Отображение программного кода и формул также показано на рис. 1.

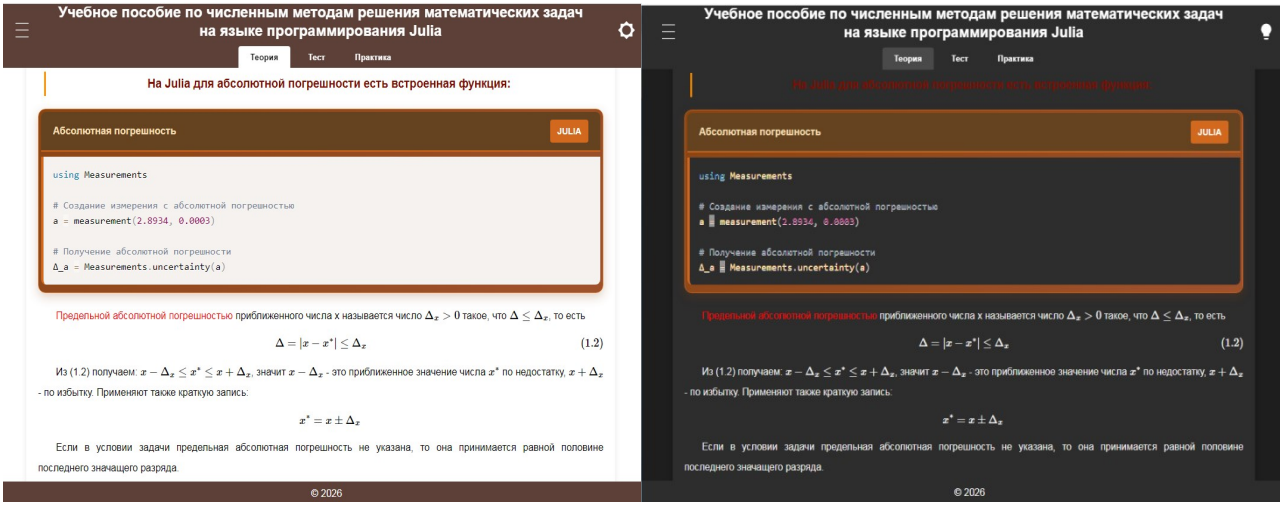


Рис. 1. Скриншоты пособия в светлом и темном стилях

Электронные учебные пособия «Основы моделирования в Julia» и «Учебное пособие по численным методам решения математических задач на языке программирования Julia» имеют единую навигационную структуру, обеспечивающую удобный переход между разделами. Вкладка «Теория» представлена на рис. 1, а интерфейс вкладки «Тест» – на рис. 2. Тестовые задания предусмотрены для каждой темы курса. Для доступа к тестированию необходима регистрация. Каждая попытка выполняется в условиях ограниченного времени (имеется таймер обратного отсчета), результат фиксируется после нажатия кнопки «Завершить тест» или по истечении отведенного времени.

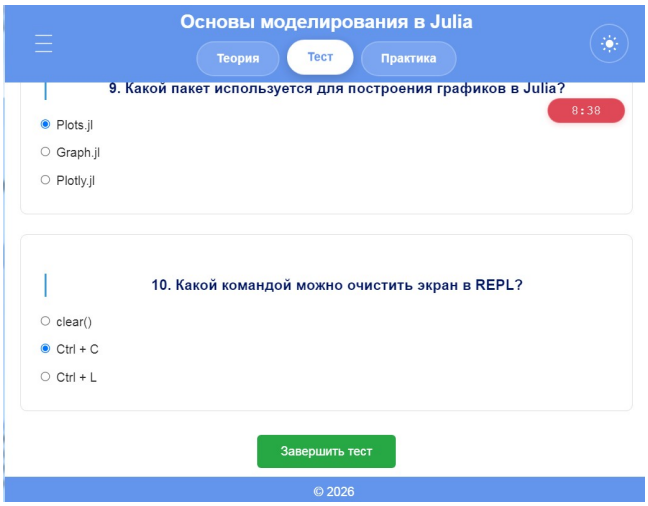


Рис. 2. Скриншот вкладки «Тест»

На рис. 3 приведен скриншот вкладки «Практика». Для каждой темы предусмотрен отдельный практический раздел, включающий 20 вариантов индивидуальных заданий.

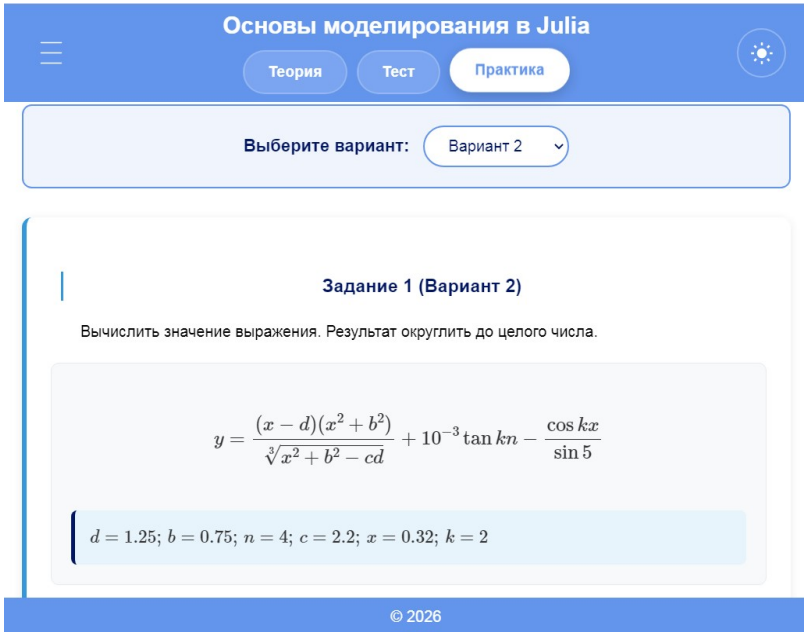


Рис. 3. Скриншот вкладки «Практика»

Благодаря примененным технологиям адаптивной верстки интерфейс автоматически подстраивается под экраны различной ширины, обеспечивая удобство работы с материалом независимо от используемого устройства (рис. 4).

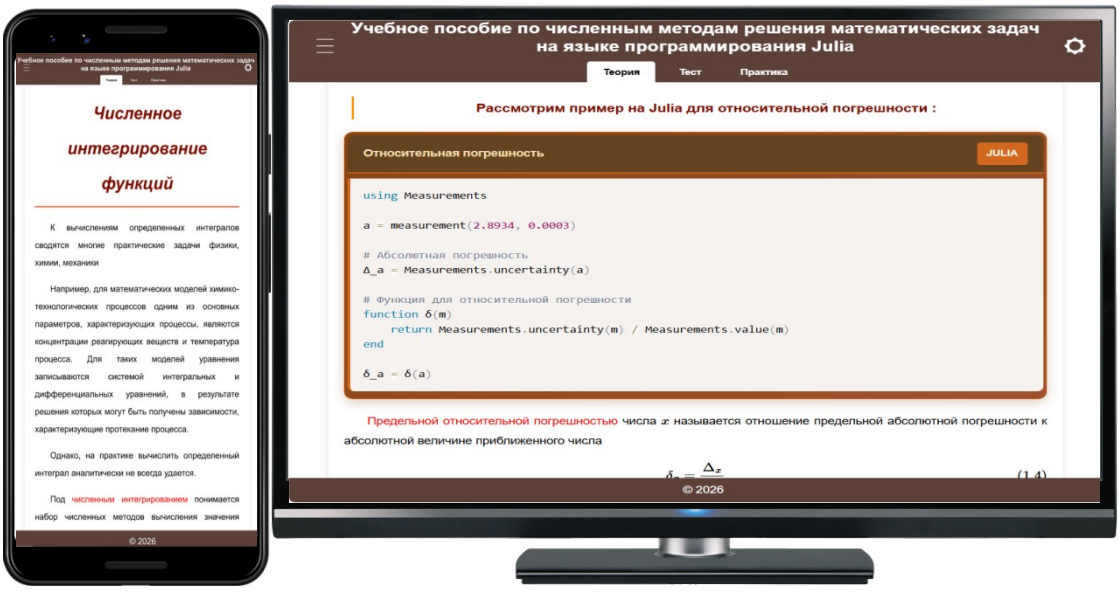


Рис. 4. Скриншоты отображения интерфейса на различных устройствах

Хранение обучающего контента. Основная логика работы реализована на стороне клиента с использованием JavaScript. Функцию уровня хранения данных в нашей архитектуре выполняет JSON. Это текстовый формат, в котором информация организована в виде пар «ключ: значение». Все наполнение ЭОР – заголовки, теоретические блоки, примеры, тестовые вопросы с вариантами ответов и формулировки практических задач по вариантам – хранятся в едином JSON-файле.

Структура данных в пособиях организована в соответствии с тремя основными типами контента: теорией, тестами и практическими заданиями. Логика этой организации представлена на рис. 5.

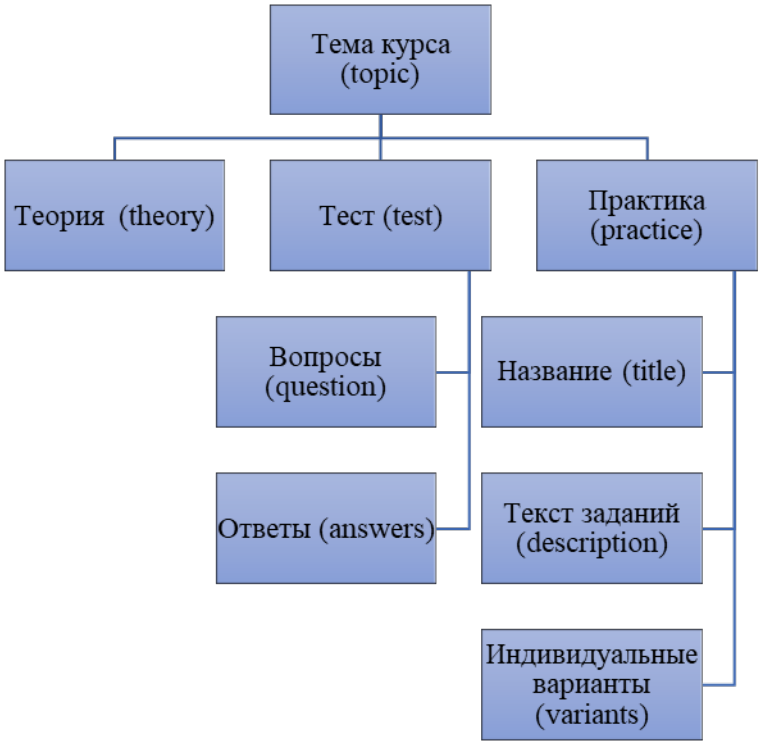


Рис. 5. Логическая структура данных электронного пособия

Данный подход обладает рядом преимуществ. Отсутствие серверной части позволяет исключить проблемы с производительностью и безопасностью, характерные для динамических веб-приложений. Такой подход также обеспечивает простоту масштабирования: добавление нового раздела или темы происходит без изменения существующего программного кода. Обновление контента сводится к простому редактированию текстового JSON-файла.

Для развертывания пособий в Интернете была использована платформа GitHubPages, предоставляющая бесплатный хостинг статических сайтов из репозиториев GitHub. Политика использования сервиса допускает размещение образовательных и научных материалов.

Тематическое содержание пособий. Было создано два ЭОР [3; 4]. Структура и содержание созданных ЭОР приведены в соответствии с тематическими планами курсов «Основы моделирования» и «Численные методы», читаемых студентам нашего института.

Первое – «Основы моделирования в Julia» включает следующие разделы: общие сведения и основы работы с данным (достоинства, недостатки языка), интерфейс пользователя (работа в REPL, режимы основного ввода, установки библиотек и справки, основные команды), основные объекты языка, условные и циклические операторы, решение задач алгебры и анализа, построение графиков, работу с массивами и файлами, а также решение обыкновенных диффе-

ренциальных уравнений. Каждый раздел сопровождается подробными примерами программного кода с результатами вычислений.

Второе пособие «Численные методы решения математических задач на языке программирования Julia» охватывает широкий круг тем вычислительной математики: теория погрешностей, численные методы решения линейных и нелинейныхуравнений и систем, аппроксимация, интерполяция, численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений, дифференцирование и интегрирование функций.

Заключение. В результате выполненной работы созданы интерактивные веб-пособия по языку программирования Julia, полностью соответствующие поставленным требованиям. Разработанная архитектура на основе хранения контента в формате JSON обеспечивает простоту развертыванияи удобство сопровождения. Пособия размещены в открытом репозитории на GitHub под лицензией MIT, а публикация с помощью GitHubPages сделала их доступными в Интернете. В перспективе планируется проведение апробаций разработанных ЭОР в рамках учебных занятий.

Библиографический список

1. ***Bezanson, J.*** Julia: A fresh approach to numerical computing / J. Bezanson, A. Edelman, S. Karpinski, V.B. Shah // SIAM review. – 2017. – Т. 59, № 1. – С. 65-98.
2. ***Ваганова, О.И.*** Электронные образовательные ресурсы как средство повышения качества образования / О.И. Ваганова, И.Р. Воронина, А.А. Коростелев, О.Г. Шагалова // Балтийский гуманитарный журнал. – 2020. – Т. 9, № 2(31). – С. 203-207.
3. Основы моделирования в Julia [Электронный ресурс] / Д. А. Фролова – Режим доступа: https://daralova.github.io/julia/ (дата обращения: 19.02.2026).
4. Учебное пособие по численным методам решения математических задач на языке программирования Julia [Электронный ресурс] / Э.Р. Варганова - Режим доступа: https://varganovaelya.github.io/julia_chm/ (дата обращения: 19.02.2026).

КОНФОРМНЫЕ ОТОБРАЖЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ЦЕЛОЙ ЛИНЕЙНОЙ ФУНКЦИЕЙ W = AZ + B

А.Ф. Глухова, Д.Е. Сивогривов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье представлена методика конформных отображений, связанных с целой линейной функцией $w = az + b$. Рассматриваются конформные отображения, осуществляемые с помощью линейной функции. Приводятся примеры решения задач.

Ключевые слова: линейная функция, аналитическая функция, конформные отображения, образ точки, прообраз точки

Вопросы, связанные с конформным отображением областей, имеют большое значение не только в теории функций комплексного переменного, но так и в ее приложениях, например в картографии, аэромеханике, теории упругости и др. Конформным отображениям посвящены многие научно-исследовательские работы, т.к. конформные отображения можно рассматривать и как математический аппарат при изучении ряда физико-математических, а также дисциплин, связанных с механикой и с учетом их приложений. Таким образом, понятие конформного отображения является одним из важнейших понятий математики.

Целью настоящей статьи является освоение студентами понятия конформного отображения, овладение практическими навыками при решении задач с целью применения полученных знаний и навыков в будущей профессии инженера, а также для освоения общетехнических дисциплин. В начале статьи дается краткое изложение теории функций комплексного переменного. Более подробно этот материал можно изучить по книге [1].

Статья содержит примеры, включая подробное описание их решений, что обеспечит максимальную помощь студентам в овладении методами конформных отображений с помощью элементарной функции комплексного переменного $w = az + b$. С основными понятиями функции комплексного переменного можно ознакомиться по книге [1]. Каждую функцию комплексного переменного, как и функцию действительного переменного, можно истолковать с точки зрения геометрической: $w = f(z)$ – отображение множества точек, на котором функция определена, на множество точек, области значений функции. Отсюда возникает ряд вопросов, связанных с условиями, которые налагаются на $w = f(z)$. Это следующие вопросы:

1. Если $w = f(z)$ определена на некотором связном множестве, все точки которого внутренние, то будет ли образ области определения функции тоже областью?

2. Является ли конформное во всех точках области, где $f(z) \neq 0$, отображение, осуществляемое аналитической функцией в своей области определения, взаимно-однозначным?

3. Является ли конформное взаимно-однозначное отображение области определения функции $w = f(z)$ на ее область значений единственным?

Ответ на первый вопрос дает теорема, которая получила название принципа сохранения области [1]. Ответы на второй и третий вопросы дает теорема Римана [1], т.е. она дает теоретическое решение основного вопроса конформного отображения областей.

Остановимся на геометрических свойствах элементарных функций с целью применения их к конформному отображению областей. Отметим, что для того, чтобы функция комплексного переменного $w = f(z)$ осуществила конформное отображение в конечной области D необходимо и достаточно, чтобы в этой области функция была:

а) однолистной:

– для любых $z_1 \neq z_2$ справедливо $w_1 = f(z_1) \neq w_2 = f(z_2)$,

либо:

– отображение $w = f(z)$ должно быть взаимно однозначным, т.е. одному значению z соответствует одно значение w и одному значению w соответствует одно значение z;

б) аналитической, т.е. $w = f(z) = u(x, y) + iv(x, y)$ должна быть непрерывной вместе со своими частными производными, связанными условиями Коши-Римана:

$$1.\quad \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y};\ \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x};$$

в) всюду в области D справедливо $f'(z) \neq 0$.

Особый интерес представляет построение конформного отображения одной области на другую, другими словами, поиск соответствующей функции.

Рассмотрим конформные отображения, осуществляемые с помощью линейной функции

$$w = az + b\,, \qquad (1)$$

которая:

1) однолистна в плоскости z: одному значению z соответствует одно значение w и $z = (w - b)/a$, отсюда одному значению w соответствует одно значение z;

2) $w = az + b = (a_1 + ia_2)(x + iy) + (b_1 + ib_2)$, отсюда действительная и мнимая части примут вид:

$$\begin{cases} u = a_1 x - a_2 y + b_1 \\ v = a_1 y + a_2 x + b_2 \end{cases}.$$

Откуда

$$\frac{\partial u}{\partial x} = a_1;\ \frac{\partial v}{\partial y} = a_1;\quad \frac{\partial u}{\partial y} = -a_2;\ -\frac{\partial v}{\partial x} = -a_2;$$

Следовательно, $w = az + b$ аналитическая;

3) $\dot{w} = a \neq 0$.

Таким образом, область конформности для $w = az + b$ – вся плоскость z.

Так как параметры a, b – комплексные числа, то $w = az + b$ можно представить в виде: $w = |a|e^{i\arg a} \cdot z + b$. Отсюда видно, что $w = az + b$ осуществляет:

а) поворот плоскости вокруг начала координат на угол равный $arg a$: $\zeta = e^{i\arg a} \cdot z$

б) гомотетию: $\tau = |a| \cdot \zeta$;

в) параллельный перенос с помощью вектора, соответствующего комплексному числу b: $w = \tau + b$.

Линейная функция $w = az + b$ обладает следующими свойствами:

а) круговым, то есть отображает окружность на окружность; прямые в прямые;

б) отображает треугольник на треугольник, подобный и одинаково ориентированный.

Преобразование (1) имеет две неподвижные точки:

1) бесконечно удаленная точка плоскости z при (1) переходит в бесконечно удаленную точку плоскости w;
2) конечная неподвижная точка z_1плоскости z при (1) остается на месте, т. е. $f(z_1) = z_1$

при условии, что $a \neq 0$ и $a \neq 1$. Если $a = 0$, то (1) примет вид $w = b$ и тогда будет одна неподвижная точка, в которую отображается вся плоскость z. Если же $a = 1$, то из решения $z = az + b$, которое примет вид

$$z_1 = \frac{b}{1-a}, \qquad (2)$$

имеем $z = \infty$ – двойная неподвижная точка, так как из (2) следует, что точка z_1 уходит в бесконечность.

Пример 1. [3] Найти целое линейное преобразование с неподвижной точкой $1 + 2i$, переводящее точку i в точку $(-i)$.

Решение.

Точка $z_0 = 1 + 2i$ является неподвижной точкой, т.е. она отображается в себя $w_0 = z_0$. Линейное преобразование $w = az + b$ удовлетворяет условиям задачи. Тогда $w_0 = az_0 + b$ и $w_1 = az_1 + b$. Исключаем a, b из трех последних равенств. В результате получим

$\frac{z - z_0}{z_1 - z_0} = \frac{w - w_0}{w_1 - w_0}$, после подстановки в которое $z_0 = 1 + 2i$, $w_0 = 1 + 2i$, $z_1 = i$, $w_1 = -i$ и приведения подобных, искомое преобразование примет вид: $w = (2 + i)z + 1 - 3i$.

Этот пример можно решить другим способом, суть которого заключается в определении коэффициентов a и b в линейном преобразовании $w = az + b$. С этой целью в него вместо w и z подставляем $z_0 = 1 + 2i$ и $w_0 = 1 + 2i$, затем $z_1 = i$ и $w_1 = -i$:

$$\begin{cases} a(1 + 2i) + b = 1 + 2i \\ ai + b = -i \end{cases}$$

Решение системы из двух уравнений с двумя неизвестными a и b дает $a = 2 + i$, $b = 1 - 3i$.

Пример 2 [3]. Для указанных преобразований найти конечную неподвижную точку z_0(если она существует), угол поворота φ вокруг нее и коэффициент растяжения k. Привести эти преобразования к каноническому виду $w - z_0 = \lambda(z - z_0)$.

1) $w = iz + 4$; 2) $w = z + 1 - 2i$;

Решение.

1) $w = iz + 4$. Так как z_0– неподвижная точка, то она отображается в себя, т.е. $w_0 = z_0$ и тогда $z_0 = iz_0 + 4$. Отсюда $z_0 = 2 + 2i$ и исходное преобразование с учетом неподвижной точки z_0 можно записать в каноническом виде $w - 2 - 2i = i(z - 2 - 2i)$. Оно является композицией гомотетии относительно точки z_0 с коэффициентом $|i| = 1$ и поворота вокруг той же точки на угол $\varphi = \pi/2$

2) $w = z + 1 - 2i$

Указанное преобразование не имеет конечной неподвижной точки z_0, т.к. согласно определению неподвижной точки, она определяется из решения уравнения $z_0 = z_0 + 1 - 2i$. Отсюда получим противоречие $1 - 2i = 0$.

Пример 3. [2]. Найти линейную функцию, отображающую область E: $\mathrm{Im} z \geq 0$ на область D: $Rew + \mathrm{Im} w \leq 0$.

Решение.

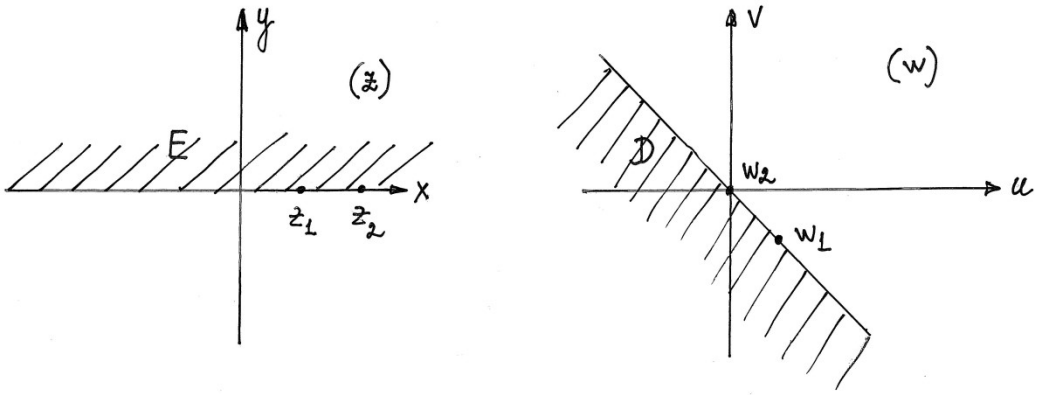


Рис. 1. Переход границы области E в границу области D

Так как искомое отображение является взаимно однозначным, то граница области E (прямая $\mathrm{Im}z = 0$) переходит в границу области D (прямая $Rew + \mathrm{Im}w = 0$) (рис.1).

Эта задача имеет не единственное решение без каких-либо дополнительных условий. Найдем одно из них.

Для этого достаточно выбрать две любые точки z_1 и z_2, принадлежащие границе множества E ($\mathrm{Im}z = 0$) и две любые точки w_1 и w_2 принадлежащие границе области D ($Rew + \mathrm{Im}w = 0$). Пусть $z_1 = 1,\ z_2 = 2$. Отметим, что при движении от z_1 до z_2 область E должна быть слева. Аналогично, при движении от $w_1 = 1 - i$ до $w_2 = 0$ область D тоже должна быть слева. Из двух соотношений $w_1 = az_1 + b$ ($1 - i = a \cdot 1 + b$), $w_2 = az_2 + b$ ($0 = a \cdot 2 + b$) находим a и b:

$$\begin{cases} 1 - i = a + b \\ 0 = 2a + b \end{cases}$$

$$1 - i = -a$$

Таким образом, $a = -1 + i$; $b = -2a = 2 - 2i$ и искомое преобразование примет вид: $w = (-1 + i)z + 2 - 2i$.

Данная задача решается проще геометрически. Для этого границу области E повернем против часовой стрелки на угол $3\pi/4$, и тогда $w = e^{i\frac{3\pi}{4}} z$ также будет решением задачи.

Пример 4 [3]. Найти линейное преобразование, переводящее полосу $1 \le x \le 10$ на полосу $2 \le u \le 4$

Решение.

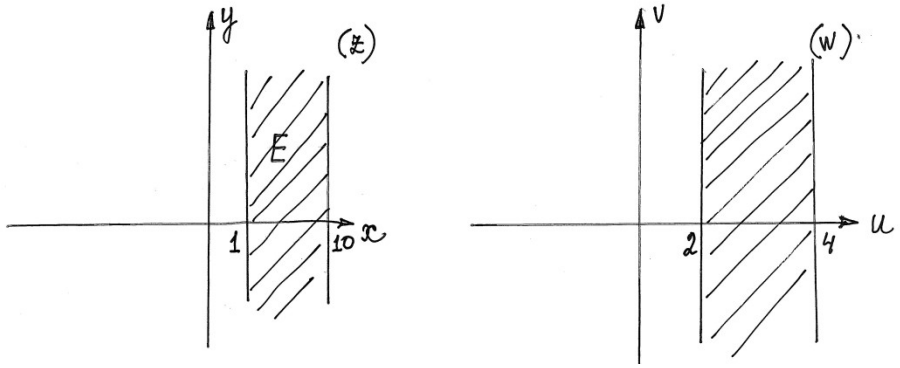


Рис. 2. Геометрическое решение Примера 4

Решим данную задачу геометрически, т.е. осуществим следующую последовательность действий:

1.Сдвинем область E на единицу влево: $w_1 = z - 1$. Образом области E будет область E_1 (рис. 3).

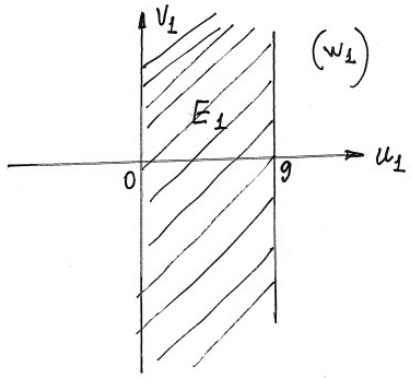


Рис. 3. Область E_1

2. Осуществим сжатие области E_1 на $2/9$: $w_2 = w_1 \cdot 2/9$. Образом области E_1 будет область E_2 (рис. 4).

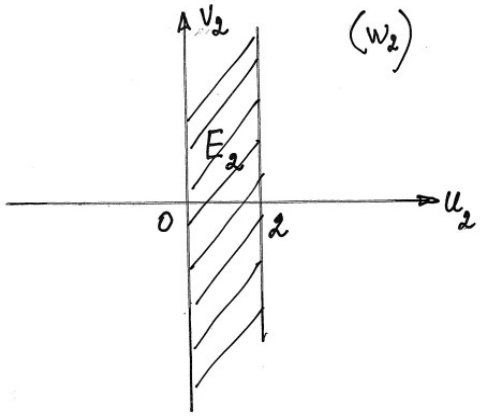


Рис. 4. Область E_2

3.Сдвинем область E_2 вправо на две единицы: $w_3 = w_2 + 2$. Образом области E_2 будет область E_3 (рис. 5).

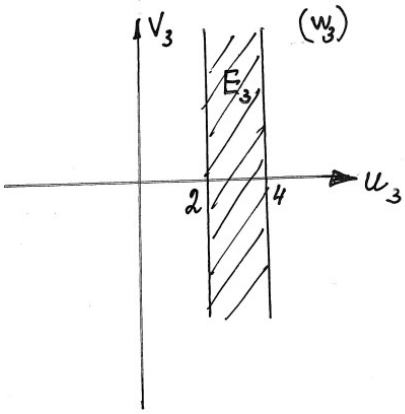


Рис. 5. Область E_3

Искомое отображение примет вид, как суперпозиция его составляющих:

$$w = \frac{(z-1)2}{9} + 2.$$

Пример 5 [3]. Найти функцию, отображающую конформно треугольник с вершинами $-1,\ 0,\ 1+i$ на треугольник с вершинами $0,\ i,\ 1+2i$ (рис. 6).

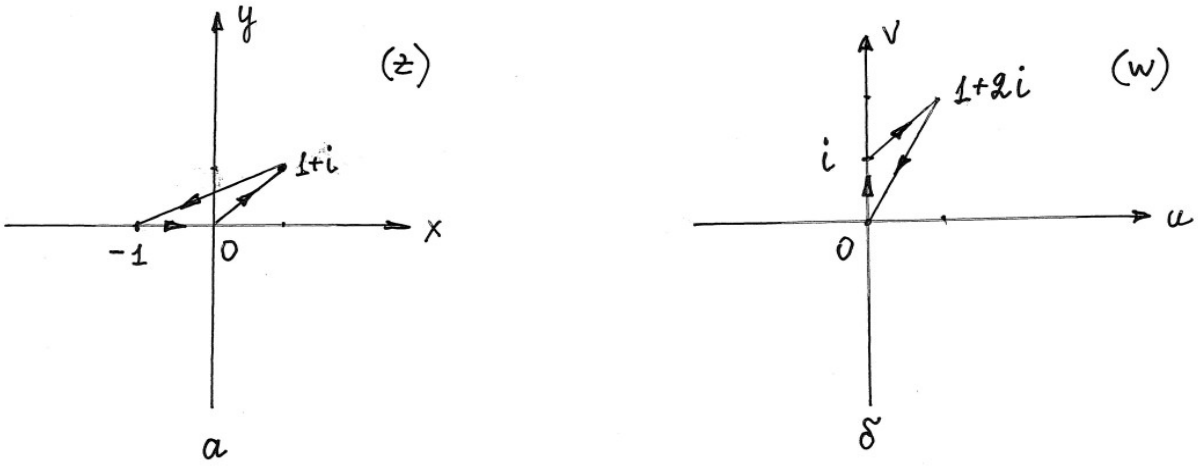


Рис. 6. Конформное отображение треугольника с вершинами $-1,\ 0, 1+i$ на треугольник с вершинами $0,\ i,\ 1+2i$

Решение.

1. Из рис. 6 видно, что ориентация у треугольников в плоскостях z и w противоположна. Поэтому у треугольника на рис. 6а в плоскости z меняем ориентацию на противоположную, т.е. отразим треугольник с вершинами $-1,\ 0,\ 1+i$ на треугольник с вершинами $-1,\ 0,\ 1-i$ (рис. 7).

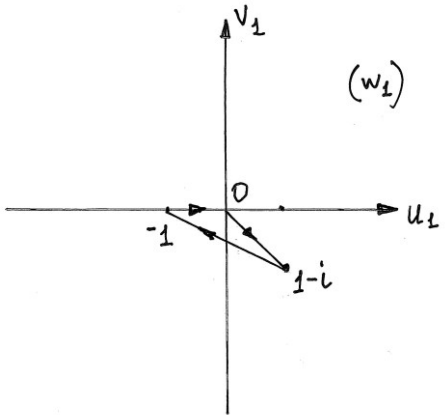


Рис. 7. Отображение треугольника с вершинами $-1,\ 0,\ 1+i$ на треугольник с вершинами $-1,\ 0,\ 1-i$

Данному действию соответствует преобразование $w_1 = \bar{z}$.

2. Поворачиваем треугольник, изображенный на рис.7, на угол $\pi/2$ против часовой стрелки:

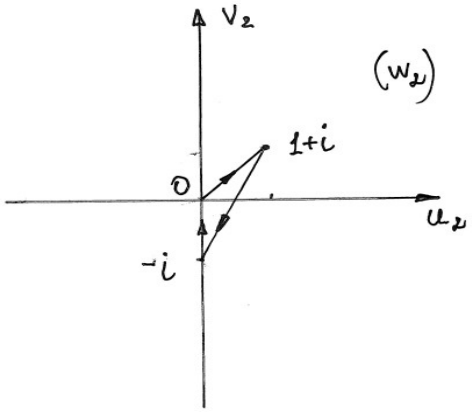


Рис. 8. Поворот треугольника на угол $\pi/2$ против часовой стрелки

Данному действию соответствует преобразование $w_2 = w_1 e^{i\frac{\pi}{2}} = w_1 \cdot i$.

3. Осуществляем параллельный перенос треугольника, изображенного на рис. 8, вверх на i, т.е.: $-i \to 0; 0 \to i; 1+i \to 1+2i$. Отсюда $w_3 = w_2 + i$.

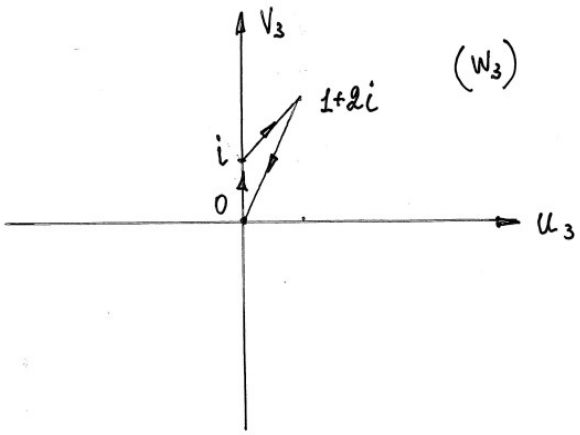


Рис. 9. Искомое преобразование

Таким образом, искомое преобразование примет вид $w = \bar{z}i + i = i(\bar{z} + 1)$, как суперпозиция его составляющих (рис. 9).

Пример 6 [4]. Найти функцию, отображающую конформно круг $|z - c| < R$ на круг $|w - d| < r$ (рис. 10). Для наглядности, пусть $c = 1 + i,\ R = 2,\ d = 2 + i,\ r = 3$.

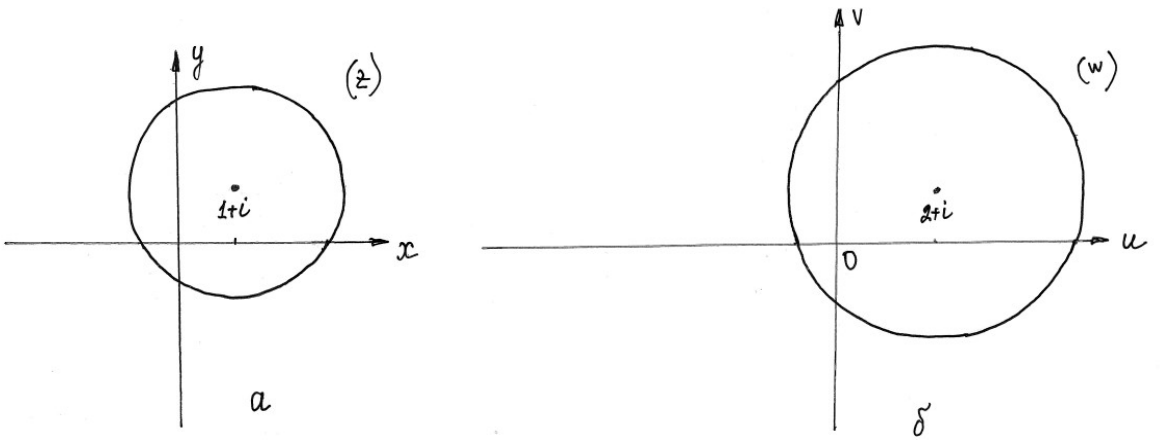


Рис. 10. Отображение конформно круга $|z - c| < R$ на круг $|w - d| < r$

Решение.

1. В плоскости z переносим центр круга (рис.10,а) в начало координат: $w_1 = z - (1 + i)$ (рис. 11).

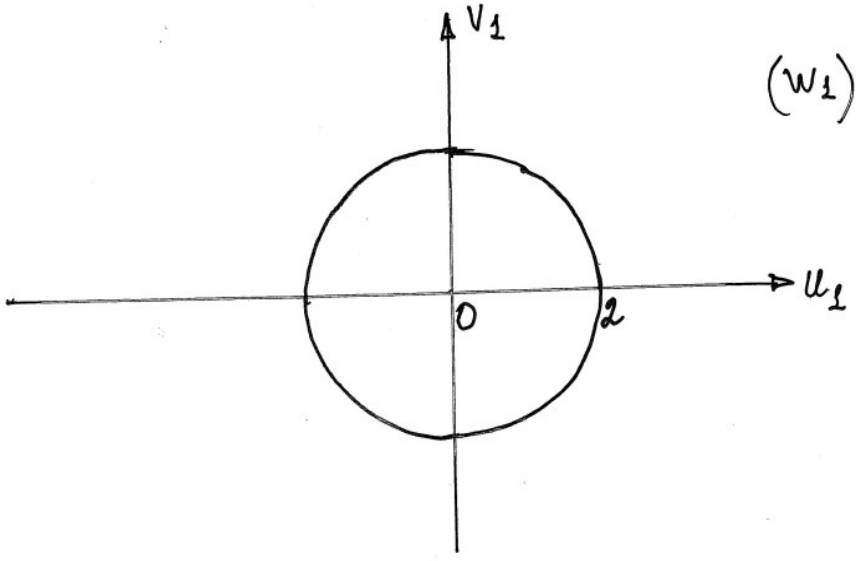


Рис. 11. Перенос центра круга в начало координат

2. Круг, изображенный на рис.11, сжимаем так, чтобы его радиус был равен единице: $w_2 = w_1 \cdot 1/2$ (рис. 12).

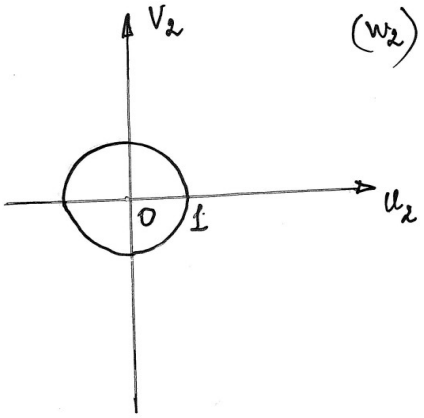


Рис. 12. Сжатие круга, $R=1$

3. Растягиваем круг, изображенный на рис.12, так, чтобы его радиус был равен радиусу круга, изображенному на рис. 10,б: $w_3 = w_2 \cdot 3$ (рис. 13).

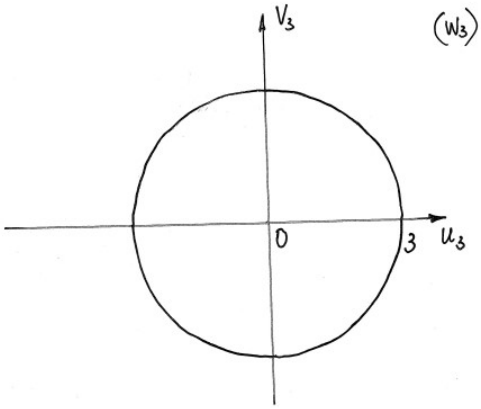


Рис. 13. Растяжение круга

4. Переносим центр круга (рис. 13) из начала координат в точку 2+i: $w_4 = w_3 + (2+i)$. Этому преобразованию соответствует круг, изображенный на рис. 14. Искомое отображение примет вид, как суперпозиции его составляющих: $w = \left(\frac{z-(1+i)}{2}\right)3+(2+i)$.

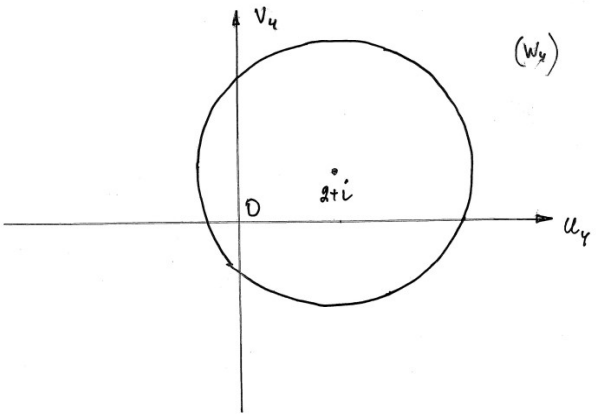


Рис. 14. Круг с центром в точке 2+i

Пример 7 [5], [4]. Найти линейное преобразование, переводящее:

1) верхнюю полуплоскость на себя;

2) верхнюю полуплоскость на нижнюю полуплоскость;

3) верхнюю полуплоскость на правую полуплоскость.

Решение.

1) $w = z \cdot e^{i0} = z$;

2) $w = z \cdot e^{i\pi} = -z$;

3) $w = z \cdot e^{-i\frac{\pi}{2}} = -iz$.

Пример 8. Найти линейную функцию, отображающую полосу $\alpha \le \mathrm{Re}(az) \le b$ на полосу $\gamma \le \mathrm{Re}(bw) \le \delta$ (рис. 15),

$$\mathrm{Re}(az) = \mathrm{Re}(ax + iay) = ax; \quad \frac{\alpha}{a} \le x \le \frac{b}{a},$$

$$\mathrm{Re}(bw) = \mathrm{Re}(bu + ibv) = bu; \quad \frac{\gamma}{b} \le u \le \frac{\delta}{b}.$$

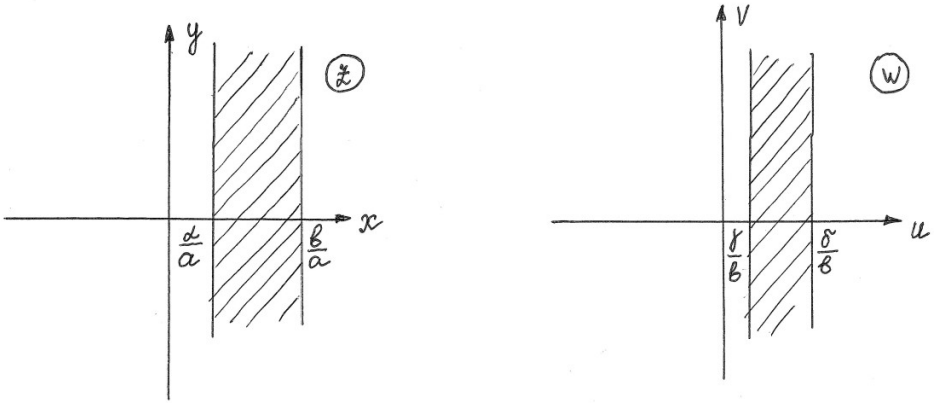


Рис. 15. Функция, отображающая полосу $\alpha \le \mathrm{Re}(az) \le b$ на полосу $\gamma \le \mathrm{Re}(bw) \le \delta$

Для решения поставленной задачи, осуществим следующую последовательность действий:

1. $w_1 = z - \alpha/a$ – сдвиг (рис. 16).

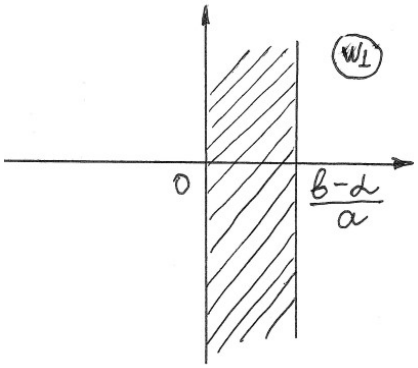


Рис. 16. Сдвиг

2. $w_2 = w_1 \cdot \dfrac{a}{b-\alpha}$ – сжатие (растяжение) (рис. 17).

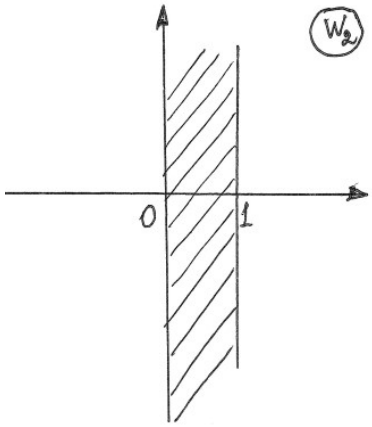


Рис. 17. Растяжение

3. $w_3 = w_2 \cdot \dfrac{\delta-\gamma}{b}$ – сжатие (растяжение) (рис. 18).

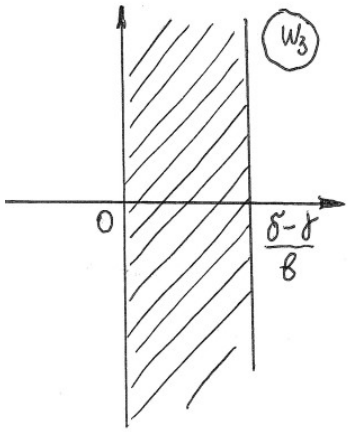


Рис. 18. Сжатие (растяжение)

4. $w_4 = w_3 + \dfrac{\gamma}{b}$ – сдвиг (рис. 19).

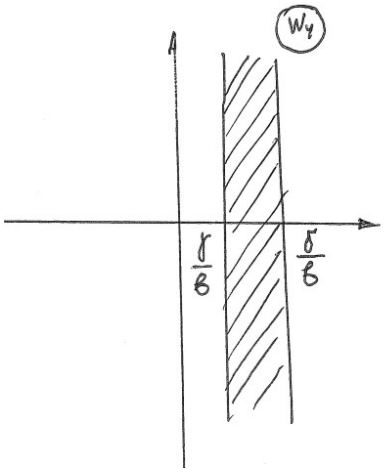


Рис. 19. Сдвиг

Таким образом,

$$w = w_4 = \left(z - \frac{\alpha}{a} \right) \cdot \frac{a}{b - \alpha} \cdot \frac{\delta - \gamma}{b} + \frac{\gamma}{b}.$$

$$w - \frac{\gamma}{b} = \frac{az - \alpha}{b - \alpha} \cdot \frac{\delta - \gamma}{b}.$$

Отсюда искомая линейная функция примет вид:

$$\frac{bw - \gamma}{\delta - \gamma} = \frac{az - \alpha}{b - \alpha}$$

Библиографический список

1. ***Лаврентьев, М.А.*** Методы теории функций комплексного переменного / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат, М.: Наука, 1973. – 736 с.
2. ***Краснов, М.Л.*** Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости / М.Л. Краснов, А.И. Киселев, Г.И. Макаренко, М.: Наука, 1981. – 305 с.
3. ***Волковыский, Л.И.*** Сборник задач по теории функций комплексного переменного / Л.И. Волковыский, Г.Л. Лунц, И.Г. Араманович М., Физматлит, 2006. – 312 с.
4. ***Цыркин, М.Я.*** Задачник-практикум по курсу теории функций комплексного переменного: М.: УЧПЕДГИЗ, 1961. – 64 с.
5. ***Балк, М.Б.*** Задачник-практикум по теории аналитических функций / М.Б. Балк, В.А. Петров, А.А. Полухин, М.: Просвещение, 1976 – 137 с.

РАСЧЕТ СОСТАВА СЛАБОНЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ ЦЕЗИЯ

Л.П. Грушина[1], П.И. Грушин[2]

[1]Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

[2]ООО «ЦРТ-инновации», г. Санкт-Петербург

В статье предлагается система уравнений для расчета состава слабонеидеальной и низкотемпературной плазмы щелочных металлов, что имеет высокую актуальность в связи с возможностью использования их свойств в разных областях науки и техники. В области энергетики данная тема особенно актуальна как для разработки новых более эффективных и безопасных источников энергии, так и для улучшения существующих, включая преобразователи энергии, используя пары щелочных металлов в качестве рабочих веществ. Расчет состава плазмы является важным инструментом для понимания и контроля различных плазменных процессов и технологий. В статье расчет равновесного состава плазмы цезия с учетом слабой неидеальности был проведен с использованием известных термодинамических соотношений и условий ионизационного равновесия Саха.

Ключевые слова: плазма слабонеидеальная, низкотемпературная, термодинамические соотношения, ионизационное равновесие Саха, дебаевское приближение, кратность заряду электрона, химпотенциал, частичная статсумма, потенциал ионизации, снижение потенциала ионизации, энергия сродства атома к электрону.

Целью данной статьи является расчет равновесного состава слабонеидеальной ($\Gamma \leq 0{,}1$) и низкотемпературной ($T < 10^5\,K$) плазмы цезия в области термодинамических параметров: p = $1 \div 30$ атм. и

T = (0,4÷2,0) 10^4K. Рассмотрим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{x_2 x_4}{x_1} = 2\left(\dfrac{2\pi m_e kT}{h^2}\right)^{3/2} exp\left[-\dfrac{I_1}{kT}\left(1-\dfrac{\Delta I_1}{I_1}\right)\right]\dfrac{Q_2}{Q_1} \\ \dfrac{x_3 x_4}{x_2} = 2\left(\dfrac{2\pi m_e kT}{h^2}\right)^{3/2} exp\left[-\dfrac{I_2}{kT}\left(1-\dfrac{\Delta I_2}{I_2}\right)\right]\dfrac{Q_3}{Q_2} \\ x_4 = x_2 + 2x_3 \\ P = kT\sum_{k=1}^{4} x_k + \Delta P_D + \Delta P_{э-н} \\ \Delta P_D = -\dfrac{1}{3}\left(\dfrac{\pi}{kT}\right)^{\frac{1}{2}} e^3 \left(\sum_{k=1}^{4} x_k z_k^2\right)^{\frac{3}{2}}, k = 2,3,4; z_2 = 1; z_3 = 2; z_4 = -1 \\ \Delta P_{э-а} = \dfrac{-\pi^2 e^{\frac{3}{2}} \alpha^{\frac{3}{4}} \varepsilon^{\frac{1}{4}}}{2^{\frac{3}{4}}} x_1 \sum_k x_k z_k^2, \qquad k = 2,4. \end{cases} \tag{1}$$

Первое и второе уравнения системы – уравнения ионизационного равновесия Саха [1,2] для реакций: $C_s \rightleftarrows C_s^+ + e^-$, $Cs^+ \rightleftarrows Cs^{++} + e^-$,

$x_1 \quad x_2 \quad x_4 \qquad x_2 \quad x_3 \quad x_4$

где x_1, x_2, x_3, x_4 – концентрации, а I_1, ΔI_1 и $I_2, \Delta I_2$ – потенциалы и снижения потенциалов ионизации C_s и C_s^+ для этих реакций соответственно; Q_1, Q_2, Q_3 – статсуммы по электронным состояниям атома, однократно и двукратно ионизованного цезия, для электрона $Q_4 = 2$ [3,4]. Третье уравнение – условие электронейтральности. Четвертое уравнение – уравнение состояния слабонеидеальной плазмы. Пятое и шестое уравнения – вклады в давление взаимодействия (ΔP_D) заряженных частиц [5,6] и вклады взаимодействия ($\Delta P_{з-а}$) «заряд-атом» [7].

Полученную систему уравнений (1) приводим к безразмерному виду, используя следующие обозначения:

$$\begin{cases} P = \tilde{P} \cdot 1{,}013 \cdot 10^6 \ \ (p\left[\frac{\text{дин}}{\text{см}^{-2}}\right], \tilde{p} \text{ в атм}) \\ x = \tilde{x} \cdot 10^{20}, \text{ см}^{-3} \\ T = \tilde{T} \cdot 10^4, K \end{cases} \qquad (2)$$

Рассчитаем снижение потенциалов ионизации ΔI_1 и ΔI_2 через вклады в химпотенциалы взаимодействия заряженных частиц [5,6] – дебаевское приближение ($\Delta\mu_D$) и взаимодействия «заряд – атом» ($\Delta\mu_{з-а}$) [7]. Итак,

$\Delta\mu_{D,k} = -\left(\frac{\pi}{kT}\right)^{1/2} e^3 \left(\sum_j n_j z_j^2\right)^{1/2} z_k^2$ – дебаевское приближение (3)

для к –ой компоненты;

$\Delta\mu_{з-а} = -\frac{1}{2}\frac{\pi^2}{d}\alpha e^2 (\sum_к n_к z_к^2)$ – для атомной компоненты; (4)

$\Delta\mu_{з-а} = -\frac{1}{2}\frac{\pi^2}{d}\alpha e^2 n_a z_k^2$ – для заряженных компонент, (5)

где z_k.– кратность заряду к–ой компоненты; для иона $z_2 = 1$, для электрона $z_4 = -1$, для двукратного иона $z_3 = 2$, а величина d равна: $d = \left(\frac{\alpha e^2}{2\varepsilon}\right)^{1/4}$, где α – поляризуемость e – заряд электрона, а ε – энергия сродства атома к электрону [4]. Для реакции $C_s \rightleftarrows C_s^+ + e^-$

$x_1 \quad x_2 \quad x_4$

снижение потенциала ионизации ΔI_1 равно [2,8]:

$$\Delta I_1 = \Delta\mu_1 - \Delta\mu_2 - \Delta\mu_4.$$

Используя формулы (3,4,5) получим

$$\Delta\mu_1 = \Delta\mu_{з-а}^{(1)} = -\frac{1}{2}\frac{\pi^2}{d}\alpha e^2 \sum_{k=2,\,k=4} x_k z_k^2 = -\frac{\pi^2}{2d}\alpha e^2 (x_2 + x_4),$$

$$\Delta\mu_2 = \Delta\mu_{з-а}^{(2)} + \Delta\mu_D^{(2)} = -\frac{1}{2}\frac{\pi^2}{d}\alpha e x_1 z_2^2 - \left(\frac{\pi}{kT}\right)^{1/2} e^3 (x_2 + x_4)^{1/2} z_2^2,$$

$$\Delta\mu_4 = \Delta\mu_{з-а}^{(4)} + \Delta\mu_D^{(4)} = -\frac{1}{2}\frac{\pi^2}{d}\alpha e^2 x_1 z_4^2 - \left(\frac{\pi}{kT}\right)^{1/2} e^3 (x_2 + x_4)^{1/2} z_4^2.$$

Так как $z_4^2 = z_2^2 = 1$, $\Delta\mu_2 = \Delta\mu_4$, получим следующее выражение для ΔI_1:

$$\Delta I_1 = 2\left(\frac{\pi}{kT}\right)^{1/2} e^3 (x_2 + x_4)^{1/2} + \frac{\pi^2}{2d}\alpha e^2 \left[2x_1 - (x_2 + x_4)^{1/2}\right]$$

Подставим числовые значения констант и, учитывая, что $x = \tilde{x} \cdot 10^{20}$, $T = \tilde{T} \cdot 10^4$, получим:

$$2\left(\frac{\pi}{kT}\right)^{1/2} e^3 (x_2 + x_4)^{1/2} = 3{,}34325314 \cdot \tilde{T}^{-1/2} (\tilde{x}_2 + \tilde{x}_4)^{1/2} \cdot 10^{-12},$$

$$\frac{\pi^2}{2d}\alpha e^2 \left[2x_1 - (x_2 + x_4)^{1/2}\right] = 1{,}12951030 \left[2\tilde{x}_1 - (\tilde{x}_2 + \tilde{x}_4)^{1/2}\right] \cdot 10^{-14}.$$

Вклад второго слагаемого на два порядка меньше и им можно пренебречь. Таким образом,

$$\Delta I_1 = 3{,}34325314 \cdot \tilde{T}^{-1/2} (\tilde{x}_2 + \tilde{x}_4)^{1/2} \cdot 10^{-12}.$$

Определим $\frac{\Delta I_1}{I_1}$ и $\frac{I_1}{kT}$, подставив числовые значения констант и учитывая, что для цезия $I_1 = 6{,}232519 \cdot 10^{-12}$эрг:

$$\frac{\Delta I_1}{I_1} = \mathrm{A}_3 \left(\frac{\tilde{x}_2 + \tilde{x}_4}{\tilde{T}}\right)^{1/2}, \qquad \frac{I_1}{kT} = \frac{\mathrm{A}_2}{\tilde{T}},$$

где $\mathrm{A}_2 = 4{,}514153$, $\mathrm{A}_3 = 0{,}536421$.

Рассмотрим реакцию ионизации Cs^+и определим ΔI_2:

$$Cs^+ \rightleftarrows Cs^{++} + e^-$$

$$x_2 \quad x_3 \quad x_4$$

Здесь учитываются только вклады взаимодействия заряженных частиц (3):

$$\Delta I_2 = \Delta\mu_2 - \Delta\mu_3 - \Delta\mu_4$$

$$\Delta\mu_2 = \Delta\mu_{D,2} = -\left(\frac{\pi}{kT}\right)^{\frac{1}{2}} e^3 (x_2 + 4x_3 + x_4)^{\frac{1}{2}} \cdot 1,$$

$$\Delta\mu_3 = \Delta\mu_{D,3} = -\left(\frac{\pi}{kT}\right)^{\frac{1}{2}} e^3 (x_2 + 4x_3 + x_4)^{\frac{1}{2}} \cdot 2^2,$$

$$\Delta\mu_4 = \Delta\mu_{D,4} = -\left(\frac{\pi}{kT}\right)^{\frac{1}{2}} e^3 (x_2 + 4x_3 + x_4)^{\frac{1}{2}} \cdot 1.$$

Теперь подставим полученные вклады $\Delta\mu_2$, $\Delta\mu_3$, $\Delta\mu_4$ в формулу для ΔI_2:

$$\Delta I_2 = 4\left(\frac{\pi}{kT}\right)^{\frac{1}{2}} e^3 (x_2 + 4x_3 + x_4)^{\frac{1}{2}}.$$

Поделим ΔI_2 на I_2 ($I_2 = 40{,}214497 \cdot 10^{-12}$ эрг – потенциал ионизации Cs^{++}) и I_2 на kT. Используя числовые значения констант и взяв концентрации частиц в безразмерном виде, приходим к следующим выражениям:

$$\frac{\Delta I_2}{I_2} = A_5 \cdot \left(\frac{\tilde{x}_2 + 4\tilde{x}_3 + \tilde{x}_4}{\tilde{T}}\right)^{\frac{1}{2}}, \qquad \frac{I_2}{kT} = \frac{A_4}{\tilde{T}},$$

где $A_4 = 29{,}127309$, $A_5 = 0{,}166269$.

Таким образом, первое и второе уравнения системы примут вид:

$$\frac{\tilde{x}_2\tilde{x}_4}{\tilde{x}_1} = A_1 \tilde{T}^{3/2} exp\left\{-\frac{A_2}{\tilde{T}}\left[1 - A_3\left(\frac{\tilde{x}_2+\tilde{x}_4}{\tilde{T}}\right)^{1/2}\right]\right\} Q_2 / Q_1$$

$$\frac{\tilde{x}_3\tilde{x}_4}{\tilde{x}_2} = A_1 \cdot \tilde{T}^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\exp\left\{-\frac{A_4}{\tilde{T}}\left[1 - A_5\left(\frac{\tilde{x}_2+4\tilde{x}_3+\tilde{x}_4}{\tilde{T}}\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right\} Q_3}{Q_2},$$

где $A_1 = 2\left(\frac{2\pi m_e k}{h^2}\right)^{3/2} = 48{,}294342 \cdot 10^{20}$.

Определим вклады в давление взаимодействия заряженных частиц между собой (дебаевское приближение) – ΔP_D и взаимодействия заряженных частиц с атомами – $\Delta P_{з-а}$ – это пятое и шестое уравнения системы (1). Для реакции

$$Cs \rightleftarrows Cs^+ + e^-$$

$$x_1 \quad x_2 \quad x_4$$

вклад в давление частиц «заряд-атом» будет равен:

$$\Delta P_{з-а} = \frac{-\pi^2 e^{\frac{3}{2}} \alpha^{\frac{3}{4}} \varepsilon^{\frac{1}{4}}}{2^{\frac{3}{4}}} x_1 \sum_k x_k z_k^2 = -\frac{\pi^2 e^{\frac{3}{2}} \alpha^{\frac{3}{4}} \varepsilon^{\frac{1}{4}}}{2^{\frac{3}{4}}} (x_2 + x_4) x_1,$$

где суммирование проводится по заряженным частицам – $k = 2; 4$.

Определим вклад в давление (ΔP_D) всех заряженных частиц в реакции:

$$Cs^+ \rightleftarrows Cs^{++} + e^-$$

Согласно пятому уравнению системы (1), он будет равен:

$$\Delta P_D = -\frac{1}{3}\left(\frac{\pi}{kT}\right)^{\frac{1}{2}} e^3 \sum_{k=2}^{4} x_k z_k^2 = -\frac{1}{3}\left(\frac{\pi}{kT}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^3 (x_2 + 4 \cdot x_3 + x_4)^{\frac{3}{2}}.$$

С учетом полученных добавок уравнение состояния примет вид:

$$P = kT(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) - \frac{\pi^2 e^{\frac{3}{2}} \alpha^{\frac{3}{4}} \varepsilon^{\frac{1}{4}}}{2^{\frac{3}{4}}}(x_2 + x_4)x_1$$

$$-\frac{1}{3}\left(\frac{\pi}{kT}\right)^{\frac{1}{2}} e^3 (x_2 + 4x_3 + x_4)^{\frac{3}{2}}.$$

Поделим выражение для давления на κT, далее подставим числовые значения констант и, взяв величины P, T, x в безразмерном виде –

$$P = \tilde{P} \cdot 1{,}013 \cdot 10^6, x = \tilde{x} \cdot 10^{20}, T = \tilde{T} \cdot 10^4,$$ получим:

$$\frac{P}{kT} = \frac{1{,}013 \cdot 10^6 \cdot \tilde{P}}{1{,}38066 \cdot \tilde{T} \cdot 10^4} = A_6 \frac{\tilde{P}}{\tilde{T}} \cdot 10^{20},$$

$$\frac{\Delta P_{3-a}}{kT} = -\frac{\pi^2 e^{\frac{3}{2}} \alpha^{\frac{3}{4}} \varepsilon^{\frac{1}{4}}}{2^{\frac{3}{4}} kT}(x_2 + x_4)x_1 = -A_7 \frac{(\tilde{x}_2 + \tilde{x}_4)\tilde{x}_1}{\tilde{T}} \cdot 10^{20},$$

$$\frac{\Delta P_D}{kT} = -\frac{1}{3}\left(\frac{\pi}{kT}\right)^{\frac{1}{2}} e^3 \frac{(x_2 + 4x_3 + x_4)^{\frac{3}{2}}}{kT} = -\frac{A_8 (\tilde{x}_2 + 4\tilde{x}_3 + \tilde{x}_4)^{\frac{3}{2}}}{\tilde{T}^{\frac{3}{2}}} \cdot 10^{20},$$

где $A_6 = 0{,}007337$, $A_7 = 0{,}00817262$, $A_8 = 0{,}403581$.

Окончательно получаем следующее выражение:

$$A_6 \frac{\tilde{P}}{\tilde{T}} = (\tilde{x}_2 + \tilde{x}_3 + \tilde{x}_4) + \left(1 - A_7 \frac{\tilde{x}_2 + \tilde{x}_4}{\tilde{T}}\right)\tilde{x}_1 - A_8 \frac{(\tilde{x}_2 + 4\tilde{x}_3 + \tilde{x}_4)^{\frac{3}{2}}}{\tilde{T}^{\frac{3}{2}}}.$$

Учитывая, что $x_4 = x_2 + 2x_3$, данное выражение можно привести к виду:

$$A_6 \frac{\tilde{P}}{\tilde{T}} = \frac{3\tilde{x}_4 + \tilde{x}_2}{2} + \left(1 - A_7 \frac{\tilde{x}_2 + \tilde{x}_4}{\tilde{T}}\right)\tilde{x}_1 - A_8 \frac{(3\tilde{x}_4 - \tilde{x}_2)^{\frac{3}{2}}}{\tilde{T}^{\frac{3}{2}}}.$$

Сейчас наша система уравнений будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} \dfrac{\widetilde{x_4}\widetilde{x_2}}{\widetilde{x_1}} = A_1 \tilde{T}^{\frac{3}{2}} \exp\left\{-\dfrac{A_2}{\tilde{T}}\left[1 - \dfrac{A_3}{\tilde{T}^{\frac{1}{2}}}(\widetilde{x_2} + \widetilde{x_4})^{\frac{1}{2}}\right]\right\}\dfrac{Q_2}{Q_1} \\ \dfrac{\widetilde{x_3}\widetilde{x_4}}{\widetilde{x_2}} = A_1 \tilde{T}^{\frac{3}{2}} \exp\left\{-\dfrac{A_4}{\tilde{T}}\left[1 - \dfrac{A_5}{\tilde{T}^{\frac{1}{2}}}(3\widetilde{x_4} + \widetilde{x_2})^{\frac{1}{2}}\right]\right\}\dfrac{Q_3}{Q_2} \\ \widetilde{x_4} = \widetilde{x_2} + 2\widetilde{x_3} \\ A_6 \dfrac{\tilde{P}}{\tilde{T}} = \dfrac{3\tilde{x}_4 + \tilde{x}_2}{2} + \left(1 - A_7 \dfrac{\tilde{x}_2 + \tilde{x}_4}{\tilde{T}}\right)\tilde{x}_1 - A_8 \dfrac{(3\tilde{x}_4 + \tilde{x}_2)^{\frac{3}{2}}}{\tilde{T}^{\frac{3}{2}}}. \end{cases} \quad (6)$$

Как показывают расчеты в книге [4], вклады двукратной ионизации существенны только при T>10000 K, поэтому при меньших температурах можно считать, что $\widetilde{x_3} = 0$ и $\widetilde{x_2} = \widetilde{x_4}$. При этих условиях система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{\widetilde{x_2}^2}{\widetilde{x_1}} = A_1 \tilde{T}^{\frac{3}{2}} \exp\left\{-\dfrac{A_2}{\tilde{T}}\left[1 - \dfrac{A_3}{\tilde{T}^{\frac{1}{2}}}(\widetilde{2x_2})^{\frac{1}{2}}\right]\right\}\dfrac{Q_2}{Q_1} \\ \widetilde{x_4} = \widetilde{x_2} \\ A_6\dfrac{\tilde{P}}{\tilde{T}} = \dfrac{\widetilde{4x_2}}{2} + \left(1 - A_7\dfrac{\widetilde{2x_2}}{\tilde{T}}\right)\tilde{x}_1 - A_8\dfrac{(\widetilde{2x_2})^{\frac{3}{2}}}{\tilde{T}^{\frac{3}{2}}} \end{cases} \quad (7)$$

Обозначим за y = $(2\tilde{x})^{\frac{1}{2}}$, тогда первое уравнение системы (7):

$$y^4 = 4\widetilde{x_1}A_1\tilde{T}^{\frac{3}{2}}\exp\left\{-\frac{A_2}{\tilde{T}}\left[1 - \frac{A_3}{\tilde{T}^{\frac{1}{2}}}y\right]\right\}\frac{Q_2}{Q_1}. \quad (8)$$

Выразим x_1 из второго уравнения системы (7) и подставим в уравнение (8):

$$\frac{y^4}{\tilde{T}^{\frac{3}{2}}}f(y,\tilde{T})\left(1 - A_7\frac{y^2}{\tilde{T}}\right) - A_8\frac{y^3}{\tilde{T}^{\frac{3}{2}}} - A_6\frac{\tilde{P}}{\tilde{T}} + y^2 = 0,$$

где

$$f(y,\tilde{T}) = 4A_1\exp\left\{\frac{A_2}{\tilde{T}}\left[1 - \frac{A_3}{\tilde{T}^{\frac{1}{2}}}y\right]\right\}\frac{Q1}{Q2}. \quad (9)$$

При решении уравнения (9) – уравнения четвертой степени был задан диапазон значений для y исходя из физического смысла, а именно $y > 0$ и $\left[1 - \frac{A_3}{\tilde{T}^{\frac{1}{2}}}y\right] > 0$. При $A_3 = 0{,}536420842$ и $\tilde{T}_{max} = 2{,}0$ получаем, что $0 < y < 3$.

При расчетах была применена программа, использующая метод половинного деления, который дает хорошую сходимость.

Как следует из таблицы, приведенной ниже, полученные значения концентраций достаточно близки к данным источника [4].

Таблица 1

p	ионы			атомы			T
	расчитанные	табличные	погрешность	расчитанные	табличные	погрешность	
1	0,0012868429	0,001268	1,49%	0,0157639491	0,01537	2,56%	0,4
1	0,0033174400	0,003242	2,33%	0,0084793331	0,008151	4,03%	0,5
1	0,0046825432	0,004539	3,16%	0,0034952662	0,003311	5,57%	0,6
1	0,0048534158	0,004702	3,22%	0,0013020721	0,00123	5,86%	0,7
1	0,0045092825	0,004382	2,90%	0,0005178233	0,0004915	5,36%	0,8
1	0,003692185	0,003604	2,45%	0,0001146252	0,0001095	4,68%	1
1	0,003074065	0,003008	2,20%	0,0000355949	0,00003416	4,20%	1,2
1	0,0024448	0,002395	2,08%	0,0000090495	0,000008731	3,65%	1,5
1	0,001437865	0,001425	0,90%	0,0000015976	0,000001348	18,52%	2

P	ионы			атомы			T
	расчитанные	табличные	погрешность	расчитанные	табличные	погрешность	
3	0,002523452	0,002417	4,40%	0,049908659	0,0488	2,27%	0,4
3	0,007252868	0,00676	7,29%	0,031032371	0,03028	2,48%	0,5
3	0,011621099	0,01078	7,80%	0,016107165	0,01577	2,14%	0,6
3	0,013290898	0,01249	6,41%	0,007478271	0,007342	1,86%	0,7
3	0,013044171	0,01242	5,03%	0,003459287	0,003393	1,95%	0,8
3	0,0110867	0,01073	3,32%	0,000887832	0,0008642	2,73%	1
3	0,0092965	0,009055	2,67%	0,000292559	0,0002837	3,12%	1,2
3	0,00739915	0,007235	2,27%	0,00007738	0,00007502	3,14%	1,5
3	0,00503285	0,004936	1,96%	0,000013992	0,00001309	6,89%	2
10	0,005319199	0,005018	6,00%	0,172388711	0,1682	2,49%	0,4
10	0,015856422	0,01481	7,07%	0,117629807	0,1159	1,49%	0,5
10	0,028088885	0,02596	8,20%	0,071756592	0,07246	0,97%	0,6
10	0,036375281	0,03341	8,88%	0,04036433	0,0417	3,20%	0,7
10	0,039829444	0,03624	9,90%	0,02225881	0,02313	3,77%	0,8
10	0,03660445	0,03435	6,56%	0,007214381	0,007356	1,93%	1
10	0,03123555	0,02997	4,22%	0,00268018	0,002679	0,04%	1,2
10	0,02498085	0,02427	2,93%	0,000770808	0,0007588	1,58%	1,5
10	0,0179669	0,01758	2,20%	0,000147157	0,0001442	2,05%	2
30	0,011417116	0,01058	7,91%	0,527703206	0,5113	3,21%	0,4
30	0,033984605	0,03139	8,27%	0,378558497	0,3737	1,30%	0,5
30	0,056879106	0,05675	0,23%	0,25000634	0,2597	3,73%	0,6
30	0,07194083	0,0776	7,29%	0,157040872	0,1717	8,54%	0,7
30	0,081207255	0,08986	9,63%	0,097025825	0,1099	11,71%	0,8
30	0,090918	0,09428	15,80%	0,04010755	0,04416	9,18%	1
30	0,0843975	0,08681	8,74%	0,017462521	0,01853	5,76%	1,2
30	0,0760715	0,07258	4,81%	0,005742712	0,005856	1,93%	1,5
30	0,0560165	0,05418	3,39%	0,0012053	0,001214	0,72%	2

Из табл. 1 следует, что максимальное отличие (ε_{max}) полученных результатов от расчетов книги [4] составляет:

Для атомов

1) P =1 атм.; T = 2,0· 10^4K; ε_{max}= 18,52%.

Это связано с тем, что при высоких температурах нужно учитывать двукратные ионы.

2) P = 30 атм; T = 1,0· 10^4K; ε_{max}= 11,71%

Это, возможно, связано с тем, что при высоких давлениях рассматриваемая плазма не будет слабонеидеальной [4].

Для ионов

1) Р, атм.=10; Т = 0,8· 10^4К; ε_{max}= 9,90%

2) Р, атм.=30; Т = 0,8· 10^4К; ε_{max}= 9,63%

Для ионов при Р = 30атм. и Т = 1,0· 10^4К при значениях 0,090918 – рассчитанных и 0,09428 – данных в книге [4], отличие составляет 3,60% вместо 15, 80%, указанных в таблице (очевидно сбой в программе).

Итак, практически во всем диапазоне давлений и температур наблюдается хорошее согласие полученных результатов и предложенных в книге [4], что показывает табл. 2.

Таблица 2

Р, атм.	$\tilde{T} \cdot 10^4$К	ε_{max}, %	Р, атм.	$\tilde{T} \cdot 10^4$К	ε_{max}, %
1	0,4÷2,0	3,22	1	0,4÷1,5	5,86
3	0,4÷2,0	7,80	3	0,4÷1,5	3,14
10	0,4÷2,0	9,90	10	0,4÷2,0	3,77
30	0,4÷2,0	9,63	30	0,4÷2,0	9,18

На примере расчета равновесного состава плазмы цезия делаем выводы, что данная система уравнений в первом приближении с хорошей степенью точности может быть использована для быстрого расчета концентраций частиц щелочных металлов, что очень важно для плазменных процессов и технологий, где щелочные металлы являются рабочими веществами.

Список постоянных величин и введенных констант.

Список постоянных величин	**Список введенных констант**
k = 1,380662· 10^{-16} эрг · k^{-1}	A_1 = 48,294342
$m_e = 9{,}109534 \cdot 10^{-28}$г	A_2 = 4,514153
h = 6,626176· 10^{-27}эрг · с	A_3 = 0,536421
e = 4,803259 · 10^{-10}ед.СГСЭ	A_4 = 29,127309
I_1 = 3.89 эв = $6{,}232519 \cdot 10^{-12}$эрг	A_5 = 0,166269
I_2 = 25,1 эв = 40, 2150· 10^{-12}эрг	A_6 = 0,0072429
ε = 0,47 эв = 0,75302· 10^{-12} эрг	A_7 = 0,0081726
α = 16,6 а.е.= $0{,}2457396 \cdot 10^{-23}$см^3	A_8 = 0,403581

Библиографический список

1. ***Ваулин, Е.П.*** Физика ионизованных газов. М.: Московский авиационный институт, 1980. – 63 с.

2. ***Котельников, И.А.*** Лекции по физике плазмы. Том 1: Основы физики плазмы. – 3-е изд. – СПб.: Лань, 2021. – 400 с.
3. Термодинамические свойства индивидуальных веществ / Л.В. Гурвич, В.П. Глушко, И.В. Вейц, Г.А. Хачкурузов и др. - М.: АНСССР, 1962. – 916с.
4. Теплофизические свойства рабочих сред газофазного ядерного реактора / В.К. Грязнов, И.Л. Иосилевский, Ю.Г. Красников и др. / Под ред. В. М. Иевлева. – М.: Атомиздат, 1980.–304 с.
5. ***Кудрин, Л.П.*** Статистическая физика плазмы. М.: Атомиздат, 1977. – 496 с.
6. ***Франк-Каменецкий, Д. А.*** Лекции по физике плазмы : учебное пособие / Д. А. Франк-Каменецкий ; Д. А. Франк-Каменецкий. – 3-е изд.. – Долгопрудный : Изд. Дом Интеллект, 2008.
7. ***Крутцов, М.О.*** Новый подход к расчету состава слабонеидеальной плазмы щелочных металлов / М. О. Крутцов // Наука молодых : Сборник научных статей участников XV Всероссийской научно- практической конференции, Арзамас, 22–23 декабря 2022 года. – Арзамас, 2023. – С. 239-245.
8. ***Смирнов, Б.М.*** Физика слабоионизированного газа. М.: Главная редакция ф. м. литературы «Наука», Москва, 1985. – 423 с.

СПОСОБЫ УСКОРЕНИЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЧАСТНОЙ ЗАДАЧЕ НАВИГАЦИИ

М.Н. Гусев
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрено применение алгоритма машины экстремального обучения в задаче навигации. Описаны способы сокращения вычислений: использование неперекрывающегося перемещаемого окна и обхода расчета псевдообратной матрицы при помощи QR-факторизации.

***Ключевые слова**: комплексирование, инерциальная навигация, ELM.*

Навигационные параметры рассчитываются вычислителем, что находится непосредственно внутри объекта навигации. Это часто является ограничивающим фактором для вычислителя, поскольку сам объект навигации может иметь компактные размеры или не подразумевать дорого оборудования. В связи с этим, способы ускорения расчетов алгоритмов навигации является актуальной задачей.

Рассмотрим реализацию на основе искусственного интеллекта (ИИ), к которым в последние годы наблюдается возросший интерес [1,2,3]. Была использована реализация на основе методов машинного обучения, а именно машины экстремального обучения (Extreme Learning Machine – ELM) [4]. Данный выбор связан с простотой структуры ELM и, как следствие, высокой скоростью обучения нейронной сети на основе данного алгоритма.

В нашем случае сеть получилась с прямым распространением, состоящая из одного скрытого слоя (в начале инициализируется случайными значениями и далее не корректируются) [5]. Использование всего одного слоя обусловлено стремлением максимально быстро проводить обучение нейронной сети (НС). Помимо этого, сами слои должны содержать оптимальное количество нейронов. Архитектура НС продемонстрирована на рис. 1.

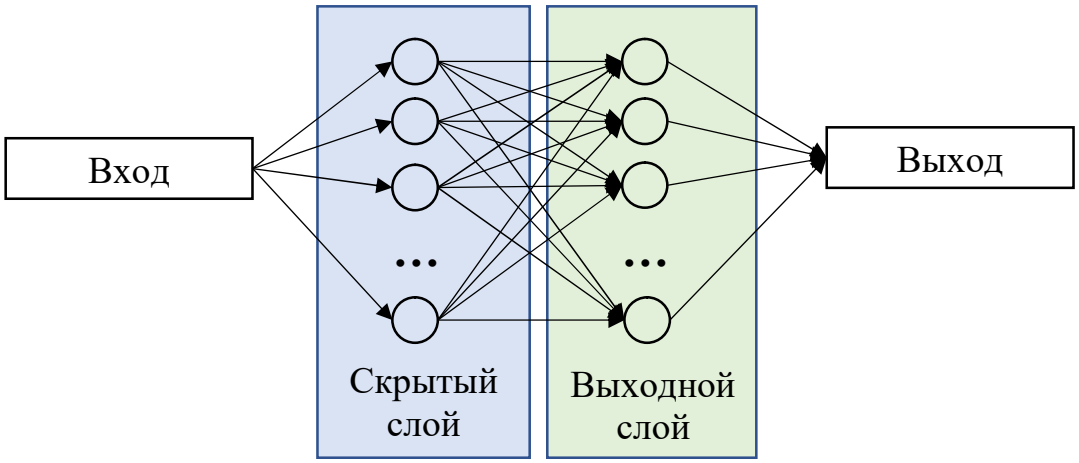


Рис. 1. Архитектура НС

В качестве входной информации примем датчики первичной информации (ДПИ, S), а именно три показания гироскопов и три показания акселерометров. В качестве выходной информации – ошибка отклонения ДПИ (ΔX), так же состоящей из шести параметров. Для обучения НС необходима эталонная информация, мы будем использовать информацию, получаемую со спутника. Таким образом алгоритм ELM имеет два режима работы:

- с наличием спутниковой информации: происходит обучение НС;
- без спутниковой информации: НС предсказывает ошибки ДПИ по эталонной информации.

Рассмотрим алгоритм ELM:

1) расчет отклика входного слоя (матрица обучающей информации умножается на веса входного слоя и применяется функция активации);

$$H = F\left(S \cdot W_{in}\right)$$

2) вычисление псевдообратной матрицы отклика входного слоя;

$$\left(H\right)^{\dagger}$$

3) расчет весов выходного слоя (псевдообратная матрица умножается на вектор желаемого результата)

$$W_{out} = \left(H\right)^{\dagger} \cdot \Delta X$$

Как видно из этапов классического алгоритма ELM, для корректного обучения необходимо вычислить псевдообратную матрицу. Данный этап является самым трудоемким и численно неустойчивым, что только усугубляется при больших размерах матрицы. В качестве альтернативы, предлагается привести эту задачу к стандартной задаче наименьших квадратов, используя QR-факторизацию [6].

Алгоритм ELM с использованием QR-факторизации:

1) расчет отклика входного слоя (матрица обучающей информации умножается на веса входного слоя и применяется функция активации)

$$H = F\left(S \cdot W_{in}\right);$$

2) объединяем результат отклика входного слоя с входной матрицей:

$$U_1 = \begin{bmatrix} H & S \end{bmatrix};$$

3) объединяем матрицу U_2 с прошлого такта с объединенной матрицей с прошлого этапа U_1 (в случае, если текущий вызов – первый, присваиваем значения U_1 в U_2):

$$U_2 = \begin{bmatrix} U_2 \\ U_1 \end{bmatrix};$$

4) вычисляем матрицы Q и R раскладывая через QR-факторизацию объединенную матрицу с предыдущего этапа:

$$\begin{bmatrix} Q & R \end{bmatrix} = qr\left(U_2, 0\right);$$

5) сохраняем для следующей итерации матрицу U_2:

$$U_2 = R;$$

6) раскладываем матрицу R на три составляющие:

$$R = \begin{bmatrix} Xt & St \\ 0 & Yt \end{bmatrix},$$

где Xt - квадратная матрица;

7) вычисление обратной матрицы Xt:

$$\left(Xt\right)^{-1};$$

8) расчет весов выходного слоя (произведение обратной матрицы Xt и матрицы St)

$$W_{out} = \left(Xt\right)^{-1} \cdot St\,.$$

Проведем анализ точности нового алгоритма. Подадим на вход обоих алгоритмов одинаковый набор входных данных. Вычислим разницу полученных матриц. Рассчитаем вторую спектральную норму полученной разницы. Результат не превысил значения 10^{-11}, что указывает на достаточную точность для нашей задачи.

Использование нового алгоритма ELM с QR-факторизацией позволило в нашем случае добиться адекватного быстродействия и использовать его в реальном вычислителе.

Однако, вычислитель не успевал обучать НС на каждом такте, что приводило к нарушению порядка выполнения всех последующих вычислений. Чтобы обойти данную проблему, было решено неперекрывающееся перемещаемое окно [7]. При такой конфигурации обучение будет производиться не на каждом такте, а только при накоплении обучающей информации равной размеру окна. Структура данного метода продемонстрирована на рис. 2.

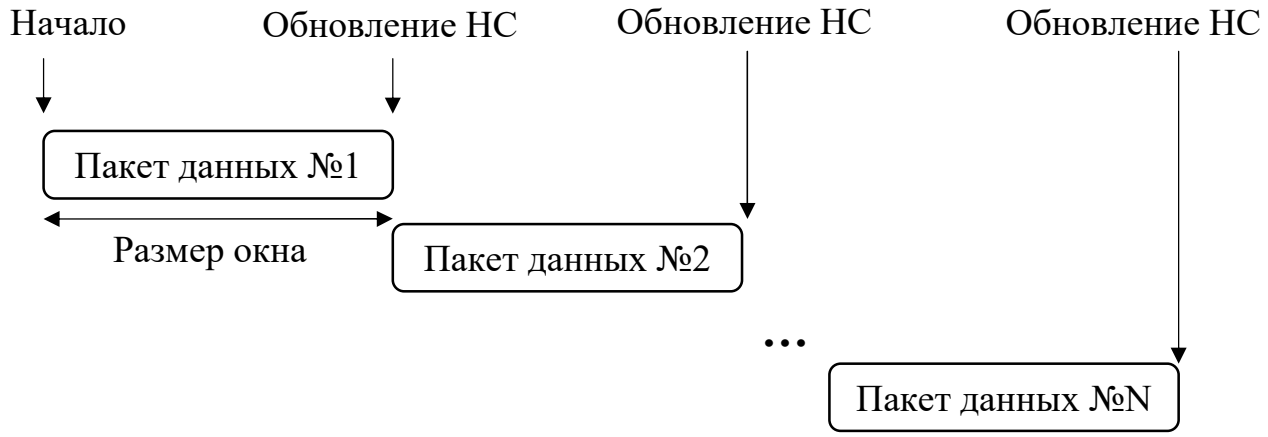


Рис. 2. Метод неперекрывающегося перемещаемого окна

Данный метод не лишает нас полного объема поступающей обучающей информации.

Вывод. При работе в реальном времени ресурсов вычислителя может быть недостаточно, для адекватной работы алгоритмов навигации на основе НС. В связи с этим стоит провести следующие доработки архитектуры и алгоритмов обучения НС:

- использовать простые НС (например, на основе ELM)
- использовать минимально возможное количество слоев НС;
- использовать минимально возможное количество нейронов на скрытых слоях НС;
- заменить вычисление псевдообратной матрицы на QR-факторизацию;
- использовать неперекрывающее перемещаемое окно.

Библиографический список

1. ***Потапов, А.С.*** Технологии искусственного интеллекта. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. 218 с.
2. ***Nilsson, N.J.*** Principles of artificial intelligence. Morgan Kaufmann, 2014. 476 p.
3. Russell S., Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach. 2002. 1132 p.
4. ErikCambria, Guang-BinHuang, LiyanaarachchiLekamalageChamaraKasun, HongmingZhou, ChiManVong, JiarunLin, JianpingYin, ZhipingCai, QiangLiu, KuanLi, etal. Extreme learning machines [trends & controversies]. IEEE Intelligent Systems, 28(6):30–59, 2013
5. Брантон С. Л., Куц Дж. Н.Анализ данных в науке и технике / пер. с англ. А. А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 574 с.: ил.
6. ***Мэрфи, К.П.*** Вероятностное машинное обучение: введение / пер. с англ. А. А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 940 с.: ил.
7. Noureldin A., El-Shafie A., Taha M.R. Optimizing neuro-fuzzy modules for data fusion of vehicular navigation systems using temporal cross-validation. Eng. Appl. Artif.Intel., 2007, vol. 20, iss. 1, pp. 49-61.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ И МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В ГИРОИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Н.С. Жданкин, А.А. Гуськов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье проведен сравнительный анализ применения микроконтроллеров и ПЛИС в гироинерциальных системах. Рассмотрены архитектурные особенности, влияющие на производительность и время отклика при обработке сигналов инерциальных датчиков. Выполнена количественная оценка временных задержек при опросе датчиков по интерфейсу SPI. Показано, что ПЛИС обеспечивают минимальное и детерминированное время отклика благодаря параллельной обработке данных, что делает их предпочтительной платформой для высокоточных навигационных систем. Микроконтроллеры эффективны в менее требовательных и экономичных решениях.

Ключевые слова: гироинерциальная система (ГИС), инерциальный блок, микроконтроллер, программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС), FPGA, навигация.

Современные гироинерциальные системы требуют высокой точности, быстродействия и стабильности при обработке сигналов от инерциальных датчиков – гироскопов и акселерометров. Эти системы широко применяются в навигации, робототехнике и управлении беспилотными платформами.

Для реализации вычислительной части ГИС традиционно используют два подхода: микроконтроллеры общего назначения (МК) и программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС, FPGA). Выбор платформы определяет основные характеристики системы: частоту опроса датчиков, задержки обработки, энергопотребление и возможность параллельной обработки данных.

В данной работе представлен сравнительный анализ применения МК и ПЛИС при построении гироинерциальных блоков (ГИБ), с акцентом на: архитектурные особенности, влияющие на обработку данных в реальном времени; возможности параллельной обработки и аппаратной фильтрации; влияние интерфейсных задержек и масштабируемости системы.

Микроконтроллер представляет собой компактный вычислительный комплекс, включающий процессорное ядро, память и периферийные интерфейсы. Все операции выполняются последовательно, согласно инструкции.

Примером может служить семейство STM32 (ARM Cortex-M), работающие на частотах 72-400 МГц, с встроенными интерфейсами SPI, I²C и UART, контроллерами прямого доступа к памяти и АЦП. МК хорошо подходит для базовой обработки данных и фильтрации сигналов, но при высоких

частотах опроса и обработке нескольких каналов одновременно возникают ограничения: последовательное выполнение операций увеличивает задержки, прерывания накладывают дополнительную нагрузку на ядро.

Архитектура системы микроконтроллеров STM32 представлена на рис. 1.

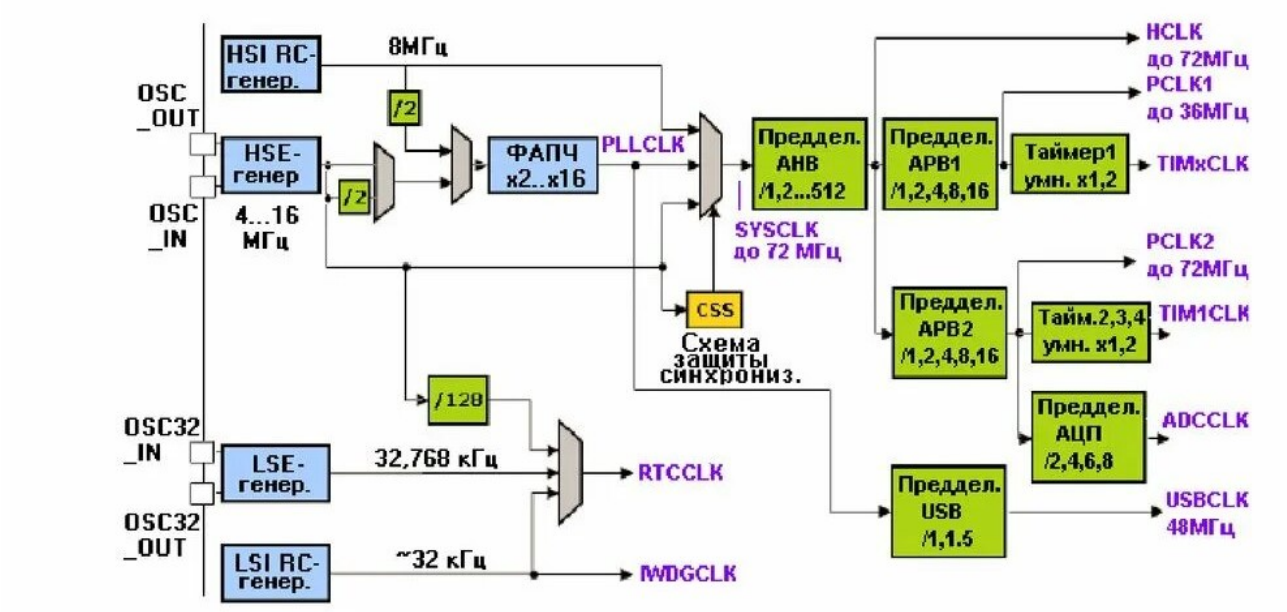


Рис. 1. Архитектура системы микроконтроллеров STM32

К ключевым особенности МК можно отнести: последовательная обработка данных; ограничения по одновременной обработке нескольких потоков; задержки, связанные с программной обработкой и доступом к памяти; ограниченная масштабируемость при увеличении числа каналов.

Последовательность обработки данных в МК представлена на рис. 2.

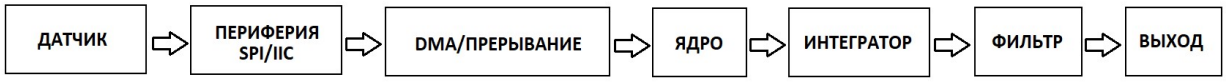


Рис. 2. Последовательность обработки данных в микроконтроллере

ПЛИС представляет собой набор программируемых логических блоков и соединений, позволяющий строить параллельную архитектуру, полностью разработанную под конкретную задачу. В отличие от МК, обработка данных выполняется одновременно в нескольких модулях, что значительно снижает время отклика системы. ПЛИС способна работать на частоте до нескольких ГГЦ, что дает значительное преимущество в скорости обработки информации в сравнении с МК. Архитектура ПЛИС представлена на рис. 3.

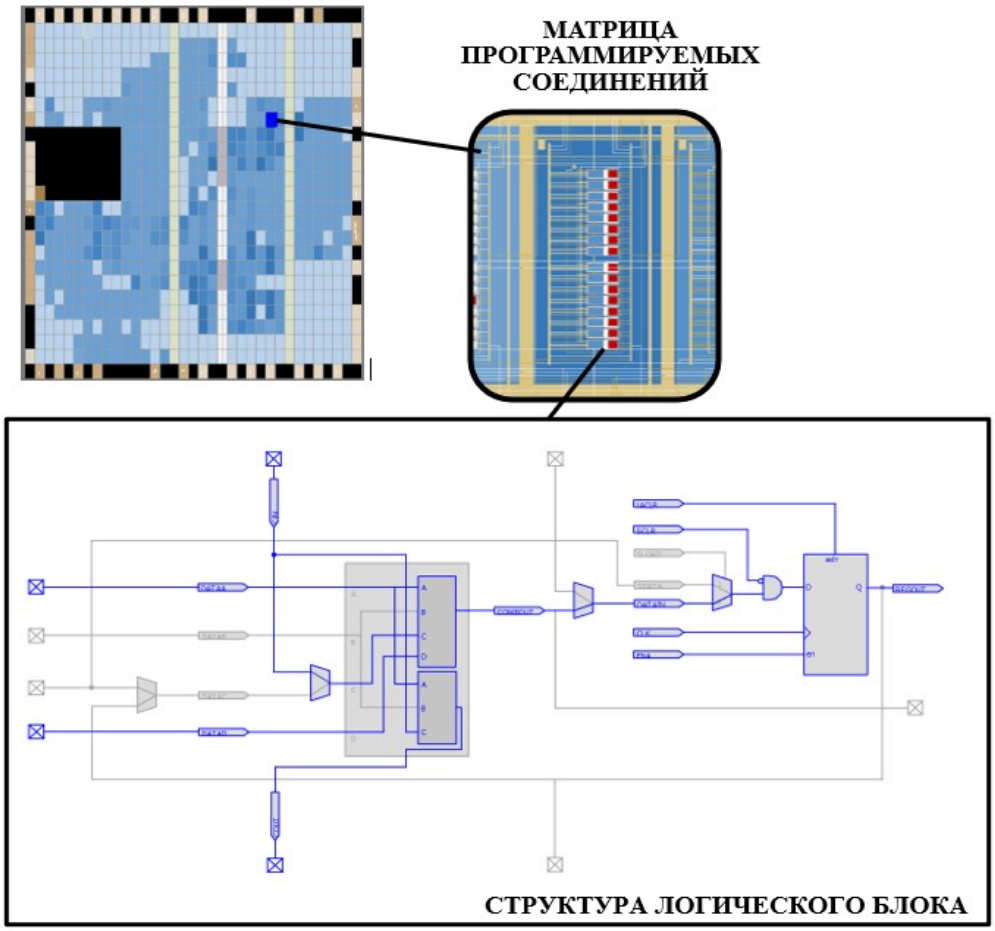


Рис. 3. Архитектура программируемой логической интегральной микросхемы

Из основных преимуществ можно выделить: параллельную обработку нескольких каналов данных; высокую скорость реакции на входные сигналы; возможность реализации аппаратной фильтрации и интеграции без дополнительных задержек; детерминированное время отклика, независимое от числа операций; гибкость в масштабировании. Последовательность обработки данных в ПЛИС представлена на рис. 4.



Рис. 4. Последовательность обработки данных в программируемой логической интегральной микросхеме

Для оценки эффективности применения микроконтроллеров и ПЛИС в гироинерциальных системах необходимо количественно сравнить их временные параметры. Ключевым показателем является время отклика системы – промежуток от поступления данных с датчиков до формирования готового результата после фильтрации и интеграции.

Для микроконтроллера суммарная задержка определяется как сумма времени чтения, вычисления и передачи данных:

$$t_{МК}=t_{чтения}+t_{обработки}+t_{фильтрации}+t_{вывода}+t_{вывода}.$$

Для ПЛИС, где обработка всех потоков выполняется параллельно, общая задержка определяется максимальным временем одного из модулей:

$$t_{ПЛИС}\approx\max(t_{чтения},t_{фильтрации},t_{интеграции}).$$

При работе с несколькими датчиками интерфейс SPI на микроконтроллере (например, STM32) обычно обслуживает устройства последовательно, переключая линии CS программно. Это добавляет программные задержки (около 1–3 мкс на каждое включение/выключение CS) и делает обмен недетерминированным из-за влияния прерываний и работы других задач. Например, при частоте SPI = 1 МГц и длине кадра 16 бит время приема данных от одного датчика составляет около 16 мкс, а при опросе 8 датчиков последовательно – примерно 140–150 мкс.

В ПЛИС можно реализовать несколько независимых SPI-мастеров, работающих параллельно. В этом случае все 8 датчиков обмениваются данными одновременно, и общее время приема соответствует одному кадру – около 16 мкс. Кроме того, в ПЛИС задержка строго детерминирована и не зависит от фоновых процессов.

Симуляция параллельной работы 4 SPI модулей на ПЛИС представлена на рис. 5.

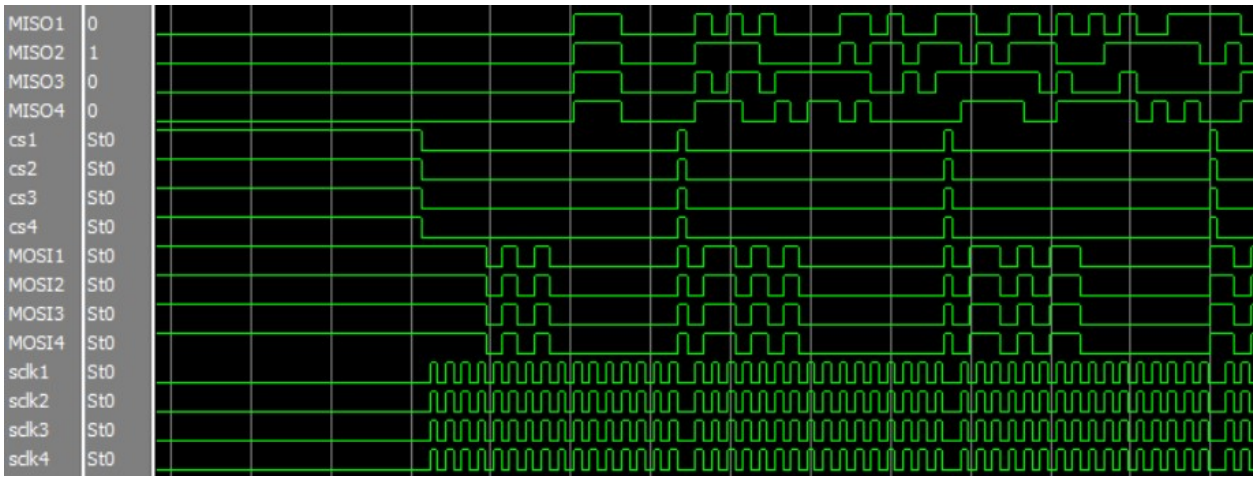


Рис. 5. Симуляция параллельной работы 4 SPI интерфейсов, реализованных на программируемой логической интегральной микросхеме

Для микроконтроллера задержка увеличивается линейно, так как каждый канал обслуживается последовательно. В ПЛИС каждый канал обрабатывается собственным параллельным модулем, поэтому общее время отклика почти не изменяется.

Сравнительный анализ возможностей показывает, что ПЛИС выигрывает по скорости обработки и масштабируемости, особенно при высокой частоте опроса и множественных каналах данных.

Микроконтроллеры проще в реализации и экономичнее по энергопотреблению, но при росте числа потоков и повышении требований к времени отклика они быстро достигают своих архитектурных ограничений.

Таким образом, для современных гироинерциальных блоков с высокими требованиями к реальному времени ПЛИС является предпочтительной платформой, особенно если система требует параллельной обработки нескольких каналов и минимальных задержек.

Библиографический список

1. **Матвеев, В. В.** Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 280 с.
2. **Ушенина, И.В.** Проектирование цифровых устройств на ПЛИС : учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 408 с.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С ЧИСЛАМИ В РАЗНЫХ СИСТЕМАХ СЧИСЛЕНИЯ

Е. Р. Канашкина, Т.В. Емельянова
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В современном мире существует бесконечное количество систем счисления. В IT-сфере необходимо уметь работать с любыми системами счисления. В статье представлен принцип работы приложения, которое позволяет выполнять арифметические действия с числами в различных системах счисления.

Ключевые слова: система счисления, конвертация чисел, действия над числами

В настоящее время информационные технологии развиваются с высокой скоростью, несмотря на то, что в обычной жизни мы пользуемся десятичной системой счисления, компьютеры и цифровые устройства используют двоичную систему. Поэтому умение конвертировать числа из одной системы счисления в другую является важной задачей.

Выполнение действий с числами в разных системах счисления требует внимательности и больших подсчетов. Для оптимизации этого процесса, мною было разработано приложение, которое помогает сократить время, затраченное на обработку данных и уменьшить вероятность ошибок. Приложение позволяет преобразовывать числа из любой системы счисления (от 2 до 32) в десятичную и обратно, а также выполнять основные арифметических действия: сложение, вычитание, умножение, деление, а также сравнивать числа в разных системах счисления.

Разработанное приложение написано на языке программирования Python. Этот язык был выбран как наиболее простой в изучении и многофункциональный для написания кода. Учитывая, что Python – объектно-ориентированный язык было решено использовать его функционал и написать программу используя принципы объектно-ориентированного программирования.

Данное графическое приложение дает пользователю возможность преобразовывать, выполнять арифметические действия и сравнивать положительные, целые числа систем счисления до 32-ричной системы.

Основная функция программы выполняет перевод положительных, целых чисел из одной системы счисления в другую. Приложение поддерживает работу с числами до 32-ричной системы счисления. Перевод реализован в два этапа: сначала число преобразовывается в десятичную систему счисления, а

затем из десятичного представления в целевую. Данные процессы реализованы в коде, но скрыты для пользователя, на экране отображается только результат.

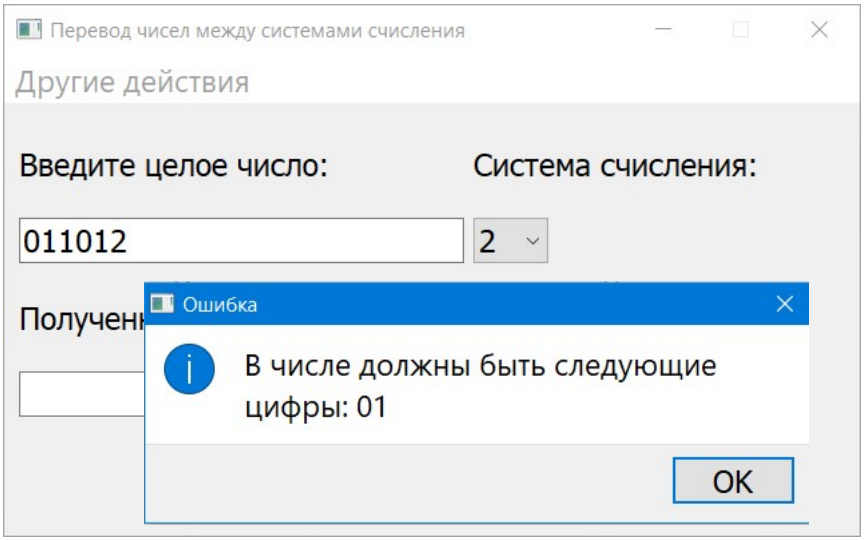


Рис. 1. Ошибка: «Недопустимый символ в числе»

Первый этап, число переводится во временное десятичное представление, затем происходит проверка правильности введенных чисел. Программа удостоверяется, что каждый символ соответствует выбранной системе счисления. Если бед выявлена ошибка некорректного ввода, пользователю выводится сообщение об ошибке: «Недопустимый символ в числе» (рис.1). Если введенные данные корректны, то алгоритм перебирает каждый символ введенного числа. Каждому символу ставится в соответствие числовое обозначение: цифрам от 0 до 9 соответствуют их значения, а символам от A до F – значения от 10 до 15. Текущее промежуточное значение умножается на основание исходной системы счисления, и результат увеличивается на числовое значение текущего символа. Этот процесс повторяется для каждого символа, формируя десятичное представление числа [1].

Второй этап, конвертирование числа из десятичной системы счисления в целевую, начиная с преобразования полученного десятичного числа и проверки на положительность [2]. Затем вычисляется остаток от деления на основание целевой системы счисления. Этот остаток переводится в соответствующий символ (цифру от 0 до 9 или букву от A до F). Полученный остаток сохраняется в дополнительной переменной, а само число делится на основание целевой системы счисления. Цикл повторяется до тех пор, пока делимое не станет меньше делителя. В завершение алгоритма полученное число, выводится пользователю (рис.2).

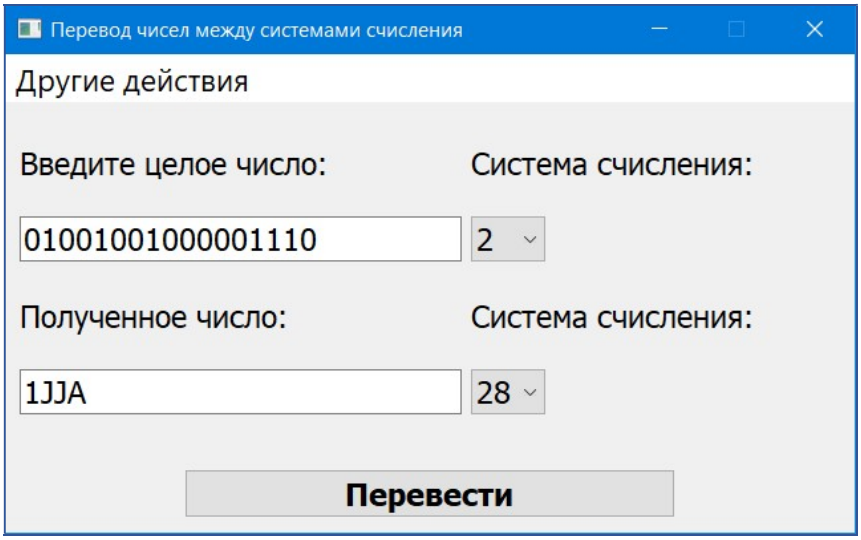


Рис. 2. Перевод числа между системами счисления

Приложение дает возможность выполнять арифметические операции над числами в разных системах счисления. Для этого каждое число переводится в десятичное представление, с помощью ранее написанной функции конвертирования. После чего выполняется выбранная пользователем операция, и полученный результат конвертируется в необходимую систему счисления.

Пользователь вводит два числа и выбирает необходимую систему счисления для каждого из них, указывает необходимое арифметическое действие. Эти числа проверяются на правильность ввода; если в числе обнаружен недопустимый символ для выбранной системы счисления, пользователю выводится сообщение об ошибке (рис.3).

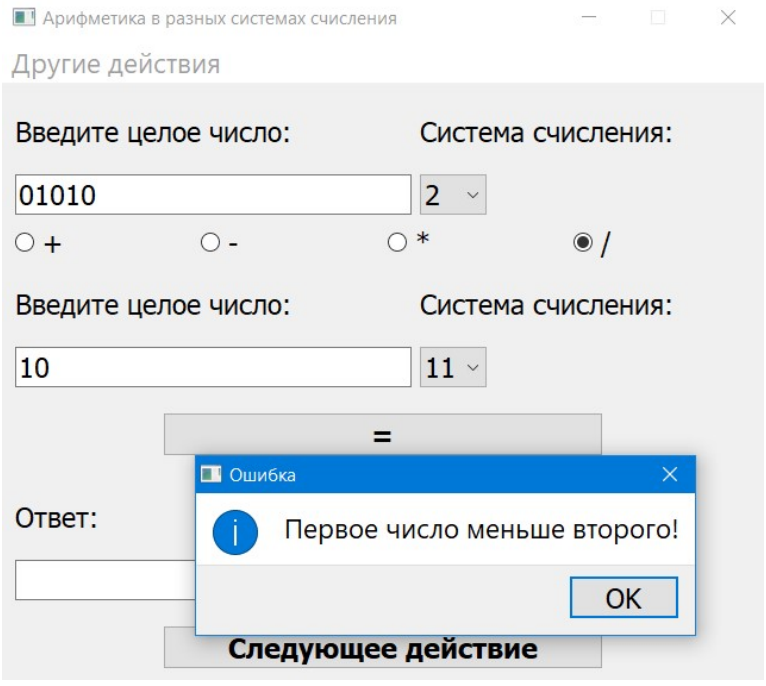


Рис. 3. Ошибка ввода данных

Если оба числа прошли проверку, они переводятся в десятичную систему счисления. Далее, в зависимости от выбранной операции (сложение, вычитание, умножение или деление), выполняется соответствующее арифметическое действие над полученными десятичными значениями [3].

При выполнении вычитания и деления предусмотрены дополнительные проверки:

- вычитание: если первое число меньше второго, то вычитание невозможно, пользователю выводится сообщение об ошибке;
- деление: если первое число меньше второго, или второе число является нулем, то пользователю выводится сообщение об ошибке.

После выполнения арифметической операции, десятичный результат действия конвертируется в выбранную пользователем систему счисления. Итоговое значение отображается в указанном поле вывода (рис. 4).

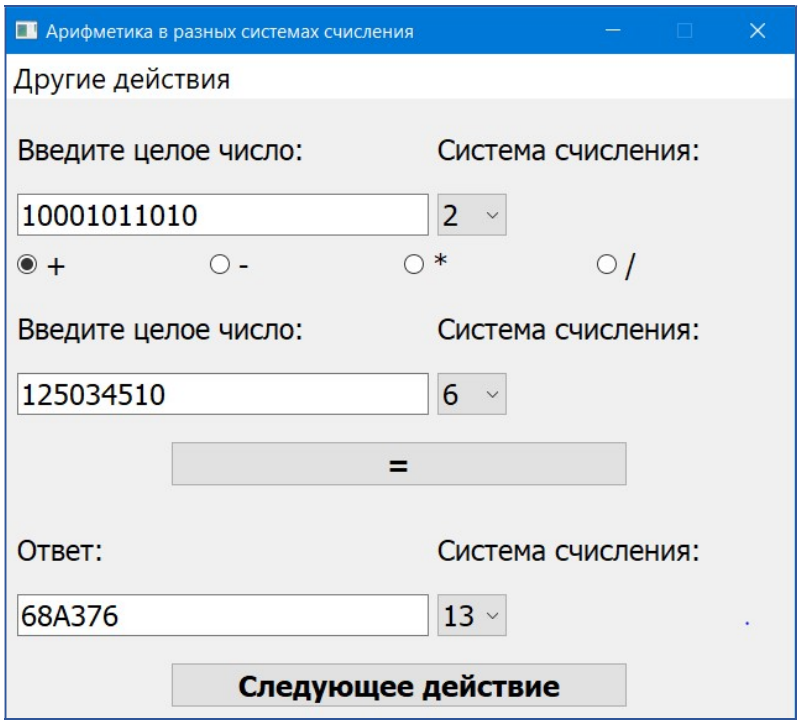


Рис. 4. Арифметические действия над числами в разных системах счисления

Еще одна функция, реализованная в приложении, дает возможность сравнивать два числа, представленных в различных системах счисления (рис.5) [4]. Для этого каждое число преобразуется в десятичное представление, а затем сравниваются полученные десятичные значения.

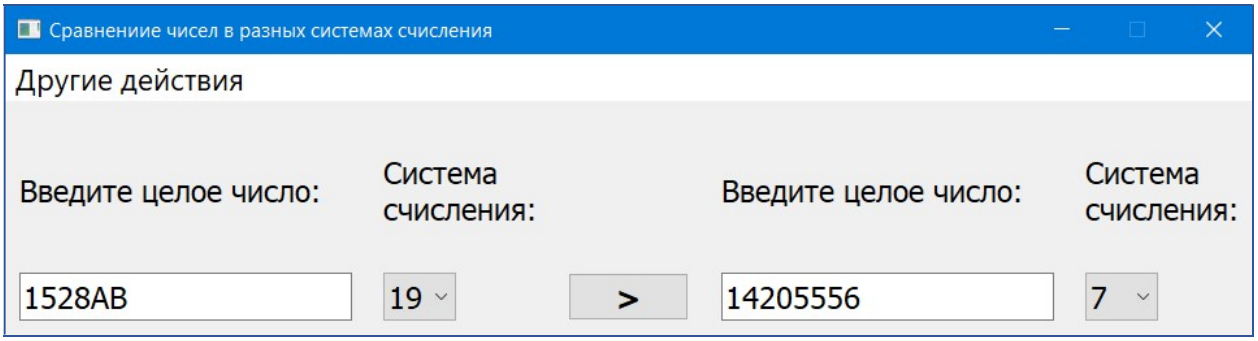


Рис. 5. Сравнение чисел в разных системах счисления

Пользователь вводит два числа, выбирая для каждого систему счисления. Далее числа проверяются на корректность ввода; если в числе обнаружен недопустимый символ для указанной системы счисления, пользователю выводится сообщение об ошибке (рис.6).

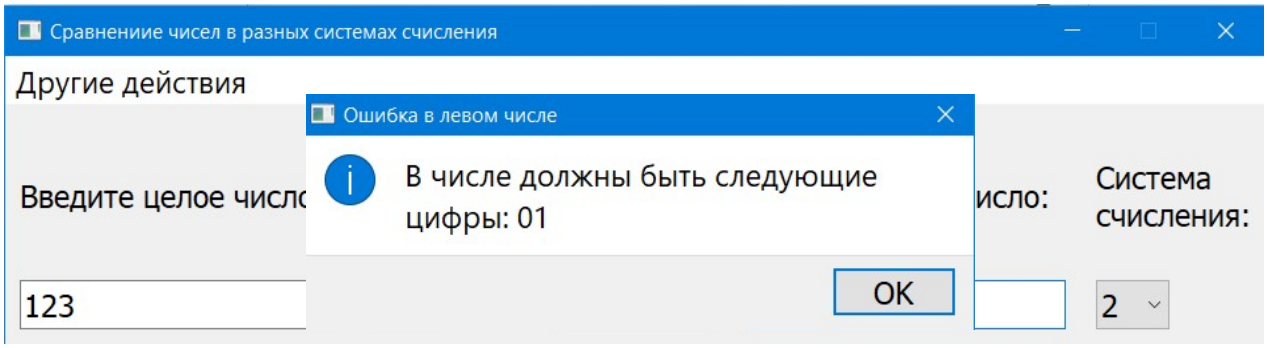


Рис. 6. Сообщение об ошибке

Если оба числа корректны, они преобразуются в десятичные эквиваленты и сравниваются между собой.

В зависимости от результата сравнения, текст на кнопке сравнения изменяется на символ "<", “>", "=".

Таким образом, задача разработки приложения для работы с числами в различных системах счисления имеет полную реализацию и удобный интерфейс.

Библиографический список

1. ***Джесси, Р.*** Десятичная система счисления. – М.: VSD, 2013. – 419 с.
2. ***Крылов, С.С.*** Готовимся к ЕГЭ. Информатика. Системы счисления. – М.: Интеллект-Центр, 2010. – 628 с.
3. Информатика. 7-9 классы [Текст] : системы счисления и компьютерная арифметика / Е. Ю. Кузнецова, Н. Н. Самылкина. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2014.
4. ***Лутц, М.*** Программирование на Python. Том I. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 992 с.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СТЕНДА ИСПЫТАНИЙ РУЛЕВОГО ПРИВОДА АВТОПИЛОТА НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОУСИЛИТЕЛЯ РУЛЯ, VESC И GUI-МОНИТОРИНГА

А.О. Комаров, Д.С. Куравин
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

Разработка рулевого привода автопилота требует предварительной проверки исполнительного канала, операторского интерфейса и телеметрии до выхода на натурные испытания, поскольку ранняя отладка на реальном объекте связана с повышенными затратами и рисками. Целью работы является разработка программного стенда испытаний рулевого привода на базе автомобильного электроусилителя руля, контроллера VESC и GUI-мониторинга. В составе стенда реализованы низкоуровневые команды управления приводом, модуль поворота по целевому углу, токовый профиль исполнительного механизма, графический интерфейс оператора и режим эмуляции при отсутствии физического оборудования. В ходе воспроизводимого запуска показано, что стенд обеспечивает ручное управление, визуализацию тока двигателя и коэффициента заполнения, а также проверку операторской логики и телеметрического сопровождения в режиме эмуляции. Полученные результаты показывают, что разработанный стенд может использоваться для предынтеграционной отладки рулевого канала автопилота

Ключевые слова: электроусилитель руля; VESC; автопилотируемый транспорт; операторский интерфейс; программно-аппаратная отладка.

Введение

Разработка автопилота для мобильной платформы на ранних этапах требует не столько проверки полного контура движения, сколько поэтапной отладки исполнительного рулевого канала, интерфейса оператора и телеметрического сопровождения. Проведение таких проверок непосредственно на реальном объекте неудобно, затратно и связано с повышенным риском, поэтому на практике необходимы промежуточные стендовые средства, позволяющие воспроизводимо тестировать отдельные подсистемы до натурных испытаний [1, 2].

Однако во многих случаях средства проверки низкоуровневого управления приводом, операторский интерфейс, визуализация телеметрии и тестирование вспомогательных подсистем существуют разрозненно. Это затрудняет поэтапную отладку и не позволяет в рамках одного сценария проверить полный цикл взаимодействия оператора с исполнительным рулевым каналом. Поэтому актуальной является разработка стендового решения, объединяющего управление приводом, средства визуализации параметров и режим эмуляции при отсутствии физического оборудования [1, 3].

Целью настоящей работы является разработка программного стенда испытаний рулевого привода автопилота на базе автомобильного электроусилителя руля, контроллера VESC и GUI-мониторинга, предназначенного для предварительной проверки исполнительного канала, операторского интерфейса и телеметрии.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: реализация низкоуровневых команд управления приводом; реализация модуля поворота по целевому углу; реализация токового профиля исполнительного механизма; создание графического интерфейса с визуализацией телеметрии; реализация режима эмуляции для воспроизведения логики работы без физического VESC; оценка практической применимости разработанного стенда для предынтеграционной отладки.

Новизна работы состоит в том, что в одном стендовом решении объединены средства низкоуровневого управления рулевым приводом, объектный модуль поворота, GUI-мониторинг и режим эмуляции, позволяющий воспроизводимо проверять операторский сценарий и телеметрическое сопровождение без подключения реального оборудования. Подобный подход соответствует современной практике стендовой верификации рулевых и смежных автомобильных систем, в том числе в форматах Hardware-in-the-Loop и полуфизического моделирования [2-5].

Цель и задачи работы

Целью работы является разработка программного стенда испытаний рулевого привода автопилота на базе электроусилителя руля, контроллера VESC и GUI-мониторинга для предварительной отладки исполнительного канала, телеметрии и операторского интерфейса.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

1) реализовать низкоуровневые команды управления исполнительным приводом;
2) реализовать модуль поворота по целевому углу;
3) реализовать токовый профиль для снижения ударных нагрузок в приводе;
4) разработать GUI для ручного тестирования и визуализации телеметрии;
5) реализовать режим эмуляции при отсутствии физического VESC;
6) оценить применимость стенда для ранней предынтеграционной отладки.

Структура программного комплекса:

Таблица 1

Назначение основных файлов программного модуля

Файл	Основной режим	Назначение
test.py	Прямой тест VESC	Быстрая низкоуровневая проверка вращения мотора без GUI.
eur.py	Команды SetCurrent/SetRPM	Минимальный сценарий ручной проверки канала управления.
new_class_test.py	Параметризованный класс	Обертка над моторным тестом с аргументами командной строки.
class_test.py	Поворот по целевому углу	Выбирает знак duty cycle и оценивает длительность импульса.
currency_test.py	Динамика мотора	Реализует boost, рабочую полку и управляемую остановку.
camera_test.py	Проверка камеры	Перебирает `/dev/video*` и повторно выбирает источник при потере кадра.
app/main.py	GUI и эмуляция	Ручное управление, телеметрия, live-графики и имитация данных без VESC.

Основным сценарием работы стенда является приложение, объединяющее объектный контроллер рулевого канала, графический интерфейс оператора и средства отображения телеметрии. Пользователь может задавать команды поворота влево и вправо, наблюдать изменение параметров привода в реальном времени и выполнять предварительную проверку логики управления. При отсутствии библиотек serial и pyvesc либо физического контроллера VESC приложение автоматически переходит в режим эмуляции, что позволяет воспроизводить базовый сценарий испытаний без аппаратной части.

Алгоритмы управления и телеметрии

Для проверки работоспособности исполнительного рулевого канала в составе стенда реализованы три ключевых алгоритмических блока: модуль поворота по целевому углу, токовый профиль исполнительного механизма и режим эмуляции телеметрии. Первый блок используется для упрощенной проверки реакции привода на команду позиционирования, второй – для формирования тока управления с ограниченной производной, а третий – для воспроизведения операторского сценария при отсутствии физического оборудования.

В модуле class_test реализован дискретный закон управления, основанный на знаке ошибки по углу поворота. Введем ошибку позиционирования рулевого канала (1):

$$e_\varphi = \varphi^* - \varphi, \tag{1}$$

где φ^* – заданный угол поворота, φ – текущий угол. Управляющее воздействие u_d формируется по релейному закону:

$$u_d = \begin{cases} +d_{max}, e_\varphi > 0, \\ -d_{max}, e_\varphi < 0, \\ 0, e_\varphi = 0, \end{cases}$$

где d_{max} – предельно допустимое значение коэффициента заполнения управляющего сигнала. Таким образом, направление вращения исполнительного механизма определяется знаком ошибки, а модуль воздействия остается постоянным.

Продолжительность управляющего воздействия оценивается эвристически через число итераций (2):

$$N_{iter} = \left\lfloor \frac{|e_\varphi| \cdot 100}{360 \cdot 3} \right\rfloor$$

После вычисления N_{iter} команда с выбранным значением u_d повторяется в течение заданного числа шагов с интервалом 0.01 с. По завершении воздействия привод переводится в состояние останова подачей нулевого управляющего сигнала и команды остановки по скорости. Рассматриваемый алгоритм представляет собой упрощенную схему пошагового позиционирования без использования непрерывного регулятора и предназначен для первичной проверки работоспособности исполнительного канала.

В модуле currency реализован более плавный закон управления током, ориентированный на снижение ударных нагрузок в приводе. На начальном этапе формируется кратковременный пусковой импульс тока I_{boost}, после чего вы-

полняется линейный переход к рабочему значению I_{hold}. Изменение тока на участке плавного запуска описывается выражением (3):

$$I_k = I_{boost} + \frac{k}{N}(I_{hold} - I_{boost}), \quad (3)$$

где число шагов плавного выхода определяется как (4):

$$N = max(1, \lfloor t_{softstart}\, f_{hz} \rfloor). \quad (4)$$

Здесь $t_{softstart}$ - продолжительность плавного запуска, f_{hz} - частота обновления команды тока. После выхода на рабочий режим система поддерживает ток I_{hold}, а при остановке или смене режима используется тормозной ток и интервал плавного торможения, что позволяет уменьшить динамические перегрузки и повысить устойчивость работы исполнительного механизма.

В основном модуле, отвечающем за операторский интерфейс и телеметрическое сопровождение, предусмотрен режим эмуляции, в котором параметры привода задаются аналитически. Эмулируемое значение тока описывается зависимостью (5):

$$I_{emu}(t) = 5 \cdot \sin(0.5 \cdot t) + 2, \quad (5)$$

а коэффициент заполнения управляющего сигнала определяется выражением (6):

$$D_{emu}(t) = D_0 + 0.1 \cdot \sin(2 \cdot t), \quad (6)$$

где D_0 - базовое значение коэффициента заполнения. Для визуализации телеметрии в реальном времени используются буферы current_data, duty_data и time_data длиной 100 отсчетов, а обновление данных осуществляется с периодом 0,1с. При удержании управляющей кнопки в режиме эмуляции внутреннее значение угла изменяется на величину: $\Delta\varphi_{emu} = 0.5^{\circ}$ за одну итерацию цикла. Это обеспечивает воспроизводимое тестирование операторского интерфейса, каналов визуализации и логики обработки телеметрической информации без подключения реального исполнительного устройства.

Ключевые параметры и используемые соотношения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Ключевые параметры и формулы программной реализации

Параметр / формула	Значение	Интерпретация
d_{max}	0,15	Максимальный absolute duty cycle.
φ_{max}	45°	Предельный угол поворота в объектном контроллере.
N_{iter}	-	Эвристическая оценка числа управляющих импульсов.
I_{boost}	15 А	Стартовый ток в `currency_test.py`.
t_{boost}	200 мс	Длительность стартового импульса.
I_{hold}	8 А	Рабочий ток удержания/поворота.
I_{brake}	5 А	Тормозной ток при остановке.
f	50 Гц	Частота обновления токовой команды.
$t_{softstart}$	0,2 с	Плавный выход на рабочий ток.
$t_{softstop}$	0,3 с	Плавная остановка или торможение.
D_0	0,15	Начальное значение коэффициента заполнения управляющего сигнала в интерфейсе

Окончание табл. 2

N_{buf}	100	Длина буферов телеметрии.
I_{emu}	-	Эмулируемый ток двигателя.
D_{emu}	-	Эмулируемый duty cycle.
$\Delta\varphi_{emu}$	0,5°/итерацию	Приращение угла при удержании кнопки в эмуляции.

Результаты воспроизводимого запуска

В ходе воспроизводимого запуска программного стенда в режиме эмуляции была проверена работоспособность графического интерфейса оператора, модуля визуализации телеметрии и логики ручного управления рулевым каналом. Исходное состояние окна приложения представлено на рис. 1. Как видно из рис. 1, до подключения статус системы отображается в предупреждающем цвете и явно указывает на работу в эмуляционном режиме. Это позволяет оператору сразу отличить тестовый сценарий от работы с реальным контроллером VESC и исключает ошибочную интерпретацию режима испытаний.

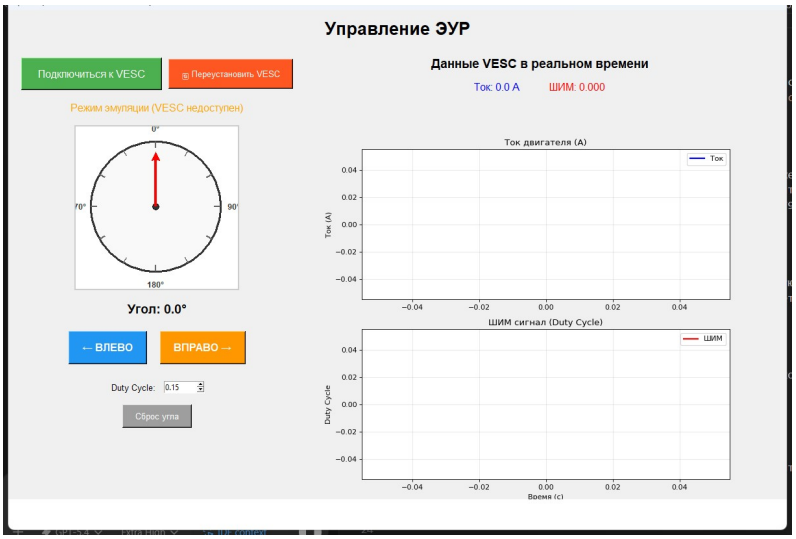


Рис. 1. Исходное окно GUI для управления ЭУР и мониторинга VESC

После запуска режима эмуляции в интерфейсе становятся доступны основные органы управления и средства отображения телеметрии. На рис. 2 показано окно приложения после перехода в рабочий режим эмуляции. В левой части интерфейса, как видно на рис. 2, расположены кнопки ручного управления, поле задания коэффициента заполнения и круговой индикатор текущего углового состояния. В правой части окна на рис. 2 отображаются графики тока двигателя и duty cycle, обновляемые в реальном времени. Это подтверждает работоспособность буферов телеметрии, механизмов обновления данных и графической визуализации параметров исполнительного канала.

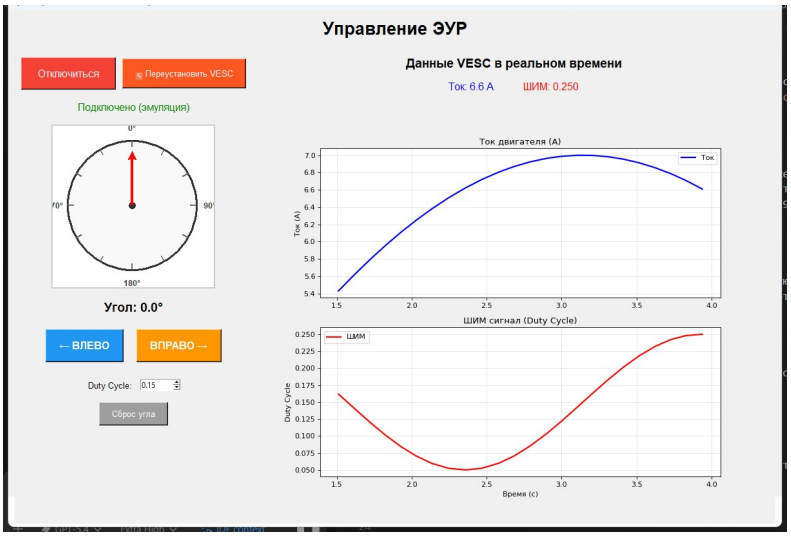


Рис. 2. Подключение в режиме эмуляции и заполнение графиков тока и duty cycle

Процесс ручного поворота рулевого канала в режиме эмуляции показан на рис. 3. Как видно из рис. 3, при подаче команды на поворот вправо изменяется положение кругового углового индикатора, а также одновременно обновляются телеметрические графики. Такая организация управления соответствует сценарию, при котором поворот выполняется в отдельном потоке и продолжается в течение времени удержания управляющей команды. Следовательно, рис. 3 иллюстрирует корректность связи между командной частью интерфейса, внутренним угловым состоянием системы и телеметрическим сопровождением процесса управления.

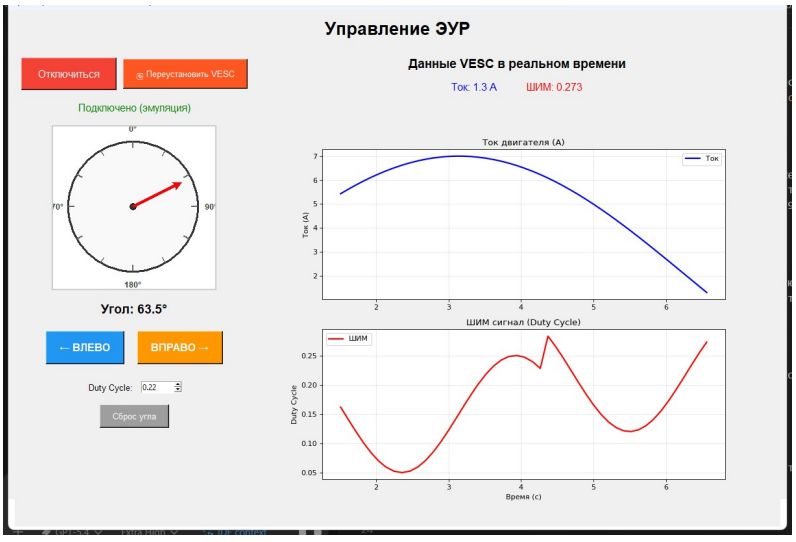


Рис. 3. Эмуляция поворота вправо с обновлением углового индикатора и телеметрии

Отдельный вид графиков, экспортированных из встроенной matplotlib-фигуры, приведен на рис. 4. На рис. 4 показаны зависимости тока двигателя и управляющего сигнала без элементов основного окна GUI, что упрощает последующий анализ формы кривых, амплитудных изменений и характера колебаний. Таким образом, данные, представленные на рис. 4, могут использоваться

не только для оперативного мониторинга, но и для документирования результатов испытаний и последующего анализа телеметрических параметров вне интерфейса оператора.

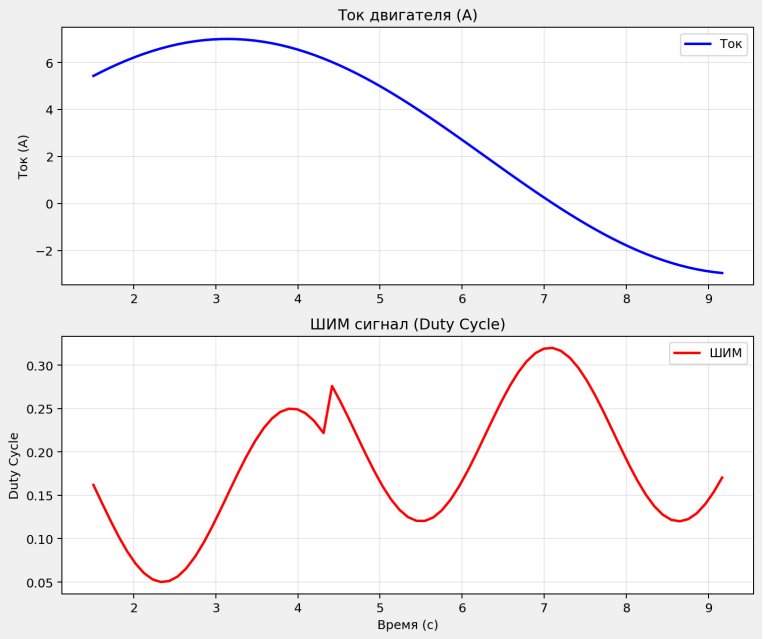


Рис. 4. Экспорт графиков тока двигателя и ШИМ-сигнала из встроенной matplotlib-фигуры

Таким образом, по результатам воспроизводимого запуска, представленным на рис. 1-4, подтверждена работоспособность GUI в режиме эмуляции, подтверждена возможность отображения телеметрических параметров в реальном времени, а также показана корректность сценария ручного управления рулевым каналом. Полученные результаты свидетельствуют о пригодности разработанного стенда для предварительной предынтеграционной отладки исполнительного канала, интерфейса оператора и механизмов мониторинга до проведения натурных испытаний с реальным оборудованием.

Практическое использование и ограничения

Практическая ценность разработанного стенда состоит в том, что он позволяет объединить в рамках одного программного комплекса несколько этапов ранней отладки рулевого привода автопилота. Низкоуровневые модули обеспечивают прямую проверку передачи управляющих команд на привод, объектный контроллер упрощает интеграцию с более крупным программным обеспечением автопилота, GUI позволяет выполнять ручной тест рулевого канала и наблюдать телеметрические параметры в реальном времени, а модуль проверки видеоканала используется для контроля доступности камеры и устойчивости получения кадров.

При этом текущая реализация имеет ряд ограничений. Модуль поворота по целевому углу использует эвристическую оценку длительности управляющего воздействия и не опирается на датчик абсолютного угла, поэтому не обеспечивает точного позиционного регулирования. Модуль camera_test.py

привязан к Unix-путям вида /dev/video*, что ограничивает переносимость без дополнительной адаптации. Кроме того, аппаратные сценарии зависят от внешних библиотек и наличия физического контроллера VESC, поэтому в изолированной программной среде воспроизводим главным образом режим GUI с эмуляцией.

Следовательно, предложенный комплекс следует рассматривать как предынтеграционный стенд для ранней проверки исполнительного канала и операторского интерфейса, а не как завершенную промышленную систему управления.

Заключение

В работе разработан программный стенд испытаний рулевого привода автопилота на базе электроусилителя руля, контроллера VESC и GUI-мониторинга. В отличие от разрозненных средств отладки, предложенное решение объединяет низкоуровневые команды управления приводом, модуль поворота по целевому углу, токовый профиль исполнительного механизма, графический интерфейс оператора и режим эмуляции.

В ходе воспроизводимого запуска показано, что разработанный стенд обеспечивает ручное управление рулевым каналом, визуализацию телеметрических параметров и проверку логики работы интерфейса даже при отсутствии физической аппаратной части. Это позволяет использовать его для ранней предынтеграционной отладки, подготовки демонстрационных сценариев и первичной интеграции с более крупной системой автопилота.

Основное ограничение текущей реализации связано с тем, что позиционирование по углу выполняется на основе эвристической оценки длительности управляющего воздействия, а не на основе замкнутой обратной связи по абсолютному угловому положению. Дальнейшее развитие работы целесообразно связать с внедрением датчика обратной связи по углу, унификацией модуля контроля видеоканала и расширением стенда до полноценного аппаратно-замкнутого контура испытаний.

Библиографический список

1. Mihalič F., Truntič M., Hren A. Hardware-in-the-Loop Simulations: A Historical Overview and Its Applications in Power Electronics, Electrical Drives, and Power Systems. Electronics, 2022.
2. Tumasov A.V. et al. The Application of Hardware-in-the-Loop (HIL) Simulation for Testing of Automotive Control Systems. Procedia Computer Science, 2019.
3. Di Mare G. et al. An innovative real-time test setup for ADAS's based on Hardware-in-the-Loop and Driver-in-the-Loop techniques. Transportation Research Procedia, 2019.
4. Lee M.H. et al. Development of a hardware in the loop simulation system for an electric power steering system. International Journal of Automotive Technology, 2011.
5. He S. et al. Adaptive control of dual-motor autonomous steering system based on backstepping and prescribed performance method. Control Engineering Practice, 2023.

РАЗРАБОТКА СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ, КОММУНИКАЦИИ И ТРУДОУСТРОЙСТВА СТУДЕНТОВ

А.Н. Куклин, Т.Е. Эварт, Т.В. Емельянова
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье представлена разработка социальной сети, позволяющая вести поиск единомышленников для реализации исследовательских проектов, проходить курсы от образовательных и коммерческих организаций, а также предоставляющая инструменты для трудоустройства студентов.

Ключевые слова: Zebra, студенты, поиск работы, курсы, заметки, системы дистанционного образования.

В настоящее время множество сфер жизни проходит через цифровизацию. Например, в образовательную и трудовую сферы активно внедряются новые цифровые средства, повышающие эффективность и качество работы. Но существующие информационные средства имеют ограниченный функционал для развития коммуникации между различными пользователями.

В образовательной сфере активно используются системы дистанционного образования (СДО), которые позволяют организовывать курсы профессионального и дополнительного образования, размещать необходимый в процессе обучения материал, а также проводить тестирования. Главная проблема СДО заключается в том, что они не обеспечивают быструю связь между студентами и преподавателями. Практическим путем было выявлено, что преподавателям и студентам проще выходить на связь в сторонних сервисах и пересылать информацию в студенческие групповые чаты. Таким образом, применение систем дистанционного образования не является эффективным решением для коммуникации между преподавателями и студентами.

Во время обучения в институте студенты активно занимаются исследовательской и научной деятельностью. Они объединяются в команды и реализуют научные проекты. Но чтобы найти команду необходимо потратить много времени и сил, особенно если требуются люди с опытом в нужной сфере. Вследствие чего студенты тратят больше времени на поиск единомышленников, чем на разработку проекта.

Часто еще во время обучения студенты находятся в активном поиске работы. Но человеку без опыта работы трудно найти работу по представленным вакансиям. Пользуясь существующими сервисами для трудоустройства, студенты не могут в полной мере отразить свою индивидуальность и сводят свои резюме к набору формальных характеристик. Данный фактор искажает представление работодателя о соискателе. В будущем это приводит к трате времени на собеседования, для определения сильных и слабых сторон соискателя [2].

Все вышеописанные проблемы связаны с отсутствием единой системы, которая бы имела средства для коммуникации между студентами и педагогами,

упрощала поиск единомышленников для научных проектов и позволяла работодателям находить или же подготавливать будущих сотрудников. Для комплексного решения описанных проблем предлагается разработка социальной сети Zebra, создающей широкую систему взаимодействия между студентами, учебными заведениями и предприятиями. В представленной работе подробно рассмотрены функционал и архитектура разрабатываемого проекта.

Проект представляет собой веб-приложение, разработанное с использованием клиент-серверной архитектуры. Обмен данными между сервером и клиентом (конечным пользователем) осуществляется через REST API – набор запросов для обмена данными в JSON-формате [1]. Архитектура социальной сети представлена на рис. 1.

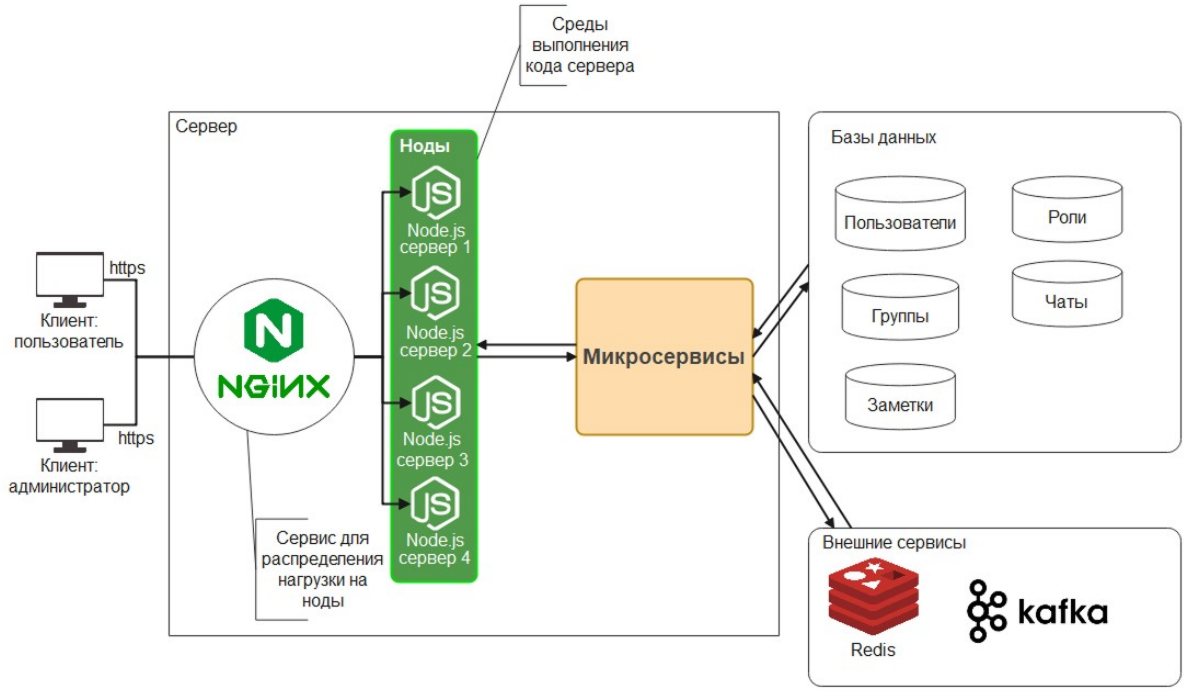


Рис. 1. Архитектура проекта

Разделение системы на ноды (экземпляры Node.js сервера) и микросервисы позволяет повысить ее масштабируемость и устойчивость к высоким нагрузкам. Nginx используется как распределитель нагрузки. Он автоматически выбирает менее загруженную ноду и перенаправляет входящий трафик на нее. Нода же в свою очередь взаимодействует с микросервисами, где реализована вся бизнес-логика веб-приложения. Для ускорения доступа к часто запрашиваемым данным используется кэширование с применением СУБД Redis. Основная база данных реализована с использованием СУБД PostgreSQL. Основным языком программирования является JavaScript и платформа Node.js [3].

Функционал разрабатываемой социальной сети будет включать в себя множество различных инструментов для коммуникации, обучения и поиска работы.

В первую очередь, проект имеет возможность создания сети контактов. Пользователи могут общаться между собой посредством личных сообщений или объединяясь в групповые чаты. Расширение сети контактов облегчает поиск людей с определенными навыками. Например, каждый пользователь может создавать объявления по поиску единомышленников. В объявлении указывается название проекта, основная информация о нем, а также навыки, которые требуются для работы над проектом. Пользователи, которые указали соответствующие навыки в своем профиле, автоматически получат уведомления о том, что кто-то из их сети контактов ведет набор команды в проект. Помимо этого, имеется отдельный раздел, где можно посмотреть все существующие объявления по выбранным критериям.

Помимо обмена сообщениями, на платформе реализованы такие средства коммуникации, как создание публикаций. Каждый пользователь может создать короткую публикацию, содержащую текст и графические материалы, или же написать статью (для написания статей платформа имеет ряд функций форматирования текста). Каждая публикация может быть приватной, отображаться только контактам или же быть доступной для всех пользователей. Разрабатываемая социальная сеть имеет систему рейтинга – каждая публикация или комментарий имеют метрику, отражающую разность между количеством положительных и отрицательных реакций. В зависимости от этого, формируется общий рейтинг аккаунта, что мотивирует пользователей писать качественный материал. Еще одним преимуществом данной системы является возможность быстрого определения качества контента [4].

Социальная сеть Zebra позволяет пользователям не только общаться между собой, но и заниматься учебной деятельностью не покидая платформу. Разрабатывается полноценный раздел, где образовательные и специализированные организации могут создавать учебные курсы. Автор будет иметь доступ в специальный кабинет, где можно создавать курсы, добавлять темы и формировать из них разделы. Функционал системы позволяет создавать модули с тестами по пройденному материалу и реализовывать выдачу/прием домашних заданий. При желании, автор может создать групповой чат, в который будут автоматически приглашены все участники курса. На главной странице курса можно будет публиковать важные объявления, которые отобразятся в разделе уведомлений у каждого участника.

Возможность создания курсов профессионального образования особенно полезна для организаций, которые набирают новых сотрудников. Предоставленный функционал позволит организациям создавать курсы, направленные на получение тех знаний, которые необходимо будет применять в той или иной должности. Таким образом, работодатели смогу нанимать сотрудников, которые уже готовы к работе без необходимости в долгой адаптации. Предварительное прохождение курсов профессионального образования снизит время обучения на рабочем месте, повышая эффективность сотрудника. Соискатели, в свою очередь, будут лучше понимать, какие задачи придется решать на рабочем месте, что позволит принимать решение о трудоустройстве более осознанно.

Весь материал пользователи смогут сохранять в личное хранилище для заметок. Система ведения заметок – это продвинутый текстовый редактор, предоставляющий широкий функционал по редактированию и форматированию текста. Помимо этого, текст может содержать популярные форматы медиафайлов (pdf, презентации, фото, видео, аудио и др.). Листая ленту, где содержится рекомендуемый контент, пользователей может сделать репост прямо себе в заметки, или же выделить фрагмент текста и сделать из него заметку. Заметки можно связывать между собой с помощью ссылок, тем самым создавая граф, где вся информация структурирована и взаимосвязана. Интерфейс управления заметками представлен на рис. 2.

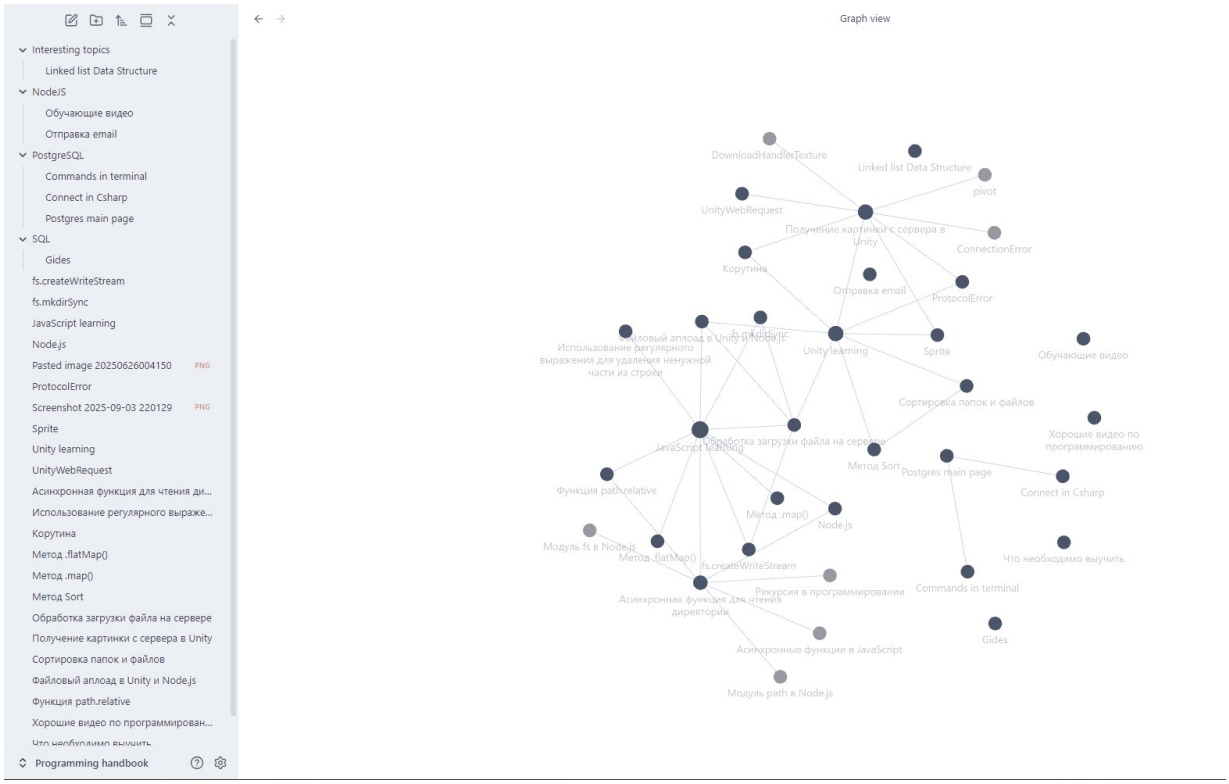


Рис. 2. Интерфейс раздела ведения заметок

Платформа Zebra сможет приглашать к сотрудничеству представителей организаций, потенциальных работодателей. Возможности организаций не ограничиваются созданием обучающих курсов. Помимо этого, они могут набирать персонал, основываясь на различных метриках. Поиск людей можно осуществлять по таким фильтрам, как место учебы, квалификации, место жительства и т.д. Если организация создала курс, то в первую очередь ей будут рекомендованы участники этого курса. В профиле каждого студента отображается информация о его компетенциях, а также стена, состоящая из его публикаций. Это могут быть репосты чужих статей, личные посты, демонстрации проектов, портфолио и т.д. Данный функционал позволяет не только студентам искать работодателя, но и менеджерам по персоналу искать потенциальных работников с нужными компетенциями.

Разрабатываемая социальная сеть Zebra позволит улучшить коммуникацию между преподавателями, студентами, потенциальными единомышленниками и работодателями.

Библиографический список

1. ***Белов, В.В.*** Проектирование информационных систем: учебник / В.В. Белов. - М.: Академия, 2018. - 144 с.
2. ***Кострова, Ю.Б.*** К вопросу о трудоустройстве выпускников образовательных организаций в Рязанской области // Актуальные вопросы экономики, права и образования в XXI в.: материалы III международной научно-практической конференции. - М.: МУ им. С.Ю. Витте, - 2017. - С. 325-329.
3. Хабр [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/483202/. – (дата обращения: 10.03.2026).
4. Yusmpgroup [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://blog.yusmpgroup.ru/kak-sozdat-svoyu-soczialnuyu-set#aioseo-5. – (дата обращения: 11.03.2026).

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЕЛЬТА-РОБОТА С ПОМОЩЬЮ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДНЫХ РЫЧАГОВ

С.В. Ленькова, Т.В. Рябикина, О.Н. Старостина
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматривается оптимизация конструкции приводных рычагов дельта-робота, применяющегося на производственной линии. Определены зависимости влияния скорости перемещения и момента инерции составных частей на точность позиционирования. По результатам расчетов снижена масса конструкции, повышена точность позиционирования. Применение топологической оптимизации в программном пакете SolidSimulation позволили снизить массу конструкции и повысить точность раскладки деталей роботом.

***Ключевые слова**: точность, топологическая оптимизация, приводные рычаги.*

Дельта-роботы все активнее внедряются в современные производственные процессы, их ценят за высокую скорость работы и точность позиционирования при выполнении рутинных операций. В частности, дельта-робот-укладчик становится незаменимым помощником на линиях упаковки и сортировки готовых деталей: он позволяет автоматизировать перемещение продукции, повысить общую производительность линии и минимизировать влияние человеческого фактора.

Конструкция такого робота предусматривает монтаж на опорную пластину различных захватных устройств – от присосок до специализированных манипуляторов, – что делает его универсальным решением для широкого спектра задач. При этом робот способен перемещать грузы массой до 25 кг с ускорением 18 м/с^2, сочетая значительную грузоподъемность с динамическими характеристиками. Однако опыт эксплуатации подобных систем выявил ключевую проблему: недостаточная точность позиционирования приводит к повреждению деталей в процессе сортировки и нарушению целостности упаковки.

Анализ показал, что основные факторы, определяющие точность и быстроту перемещения, сосредоточены в конструкции приводных рычагов, рис.1, *а*. Следовательно, оптимизация этих элементов – снижение их массы и инерции при сохранении необходимой жесткости – становится приоритетной задачей при проектировании конструкции робота-укладчика.

Дельта-робот, представляющий собой пространственный параллельный манипулятор с тремя или более кинематическими цепями, обладает неоспоримыми преимуществами: низкой подвижной массой, высокой жесткостью, выдающимся соотношением «скорость/точность».

Очевидна задача – обоснованный выбор конструктивных и кинематических параметров рассматриваемого механизма, которые обеспечили бы максимальную производительность с учетом технологических ограничений.

В работе рассматривается конструкция робота-укладчика, представленная на (рис. 1).

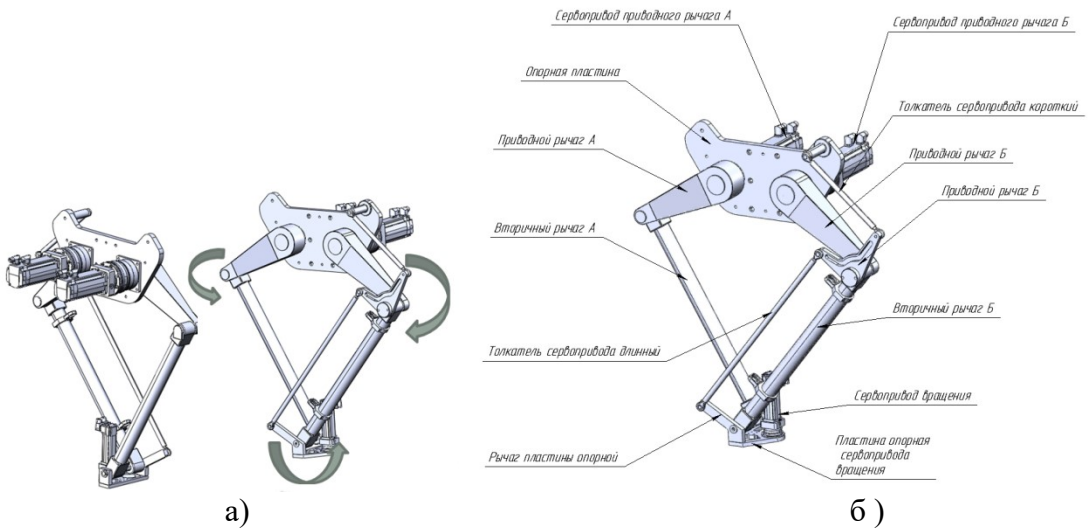


Рис.1. Дельта-робот
а) внешний вид базовой модификации б) основные кинематические узлы

Конструкция робота включает в себя неподвижную базу, с которой соединяются рычаги шарнирно, база при этом располагается над рабочей зоной и включает в себя высокомоментный сервопривод. Этот сервопривод и приводит в движение рассматриваемые рычаги.

Данные три-четыре рычага кинематически связаны с общей легкой платформой (end-effector platform) (рис.1, *б*) посредством системы параллелограммов, использующих карданные шарниры или сферические шарниры.

Масса навесной части около 50 кг, будем так же учитывать ускорение, с которым робот может перемещаться в пространстве. Таким образом, суммарный вес, который может воздействовать на два приводных рычага, равен 75 кг. Так как перемещение происходит с ускорением 18 м/с^2, то сила, которая действует одновременно на оба приводных рычага равна 1350 Н. Так как приводных рычага в конструкции дельта-робота два, то сила, приходящаяся на один приводной рычаг равна 675 Н (рис.2).

В результате анализа базовой конструкции приводных рычагов дельта-робота упаковщика было определено, что масса одного рычага равна 8,98 кг, момент инерции равен 323636,19 кг×мм^2, приводит к появлению инерции при движении робота, что приводит к неточности позиционирования при отработке сигналов, подающихся на сервопривода механизмов (рис.3).

Таким образом, для повышения точности позиционирования механизма робота необходимо облегчить конструкцию приводных рычагов, снизить момент инерции, для исключения набегания ошибки отработки сигналов. Оптимизацию конструкции приводных рычагов целесообразно провести с использованием топологической оптимизации.

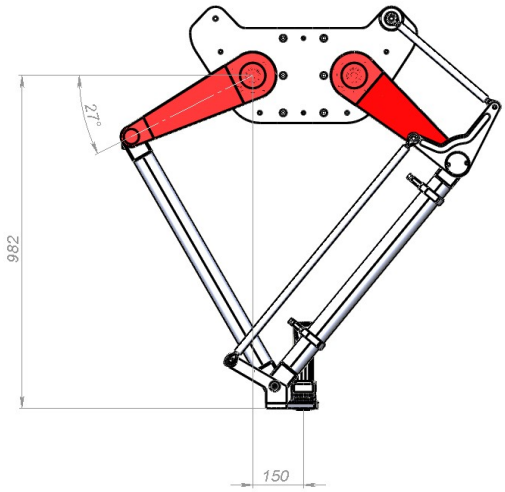


Рис.2. Схема точки приложения нагрузки

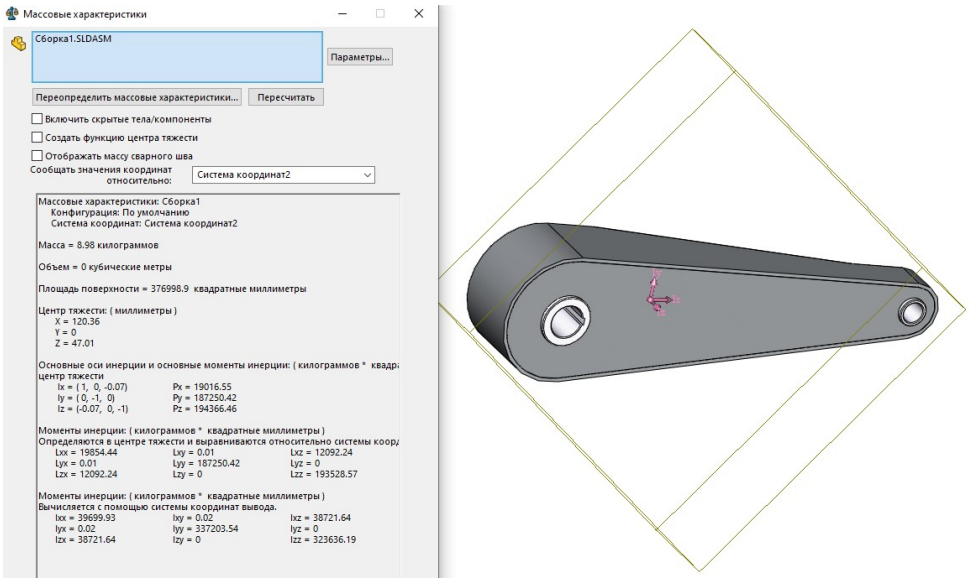
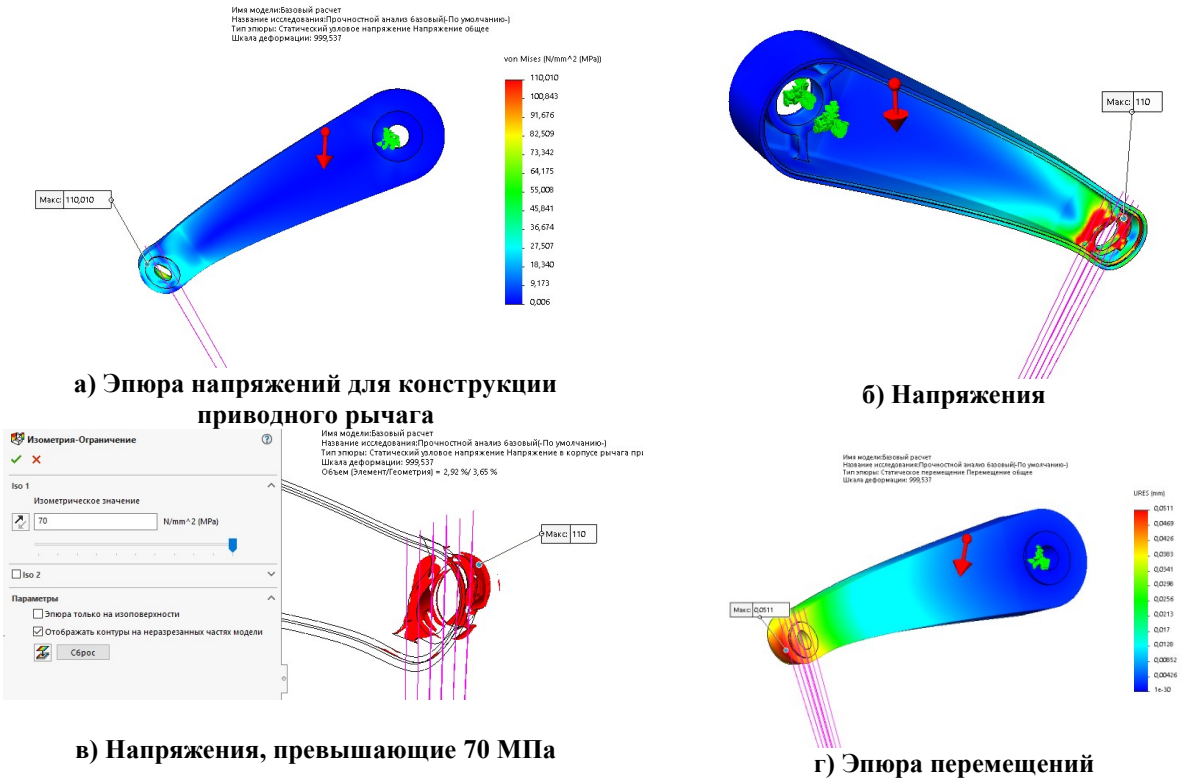


Рис. 3. Определение момента инерции базовых приводных рычагов

Прочностной анализ базовой конструкции приводных рычагов дельта-робота показал, что при работе возникает максимальное напряжение 110 МПа, что меньше предела текучести материала 08пс ГОСТ 1050-2013 (предел текучести равен 196 МПа). Объем точек, напряжения в которых превышает 70 МПа, возникает в 3,65% объема точек всей детали, (рис 4). Таким образом, подтверждается гипотеза об излишней прочности детали. Максимальное перемещение точек исследуемой сборочной единицы при перемещении груза массой 25 кг с максимальным ускорением равно 0,0511 мм. Эта величина деформации находится в интервале заявленной точности позиционирования дельта-робота упаковщика.

Для снижения уровня инерции сборочной единицы «Рычаг приводной» необходимо снизить массу детали «Корпус рычага приводного» и оптимизировать конструкцию с использование средств топологической оптимизации [1, 2, 3].



а) Эпюра напряжений для конструкции приводного рычага

б) Напряжения

в) Напряжения, превышающие 70 МПа

г) Эпюра перемещений

Рис.4. Прочностной анализ базовой конструкции приводных рычагов дельта-робота

Топологическая оптимизация приводных рычагов дельта-робота выявила, что оптимальная конструкция корпуса приводного рычага будет иметь конструкцию с ребрами жесткости. Масса детали после преобразования составит 2,74 кг (рис.5).

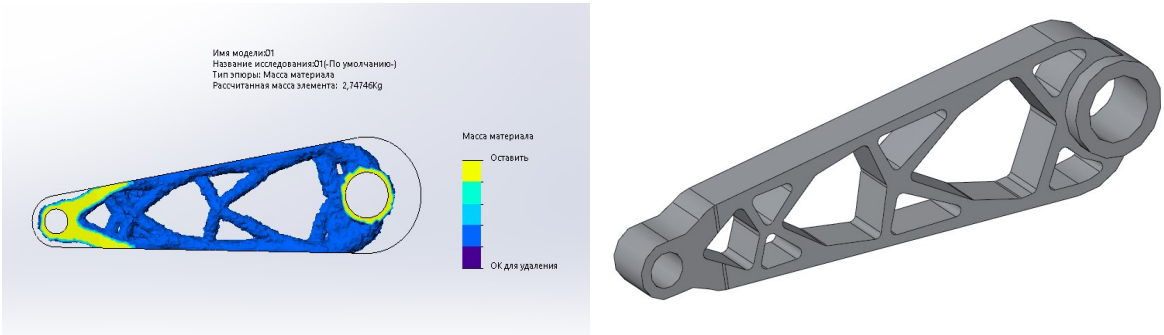


Рис.5. Топологически оптимизированная конструкция детали «Корпус приводного рычага»

Максимальное перемещение точек исследуемой сборочной единицы при перемещении груза массой 25 кг с максимальным ускорением равно 0,0569 мм.

Эти данные достигаются при использовании модернизированной конструкции, представленной на рис. 6.

Построение геометрической модели топологически оптимизированной конструкции детали «Корпус приводного рычага» подтвердило высокуюэффективность примененного подхода.

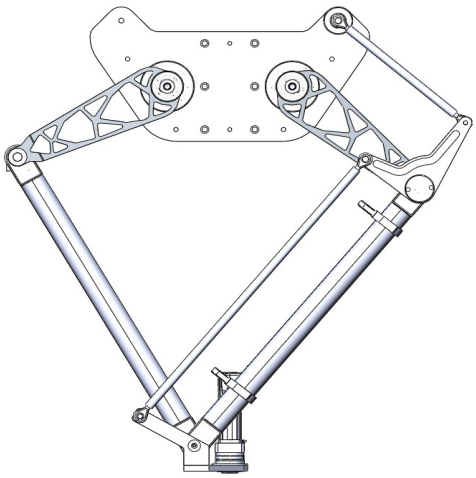


Рис. 6. Новая конструкция

Количественные показатели демонстрируют следующее:

- снижение массы конструкции на 58% – с 8,98кг (базовый вариант) до 2,74кг;

- уменьшение момента инерции относительно оси Z на 58,5% – до 134392кг×мм^2 (против 323636,19 кг×мм^2 в исходной конструкции).

Достигнутые улучшения обусловили рост точности раскладки дельта-робота-укладчика как минимум на 58%, что свидетельствует о значительном потенциале метода для совершенствования кинематических узлов промышленных роботов.

Библиографический список

1. Grotjahn, M., &Heimann, B. (2002). Identification of friction and rigid-body dynamics for parallel robots. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)

2. Stamper, R. E., Tsai, L.-W., & Walsh, G. C. (1997). Optimization of a three DOF translational platform for well-conditioned workspace. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 3250-3255

3. Briot, S., & Bonev, I. A. (2009). Accuracy analysis of 3-DOF planar parallel robots. Mechanism and Machine Theory, 43(4). C. 445-458.

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО БЛОКА

Д.Д. Леонов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматривается процесс разработки специализированного программного обеспечения для диагностики оптико-механического блока. Программа предназначена для чтения и анализа бинарных файлов, содержащих телеметрическую информацию, полученную от блока по интерфейсам CAN и UART. Описан алгоритм работы приложения, включающий разбор структурированных данных, декодирование сообщений на основе внутреннего протокола и визуализацию извлеченных параметров в виде графиков для последующего анализа и выявления неисправностей.

Ключевые слова: диагностика, программное обеспечение, оптико-механический блок, визуализация данных, CAN, UART, графический интерфейс

Введение

Современные оптико-механические блоки представляют собой сложные высокоточные устройства, функционирование которых обеспечивается обменом данными между контроллерами и исполнительными механизмами по различным цифровым интерфейсам. В процессе стендовых испытаний и опытной эксплуатации генерируются большие объемы телеметрической информации, сохраняемой в бинарные файлы.

Ключевым преимуществом разрабатываемого программного обеспечения (ПО) является возможность автономного и дистанционного анализа данных, записанных непосредственно с прибора. В отличие от проверки в реальном времени, требующего подключения к устройству на месте эксплуатации, предлагаемое решение работает с заранее записанными файлами. Записать файлы можно в любом месте, а затем провести их расшифровку и визуализацию. Такой подход позволяет проанализировать полученные данные удаленно.

Общее описание программы и пользовательский интерфейс

Разработанное ПО написано на языке C++ [1] с использованием фреймворка Qt. Графический интерфейс реализован на языке QML [2], обеспечивающий удобную работу с данными. Основные принципы взаимодействия с программой (рис. 1) заключаются в следующем.

1. Загрузка файла: пользователь инициирует выбор файла с расширением «.raw», который содержит записанные данные.
2. Персонализация: после загрузки файла программа создает набор кривых для отображения (по умолчанию все графики скрыты), а также присутствует выбор темы для более гибкой настройки рабочего пространства и повышения комфорта пользователя.

3. Управление отображением: слева расположена выдвижная панель (меню), разделенная на два блока – CAN и UART, предназначенная для настройки графиков, полученных по соответствующим интерфейсам (протоколам) передачи данных. Для каждого графика пользователь может настроить цвет линии и включить/отключить его видимость.

4. Выбор источника: в нижней части интерфейса предусмотрена возможность переключения между режимами просмотра графиков для данных CAN и UART.

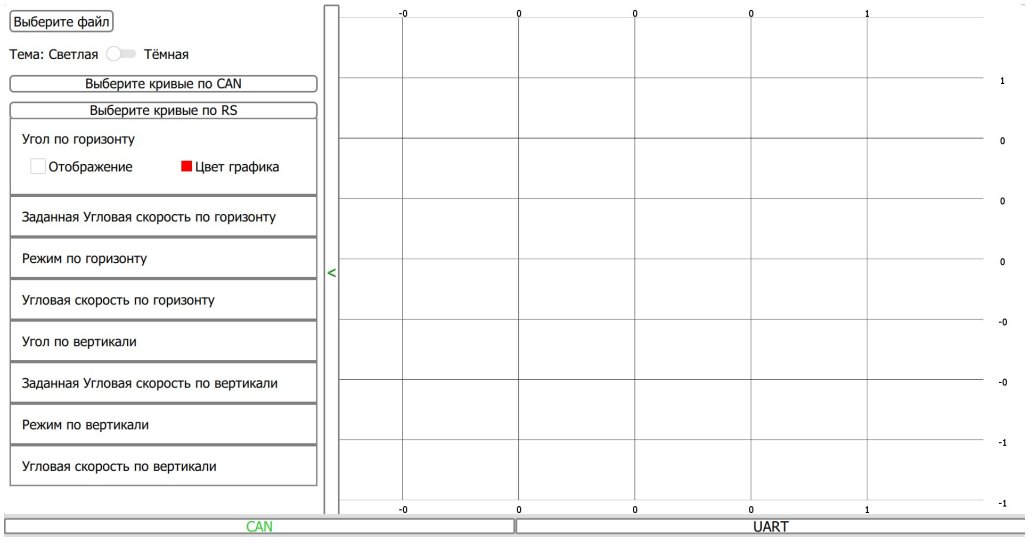


Рис. 1. Графический интерфейс приложения

Структура входных данных

Исходный бинарный файл представляет собой последовательную запись сообщений, каждое из которых начинается с однобайтового идентификатора. В разработанном ПО поддерживаются следующие типы сообщений, которые определены в протоколе:

- выходной сигнал по CAN 0 и CAN 1,
- входной сигнал по CAN 0 и CAN 1,
- выходной сигнал по UART 0 и UART 1,
- входной сигнал по UART 0 и UART 1.

Два интерфейса (CAN и UART) используются по следующим причинам:

1) при отсутствии одного из интерфейсов можно провести анализ по имеющимся данным со второго интерфейса;
2) CAN-интерфейс используется для реализации обмена данными между составными частями изделия, а также для реализации технологического протокола, который позволяет провести анализ и настройку прибора;
3) UART-интерфейс используется в соответствии со штатным протоколом информационного взаимодействия.

Структура сообщений для CAN и UART отличается. CAN-сообщения всегда извлекаются одинаково и не требуют разбора, поскольку все имеют одинаковый размер и обладают следующей структурой:

- quint32 id; - 4 байта;
- quint8 size; - 1 байт;
- quint8 data[8]; - массив из 8 байт;
- quint64 time; - 8 байт.

UART-сообщения имеют размер, обусловленный протоколом информационного взаимодействия, поэтому сообщение собирается из байт нужной информации: при записи в файл каждый такой байт дополняется служебными полями (адресом и меткой времени) в соответствии со следующей структурой:

- uint8_t more - 1 байт;
- uint8_t address - 1 байт;
- uint64_t time - 8 байт.

Данные в UART-сообщениях, собранные в массив [3], требуют разбора.

Общий алгоритм обработки сообщений

Этап 1: Чтение и классификация сообщений

Программа последовательно читает файл по байту, определяет тип сообщения. Далее, в зависимости от типа, считывается либо структура для CAN-сообщений, либо структура для UART-сообщений.

Этап 2: Обработка CAN-сообщений

При обнаружении сообщений нужного типа программа извлекает структуру для CAN-сообщений, после чего, используя поле id, идентифицирует адрес сообщения.

Каждому id соответствует своя структура, определенная протоколом, из которой извлекаются числовые значения параметров с привязкой по времени.

Этап 3: Обработка UART-сообщений

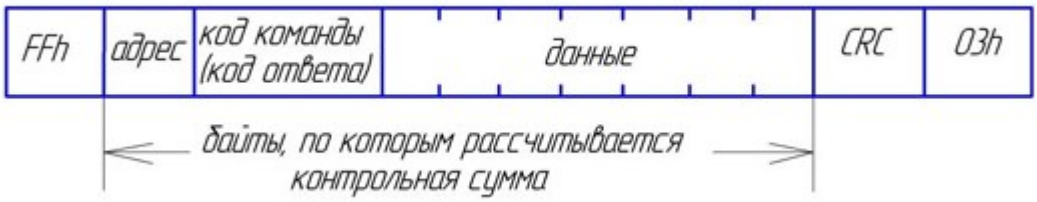


Рис. 2. Структура UART-сообщений

Алгоритм обработки работает следующим образом:

1. Определение служебных байт:

- 0xFF – стартовый байт (выставляет флаг начала сообщения);
- 0x03 – байт, определяющий конец сообщения, после которого выставляется флаг завершения сообщения;
- 0x10 – байт, после которого выставляется специальный флаг – это означает что следующий байт должен быть инвертирован, поскольку он равен другому служебному байту, но не выполняет его функцию.

2. Проверка размеров – сообщение не должно превышать 32 байта, также оно не может быть пустым при появлении байта конца сообщения.

3. Проверка контрольной суммы (всегда предпоследний байт в целом сообщении) из сообщения и сравнение его с рассчитанным, выполняется для проверки достоверности разобранного сообщения.

4. Формирование массива – в случае успешного разбора сообщения формируется массив, содержащий в себе данные из этого сообщения (рис. 2), в ином случае массив очищается.

Этап 4: Построение графиков

Полученные значения добавляются на соответствующие графики для UART/CAN-данных.

Для визуализации данных используются библиотека «qtPlot». Для каждого диагностируемого параметра создается отдельная кривая. После прочтения всего файла и обнаружения всех сообщений вызывается метод для обновления отображения.

Заключение

В результате работы было разработано специализированное программное обеспечение, решающее актуальную задачу дистанционного анализа телеметрических данных оптико-механического блока.

Программа позволяет:

- считывать и корректно интерпретировать бинарные файлы со смешанными типами данных (CAN/UART);
- отображать в графическом виде изменения ключевых параметров во времени.

Использование данного ПО позволяет проводить дистанционную диагностику без прямого подключения к прибору. Дальнейшее развитие продукта направлено на расширение списка поддерживаемых устройств, интерфейсов приема/передачи данных, добавление функций статистического анализа и экспорта обработанных данных.

Библиографический список

1. ***Стенли Б. Липпман.*** Язык программирования C++. Базовый курс, 5-е изд./ Стенли Б. Липпман, Жози Лажойе, Барабара Э. Му. - Пер. с англ. – М.: ООО "ИЛ. Вильяме". – 2014. – 1120 с.

2. ***Шлее, М.*** Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++ / М. Шлее. - СПб.: БХВ-Петербург. – 2015. – 928 с.

3. ***Мейерс, Скотт.*** Эффективный и современный C++: 42 рекомендации по использованию C++ 11 и C++14. / С. Мейерс. - Пер. с англ. – М.: ООО "ИЛ. Вильяме". – 2016. – 304 с.

СОСТОЯНИЯ РАВНОВЕСИЯ ДВУХ ПОПУЛЯЦИЙ В МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ЛОТКИ-ВОЛЬТЕРРЫ ПРИ НАЛИЧИИ СИЛЬНОЙ КОНКУРЕНЦИИ СРЕДИ ХИЩНИКОВ ЗА ОТЛИЧНЫЕ ОТ ЖЕРТВЫ РЕСУРСЫ

И. Н. Маслов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

Рассмотрена модифицированная модель хищник-жертва в предположении о наличии сильной конкуренции в популяции хищников. Найдены состояния равновесия между подсистемами жертв и хищников. Исследована устойчивость этих состояний и определен их тип.

Ключевые слова: математическая модель Лотки-Вольтерры, модифицированная модель Лотки-Вольтерры, конкуренция среди хищников, конкуренция среди хищников за отличные от жертвы ресурсы, сильная конкуренция, состояния равновесия между подсистемами, устойчивость по первому приближению

Математическая модель «хищник-жертва» предлагает способ описания системы, в которой происходит взаимодействие двух подсистем, использующих для своего эволюционирования ресурсы различных видов: для подсистемы, представители которой называются (условно) «жертвы», ресурсы в неограниченных количествах рассредоточены в окружающей среде; для другой подсистемы, представители которой называются (условно) «хищники», ресурсами являются представители первой подсистемы, численность которых естественным образом ограничивает «ресурсную базу» второй подсистемы.

В изначально предложенной модели взаимодействия двух популяций – системе уравнений Лотки-Вольтерры [1]:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = Ax - Bxy, \\ \dfrac{dy}{dt} = -Cy + Dxy \end{cases}, \qquad (1)$$

где A, B, C, D - некоторые положительные постоянные, x, y – численность «жертв» и «хищников» соответственно – слагаемые в правых частях уравнений количественно выражают скорости изменения численности популяций: увеличение числа жертв Ax - за счет бесконтрольного размножения жертв при неограниченной «кормовой базе», уменьшение числа жертв $-Bxy$ - пропорциональное частоте встреч жертв с хищниками, уменьшение числа хищников $-Cy$ - за счет естественной смерти хищников в условиях ограниченного количества корма, увеличение числа хищников Dxy – пропорциональное частоте встреч хищников с жертвами.

Наряду с моделью (1) рассматриваются так называемые «модифицированные» модели хищник-жертва [2]. К числу однофакторных модификаций модели Лотки-Вольтерры относятся те, в которых учитываются: нелинейный характер размножения, а также конкуренция и смертность в популяции жертв; процесс насыщения хищника; нелинейность уменьшения популяции жертвы при малых ее плотностях; условия конкуренции в среде хищников как за жертву, так и за отличные от жертвы ресурсы; возможность нелинейного характера размножения хищника при условии малой плотности их популяции. К двухфакторным модификациям системы уравнений (1) относят те модели, в которых рассматриваются: условие конкуренции жертв при учете насыщения хищника; наличие конкуренции в популяции жертв при нелинейности изменения ее численности и малых плотностях; нелинейный характер уменьшения популяции жертвы при малой ее плотности и возможность насыщение хищника; режим конкуренции хищника за ресурсы, отличные от жертвы, при условии насыщения хищника; ситуация с конкуренцией за жертву в среде хищников при насыщении хищника; нелинейный характер размножения хищника при наличии конкуренция жертв. Наконец, трехфакторные модификации модели Лотки-Вольтерры описывают: условие насыщения в популяции хищников при нелинейном характере уменьшения популяции жертв при наличии конкуренции среди них; режим насыщения хищников при условии конкуренции хищников за отличные от жертвы ресурсы при конкуренции среди жертв; насыщение в популяции хищников при условиях конкуренции хищника за жертву и конкуренции среди жертв; состояния конкуренции в популяции жертв и конкуренции среди хищников за отличные от жертвы ресурсы [2].

Число факторов, учитываемых при рассмотрении взаимодействия двух популяций, может быть достаточно большим, а «трофические функции» [2], описывающие характерные черты этого взаимодействия – достаточно разнообразными.

В частности, учет конкуренции среди хищников за отличные от жертвы ресурсы приводит к следующим уравнениям (более общая постановка подобной задачи содержится, например, в [2], [3]):

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = Ax - Bxy, \\ \dfrac{dy}{dt} = -Cy + Dxy - Gy^2 \end{cases}, \qquad (2)$$

в которых коэффициенты A, B, C, D имеют тот же смысл, что и в уравнениях (1), а коэффициент G, характеризующий интенсивность конкуренции, стоит множителем при y^2 – второй степени относительно численности популяции хищников – и, следовательно, описывает квадратичную нелинейность по переменной y в уравнении, определяющем скорость изменения этой переменной.

По аналогии с классификацией нелинейных членов в теории гармонического осциллятора (в которой квадратичное слагаемое называется «нелинейно-

стью», а слагаемое с третьей степенью исследуемой переменной называется «сильной нелинейностью»), рассмотрим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = Ax - Bxy, \\ \dfrac{dy}{dt} = -Cy + Dxy - Gy^3 \end{cases}, \tag{3}$$

в которой слагаемое Gy^3 описывает кубическую нелинейность по переменной y с коэффициентом G; будем считать, что это слагаемое соответствует «сильной конкуренции» среди хищников. Величина этого слагаемого в уравнениях (3) никоим образом не связана с численностью популяции жертв: видимо, именно этим соображением обусловлено словосочетание «конкуренция хищников за отличные от жертвы ресурсы», то есть исключительно хищников между собой.

Уравнения (3) можно рассматривать как частный случай общих уравнений А. Н. Колмогорова модели динамики популяций [4], а также модели популяционной динамики М. Розенцвейга-Р. МакАртура при некоторых специальных ограничениях на функции, рассматриваемые в этих моделях.

Переходя к безразмерным переменным τ, u, v согласно равенствам

$$t = \frac{\tau}{A}, x = \frac{A}{D}u, y = \frac{A}{B}v \ , \tag{4}$$

из которых следует, что $\dfrac{dx}{dt} = \dfrac{A^2}{D}\dfrac{du}{d\tau}, \dfrac{dy}{dt} = \dfrac{A^2}{B}\dfrac{dv}{d\tau}$, и обозначая производные по безразмерному времени τ точкой сверху, получим запись системы уравнений (3) в безразмерном виде:

$$\begin{cases} \dot{u} = u - uv, \\ \dot{v} = -\gamma v + uv - \delta v^3 \end{cases}. \tag{5}$$

Здесь

$$\delta = \frac{AG}{B^2}, \gamma = \frac{C}{A}, \tag{6}$$

параметры δ, γ строго положительны.

Исследуем состояния равновесия («точки покоя») системы уравнений (5), полагая $\dot{u} = 0, \dot{v} = 0$. Из уравнений (5) получаем тогда

$$\begin{cases} u(1-v)=0, \\ v\left(-\gamma+u-\delta v^2\right)=0 \end{cases}. \tag{7}$$

Из верхнего уравнения (7) следует, что имеют место следующие возможности:

1) $u=0$, а тогда из нижнего уравнения получаем $v\left(-\gamma+u-\delta v^2\right)=0$, откуда или $v=0$, или $-\gamma-\delta v^2=0$ - это последнее уравнение не имеет решений;

2) $u\neq 0$, а значит, $v=1$ и тогда, согласно нижнему уравнению (7), $u=\gamma+\delta$.

Таким образом, система уравнений (5) имеет две точки покоя: $P_1(0,0)$, $P_2(\gamma+\delta,1)$. Заметим, что условие неотрицательности координат найденных точек покоя выполнено, поскольку $\gamma>0,\delta>0$. Исследуем точки покоя P_1,P_2 на устойчивость или неустойчивость состояний равновесия, относя эти точки к одному из известных типов.

Ограничимся исследованием устойчивости по первому приближению. Система первого приближения для рассматриваемой точки покоя $P(u_P,v_P)$ имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{u}=(1-v)(u-u_P)-u(v-v_P), \\ \dot{v}=v(u-u_P)+\left(-\gamma+u-3\delta v^2\right)(v-v_P) \end{cases}, \tag{8}$$

а характеристическое уравнение для системы (8)

$$\begin{vmatrix} (1-v)\big|_P-\lambda & -u\big|_P \\ v\big|_P & \left(-\gamma+u-\delta v^2\right)\big|_P-\lambda \end{vmatrix}=0; \tag{9}$$

элементы определителя вычисляются в точке $P(u_P,v_P)$.

Для точки $P_1(0,0)$ уравнение (9) принимает вид:

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & 0 \\ 0 & -\gamma-\lambda \end{vmatrix}=0$$

и имеет действительные корни противоположных знаков: $\lambda_1=1$, $\lambda_2=-\gamma$. Следовательно, точка покоя $P_1(0,0)$ неустойчива и представляет собой седло.

Для точки $P_2(\gamma+\delta,1)$ уравнение (9) имеет вид:

$$\begin{vmatrix} -\lambda & -(\gamma+\delta) \\ 1 & -2\delta-\lambda \end{vmatrix} = 0$$

и приводится к квадратному уравнению: $\lambda^2 + 2\delta\lambda + (\gamma+\delta) = 0$. Если дискриминант этого уравнения неотрицателен, что имеет место при условии

$$\delta^2 - \delta - \gamma \geq 0, \tag{10}$$

или $\gamma \leq \delta^2 - \delta$, то уравнение имеет действительные корни, и точка покоя $P_2(\gamma+\delta, 1)$ представляет собой устойчивый узел. Заметим, что, поскольку $\gamma > 0, \delta > 0$, необходимое условие выполнения неравенства (10) имеет вид $\delta > 1$; это означает, что при $\delta \leq 1$ в точке $P_2(\gamma+\delta, 1)$ устойчивого узла не может быть ни при каком положительном значении параметра γ. При выполнении неравенства $\delta^2 - \delta - \gamma < 0$ квадратное уравнение имеет комплексно-сопряженные корни, причем действительные части этих корней отрицательны. Следовательно, в этом случае точка покоя $P_2(\gamma+\delta, 1)$ представляет собой устойчивый фокус.

Сравнение результатов приведенного исследования с результатами вычислений в аналогичной задаче, в которой сильная конкуренция имела место не среди хищников, а среди жертв, позволяет обнаружить различие и сходство полученных результатов.

В обеих системах, независимо от численных значений входящих в них параметров, существуют асимптотически устойчивые решения, соответствующие либо устойчивому узлу, либо устойчивому фокусу. Также в обеих системах имеется неустойчивая точка покоя.

Однако в системе с конкуренцией хищников между собой существуют лишь два состояния равновесия, в то время как в системе с конкуренцией жертв состояний равновесия три: еще одна точка покоя, в зависимости от параметра, либо асимптотически устойчива и представляет собой устойчивый узел, либо неустойчива и представляет собой седло.

Библиографический список

1. ***Вольтерра, В.*** Математическая теория борьбы за существование / В. Вольтерра. – Москва : Наука, 1976. – 288 с.

2. ***Базыкин, А. Д.*** Нелинейная динамика взаимодействующих популяций / А. Д. Базыкин. – Москва ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2003. – 368 с.

3. ***Абрамова, Е. П.*** Динамические режимы стохастической модели «хищник-жертва» с учётом конкуренции и насыщения / Е. П. Абрамова, Т. В. Рязанова // Компьютерные исследования и моделирование. – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 515–531.

4. ***Колмогоров, А. Н.*** Качественное изучение математических моделей динамики популяций / А. Н. Колмогоров // Проблемы кибернетики. – 1972. – № 5. – С. 100–106.

СОСТОЯНИЯ РАВНОВЕСИЯ ДВУХ ПОПУЛЯЦИЙ В МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ЛОТКИ-ВОЛЬТЕРРЫ ПРИ НАЛИЧИИ СИЛЬНОЙ КОНКУРЕНЦИИ СРЕДИ ЖЕРТВ

И. Н. Маслов
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

Рассмотрена модифицированная модель хищник-жертва в предположении о наличии сильной конкуренции в популяции жертв. Найдены состояния равновесия между подсистемами жертв и хищников. Исследована устойчивость этих состояний и определен их тип.

Ключевые слова: математическая модель Лотки-Вольтерры, модифицированная модель Лотки-Вольтерры, конкуренция среди жертв, сильная конкуренция, состояния равновесия между подсистемами, устойчивость по первому приближению

Математическая модель «хищник-жертва» предлагает способ описания системы, в которой происходит взаимодействие двух подсистем, использующих для своего эволюционирования ресурсы различных видов: для подсистемы, представители которой называются (условно) «жертвы», ресурсы в неограниченных количествах рассредоточены в окружающей среде; для другой подсистемы, представители которой называются (условно) «хищники», ресурсами являются представители первой подсистемы, численность которых естественным образом ограничивает «ресурсную базу» второй подсистемы.

В изначально предложенной модели взаимодействия двух популяций – системе уравнений Лотки-Вольтерры [1]:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = Ax - Bxy, \\ \dfrac{dy}{dt} = -Cy + Dxy \end{cases}, \qquad (1)$$

где A, B, C, D - некоторые положительные постоянные, x, y – численность «жертв» и «хищников» соответственно – слагаемые в правых частях уравнений количественно выражают скорости изменения численности популяций: увеличение числа жертв Ax - за счет бесконтрольного размножения жертв при неограниченной «кормовой базе», уменьшение числа жертв $-Bxy$ – пропорциональное частоте встреч жертв с хищниками, уменьшение числа хищников $-Cy$ – за счет естественной смерти хищников в условиях ограниченного количества корма, увеличение числа хищников Dxy - пропорциональное частоте встреч хищников с жертвами.

Наряду с моделью (1) рассматриваются так называемые «модифицированные» модели хищник-жертва [2]. К числу однофакторных модификаций модели Лотки-Вольтерры относятся те, в которых учитываются: нелинейный характер размножения, а также конкуренция и смертность в популяции жертв;

процесс насыщения хищника; нелинейность уменьшения популяции жертвы при малых ее плотностях; условия конкуренции в среде хищников как за жертву, так и за отличные от жертвы ресурсы; возможность нелинейного характера размножения хищника при условии малой плотности их популяции. К двухфакторным модификациям системы уравнений (1) относят те модели, в которых рассматриваются: условие конкуренции жертв при учете насыщения хищника; наличие конкуренции в популяции жертв при нелинейности изменения ее численности и малых плотностях; нелинейный характер уменьшения популяции жертвы при малой ее плотности и возможность насыщение хищника; режим конкуренции хищника за ресурсы, отличные от жертвы, при условии насыщения хищника; ситуация с конкуренцией за жертву в среде хищников при насыщении хищника; нелинейный характер размножения хищника при наличии конкуренция жертв. Наконец, трехфакторные модификации модели Лотки-Вольтерры описывают: условие насыщения в популяции хищников при нелинейном характере уменьшения популяции жертв при наличии конкуренции среди них; режим насыщения хищников при условии конкуренции хищников за отличные от жертвы ресурсы при конкуренции среди жертв; насыщение в популяции хищников при условиях конкуренции хищника за жертву и конкуренции среди жертв; состояния конкуренции в популяции жертв и конкуренции среди хищников за отличные от жертвы ресурсы [2].

Число факторов, учитываемых при рассмотрении взаимодействия двух популяций, может быть достаточно большим, а «трофические функции» [2], описывающие характерные черты этого взаимодействия – достаточно разнообразными.

В частности, учет конкуренции среди жертв приводит к следующим уравнениям (более общая постановка подобной задачи содержится, например, в [2], [3]):

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = Ax - Bxy - Ex^2, \\ \dfrac{dy}{dt} = -Cy + Dxy \end{cases}, \qquad (2)$$

в которых коэффициенты A, B, C, D имеют тот же смысл, что и в уравнениях (1), а коэффициент E, характеризующий интенсивность конкуренции, стоит множителем при x^2 – второй степени относительно численности популяции жертв – и, следовательно, описывает квадратичную нелинейность по переменной x в уравнении, определяющем скорость изменения этой переменной.

По аналогии с классификацией нелинейных членов в теории гармонического осциллятора (в которой квадратичное слагаемое называется «нелинейностью», а слагаемое с третьей степенью исследуемой переменной называется «сильной нелинейностью»), рассмотрим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = Ax - Bxy - Fx^3, \\ \dfrac{dy}{dt} = -Cy + Dxy \end{cases}, \tag{3}$$

в которой слагаемое Fx^3 описывает кубическую нелинейность по переменной x с коэффициентом F; будем считать, что это слагаемое соответствует «сильной конкуренции» среди жертв.

Уравнения (3) можно рассматривать как частный случай общих уравнений А. Н. Колмогорова модели динамики популяций [4], а также модели популяционной динамики М. Розенцвейга-Р. МакАртура при некоторых специальных ограничениях на функции, рассматриваемые в этих моделях.

Переходя к безразмерным переменным τ, u, v согласно равенствам

$$t = \frac{\tau}{A}, x = \frac{A}{D}u, y = \frac{A}{B}v\ , \tag{4}$$

из которых следует, что $\dfrac{dx}{dt} = \dfrac{A^2}{D}\dfrac{du}{d\tau}, \dfrac{dy}{dt} = \dfrac{A^2}{B}\dfrac{dv}{d\tau}$, и обозначая производные по безразмерному времени τ точкой сверху, получим запись системы уравнений (3) в безразмерном виде:

$$\begin{cases} \dot{u} = u - uv - \varepsilon u^3, \\ \dot{v} = -\gamma v + uv \end{cases}. \tag{5}$$

Здесь

$$\varepsilon = \frac{AF}{D^2}, \gamma = \frac{C}{A}, \tag{6}$$

параметры ε, γ строго положительны.

Исследуем состояния равновесия («точки покоя») системы уравнений (5), полагая $\dot{u} = 0, \dot{v} = 0$. Из уравнений (5) получаем тогда

$$\begin{cases} u\left(1 - v - \varepsilon u^2\right) = 0, \\ v\left(-\gamma + u\right) = 0 \end{cases}. \tag{7}$$

Из верхнего уравнения (7) следует, что либо $u = 0$, а тогда из нижнего уравнения получаем $v = 0$, либо $u \neq 0$ и, значит,

$$\begin{cases} 1-v-\varepsilon u^2=0, \\ v\left(-\gamma+u\right)=0 \end{cases}. \tag{8}$$

Согласно нижнему уравнению (8), либо $v=0$, либо $-\gamma+u=0$, то есть $u=\gamma$; из верхнего уравнения (8) тогда найдем соответственно: $u=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}$ (здесь учтено, что переменная u (а также и v) неотрицательны) или $v=1-\varepsilon\gamma^2$.

Таким образом, система уравнений (5) имеет три точки покоя: $P_1(0,0)$, $P_2(\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}},0)$, $P_3(\gamma,1-\varepsilon\gamma^2)$. Исследуем точки покоя P_1, P_2, P_3 на устойчивость или неустойчивость состояний равновесия, относя эти точки к одному из известных типов.

Ограничимся исследованием устойчивости по первому приближению. Система первого приближения для рассматриваемой точки покоя $P(u_P, v_P)$ имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{u}=\left(1-v-3\varepsilon u^2\right)\left(u-u_P\right)-u\left(v-v_P\right), \\ \dot{v}=v\left(u-u_P\right)+\left(-\gamma+u\right)\left(v-v_P\right) \end{cases}, \tag{9}$$

а характеристическое уравнение для системы (9)

$$\begin{vmatrix} \left(1-v-3\varepsilon u^2\right)\Big|_P-\lambda & -u\Big|_P \\ v\Big|_P & \left(-\gamma+u\right)\Big|_P-\lambda \end{vmatrix}=0; \tag{10}$$

элементы определителя вычисляются в точке $P(u_P, v_P)$.

Для точки $P_1(0,0)$ уравнение (10) принимает вид:

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & 0 \\ 0 & -\gamma-\lambda \end{vmatrix}=0$$

и имеет действительные корни противоположных знаков: $\lambda_1=1$, $\lambda_2=-\gamma$. Следовательно, точка покоя $P_1(0,0)$ неустойчива и представляет собой седло.

Для точки $P_2(\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}},0)$ уравнение (10) имеет вид:

$$\begin{vmatrix} -2-\lambda & -\dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \\ 0 & \left(-\gamma+\dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon}}\right)-\lambda \end{vmatrix}=0,$$

и корни его действительны: $\lambda_1=-2$, $\lambda_2=-\gamma+\dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon}}$. Следовательно, при $\gamma>\dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon}}$ точка покоя $P_2(\dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon}},0)$ асимптотически устойчива и представляет собой устойчивый узел; при $\gamma<\dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon}}$ точка покоя $P_2(\dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon}},0)$ неустойчива и представляет собой седло.

Для точки $P_3(\gamma,1-\varepsilon\gamma^2)$ уравнение (10) имеет вид:

$$\begin{vmatrix} -2\varepsilon\gamma^2-\lambda & -\gamma \\ 1-\varepsilon\gamma^2 & -\lambda \end{vmatrix}=0$$

и приводится к квадратному уравнению: $\lambda^2+2\varepsilon\gamma^2\lambda+\gamma\left(1-\varepsilon\gamma^2\right)=0$. Если дискриминант этого уравнения отрицателен, что имеет место при условии $\gamma^4\varepsilon^2+\gamma^3\varepsilon-\gamma<0$, то уравнение имеет комплексно сопряженные корни, причем действительные части этих корней отрицательны. Следовательно, в этом случае точка покоя $P_3(\gamma,1-\varepsilon\gamma^2)$ представляет собой устойчивый фокус. Если же $\gamma^4\varepsilon^2+\gamma^3\varepsilon-\gamma\geq 0$, то корни уравнения действительны. При выполнении неравенства $1-\varepsilon\gamma^2>0$ оба корня отрицательны, и точка покоя $P_3(\gamma,1-\varepsilon\gamma^2)$ представляет собой устойчивый узел. Случай же $1-\varepsilon\gamma^2<0$, в котором корни λ_1 и λ_2 имеют противоположные знаки, то есть точка покоя $P_3(\gamma,1-\varepsilon\gamma^2)$ была бы неустойчива и представляла бы собой седло, не реализуется, поскольку $v\geq 0$.

Библиографический список

1. ***Вольтерра, В.*** Математическая теория борьбы за существование. - М.: Наука, 1976. – 288 с.

2. ***Базыкин, А. Д.*** Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. – Москва - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 368 с.

3. ***Абрамова, Е. П.*** Динамические режимы стохастической модели "хищник - жертва" с учетом конкуренции и насыщения / Е. П. Абрамова, Т. В. Рязанова // Компьютерные исследования и моделирование. – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 515-531.

4. ***Колмогоров, А.Н.*** Качественное изучение математических моделей динамики популяций // Проблемы кибернетики. - 1972, № 5. – 100-106.

СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО КВАЗИСКОЛЬЗЯЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ

***А.А. Плотников*[1,2]**

[1]*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт*

[2]*АО «Арзамасское научно-производственное предприятие «ТЕМП-АВИА»*

В данной работе рассматривается задача синтеза адаптивного квазискользящего управления для нелинейной системы на основе решения задачи оптимизации. Такой подход позволяет учесть структурные ограничения и запаздывания в объекте управления. Результаты численного моделирования подтвердили адекватность предложенного подхода.

Ключевые слова: квазискользящее управление, синтез, алгоритмы оптимизации, робастное управление, нелинейное управление.

Перспективным направлением в области синтеза систем автоматического регулирования является построение нелинейных законов управления на основе теории скользящих режимов. Основные преимущества таких законов заключаются в высоких показателях устойчивости к параметрической неопределенности объекта управления (ОУ) и высоком быстродействии [1].

Существующие методики синтеза при построении алгоритмов скользящего управления ориентированы на использовании линейных подходов, в которых не всегда могут быть учтены, запаздывая и структурные ограничения контура без модификации структуры закона управления [1-4]. С инженерной точки зрения синтез с учетом нелинейностей подобного рода представляет собой актуальную задачу, особенно для систем, работающих на пределе динамических возможностей. Аналитическое построение скользящих законов, которые бы обеспечивали необходимое качество функционирование контура при обеспечении требуемых робастных свойств является достаточно трудоемкой задачей [2-4]. Перспективным направлением в этом случае может быть применение различных численных подходов. Так поиск параметров поверхности переключения с учетом различных нелинейностей и структурных ограничений ОУ может быть осуществлен с помощью постановки задачи глобальной оптимизации.

На первом этапе по разработки методики синтеза алгоритмов скользящего управления с применением алгоритмов глобальной оптимизации требуется разработать структуру закона управления.

Рассмотрим следующую нелинейную систему:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x) + g(x) \cdot u, \\ y &= c(x), \end{aligned} \tag{1}$$

с линейной функцией переключения

$$s = Sy = Sc(x), \tag{2}$$

где $x \in R^n$, $u \in R^m$, $y \in R^p$ – векторы состояния, управления и измерений, $f(x), g(x), c(x)$ – нелинейные функции модели, соответствующих размерностей; $S \in R^{m \times p}$ – матрица усиления функции переключения.

Закон управления u для системы (1) с функцией переключения (2) обеспечивающий устойчивый скользящий режим т.е. $s(x) = 0$ может быть получен если выполняется условие:

$$\dot{s}s < 0. \tag{3}$$

Простейшим законом, обеспечивающим (3) для функции переключения (2), является релейный закон управления [1]:

$$u_{sw} = \rho \cdot \text{sign}(s), \tag{4}$$

где ρ – амплитуда знаковой функции.

Закон (4) следует рассматривать совместно с линейной (эквивалентной) составляющей, которая обеспечит удержание s в окрестности нуля. Эквивалентный закон для системы (1) с функцией переключения (2) может быть найден если выполняется $\dot{s} = 0$ при $s = 0$. Раскрывая полученное выражение, получим:

$$\dot{s} = S \cdot \frac{dc(x)}{dt} = S \cdot \frac{dc(x)}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = S \cdot \frac{dc(x)}{dx} \cdot \left(f(x) + g(x)u \right) = 0$$

или

$$S \cdot \frac{dc(x)}{dx} f(x) + S \cdot \frac{dc(x)}{dx} g(x)u = 0.$$

Запишем полученное выражение относительно u, чтобы получить эквивалентный закон управления:

$$u_{eq} = \left(S \cdot \frac{dc(x)}{dx} \cdot g(x) \right)^{-1} \cdot \left(S \cdot \frac{dc(x)}{dx} f(x) \right). \tag{5}$$

Итоговый закон может быть получен как сумма (4) и (5):

$$u = \left(S \cdot \frac{dc(x)}{dx} \cdot g(x) \right)^{-1} \cdot \left(S \cdot \frac{dc(x)}{dx} f(x) \right) + \rho \cdot \text{sign}(s), \tag{6}$$

где $\frac{dc(x)}{dx} \cdot g(x) \neq 0$.

Таким образом, на основе закона (6) для системы (1) может быть обеспечен скользящий режим $s(x) = 0$. Далее проведем анализ полученного закона управления.

Матрица усиления функции переключения S и амплитуда знаковой функции ρ могут быть найдены в процессе решения задачи оптимизации. Однако для упрощения значение ρ следует выбирать предварительно, исходя из требований к переходному процессу (быстродействие, дребезг, робастность).

На следующем шаге, для постановки задачи синтеза на основе алгоритмов глобальной оптимизации закона (6) требуется разработать целевую функцию оптимизации. Принятый критерий должен отражать необходимые показатели качества и требования, предъявляемые к переходному процессу. Одним из

возможных вариантов является целевая функция на основе линейной свертки из работы [5]. Ее основу составляет квадрат разности фактического значения регулируемой величины и некоторого эталонного сигнала на основе колебательного звена. Дополнительно в критерий добавлены штрафы перерегулирование и непопадания переходного процесса в заданные области на определенных интервалах времени.

Его недостатком для синтеза скользящего управления является отсутствие штрафа за дребезг в управляющем сигнале, возникающего в процессе высокочастотного переключения знаковой функции. Проблема может быть решена если на этапе синтеза использовать аппроксимацию знаковой функции в окрестности нуля:

$$u_{sw} = \rho \cdot \frac{s}{|s| + \delta}, \tag{7}$$

где $\delta > 0$ – параметр, определяющий интервал аппроксимации.

Отдельным вопросом рассматриваемой задачи является анализ робастных свойств разрабатываемого закона управления. Выбранный критерий основан на качестве переходной характеристики замкнутой системы. Для линейного управления «плавность» и апериодический вид переходного процесса может подтверждать наличие достаточных запасов устойчивости в замкнутой системе. Однако в случае скользящего управления в виду нелинейной структуры, эффекта «дребезга» и чувствительности к фазовым запаздываниям, гарантии требуемых запасов устойчивости явно не следуют. В связи с этим возникает необходимость в дополнительном исследовании закона (6) на наличие робастных свойств и разработке методов по обеспечению требуемых запасов.

В случае линейного закона управления необходимые робастные свойства могут быть обеспечены путем проведения синтеза и анализа для худшего случая, то есть, когда в замкнутую систему закладывалось максимально допустимое значение задержки управляющего сигнала, подаваемого на рулевой привод, а полученный результат проверялся с учетом 30% разброса аэродинамических характеристик. Если переходная характеристика соответствовала допустимым ограничениям для худшего случая, то при номинальных параметрах системы также обеспечивались бы необходимые робастные свойства.

Предварительные результаты численного моделирования показывают, что для скользящего управления рассмотренный подход так же позволяет получить необходимые робастные свойства в замкнутом контуре. Основное отличие от линейного управления заключается в усилении дребезга управляющего сигнала, поскольку в системе присутствует неучтенная динамика.

Одним из возможных решением проблемы является построение закона (6) с учетом компенсации задержки управляющего сигнала [6], однако на практике величина задержки, как правило, априорно не известна. В результате, для таких систем требуются дополнительные алгоритмы идентификации величины запаздывания управляющего сигнала в замкнутом контуре [7]. Простейшим решением, рассматриваемой проблемы, может быть увеличение интервала аппрокси-

мации знаковой функции (7). При достаточно больших значениях δ дребезг, вызванной неучтенной динамикой, сильно уменьшается или отсутствует.

Проведем апробацию предложенной методики синтеза алгоритмов квазискользящего управления. В качестве ОУ рассматривается вертикальный канал короткопериодического движения беспилотного летательного аппарата самолетного типа. Уравнения динамики такой системы в пространстве состояний могут быть представлены в следующем виде:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x) + g(x)u(t), \\ y &= x, \end{aligned} \tag{8}$$

где $x(t) = \left[\alpha(t) \quad \omega_z(t) \quad \int n_y(t) \quad \delta_{\text{в}}(t)\right]^{\text{T}}$, $u(t) = \delta_{\text{в}}^{\text{зад}}(t)$,

$$f(x) = \begin{bmatrix} \omega_z - c_y(\alpha, \delta_{\text{в}}, M)\dfrac{\rho(H)V_a(H)MS}{2m} \\ m_z(\alpha, \delta_{\text{в}}, M)\dfrac{\rho(H)V_a^2(H)M^2Sb_a}{2J_z} \\ c_y(\alpha, \delta_{\text{в}}, M)\dfrac{\rho(H)V_a^2(H)M^2S}{2mg(H)} \\ -T_{\text{в}}^{-1}\cdot\delta_{\text{в}} \end{bmatrix}, g(x) = \left[0 \quad 0 \quad 0 \quad T_{\text{в}}^{-1}\right]^{\text{T}},$$

где α – угол атаки [рад]; ω_z – угловая скорость тангажа [рад/с]; $n_y(t)$ – вертикальная перегрузка [g]; $c_y(\alpha, \delta_{\text{в}}, M)$, $m_z(\alpha, \delta_{\text{в}}, M)$ – аэродинамические коэффициенты подъемной силы и момента тангажа; J_z – момент инерции относительно оси Oz1 связанной системы координат [кг×м2]; $g(H)$ – ускорение свободного падения [м/с^2]; H – высота [м]; V – модуль воздушной скорости [м/с]; m – масса БПЛА [кг]; $\delta_{\text{в}}(t)$ – угол отклонения руля высоты, [рад]; $\delta_{\text{в}}^{\text{зад}}(t)$ – сигнал, подаваемый на рулевой привод, [рад]; $T_{\text{в}}$ – постоянная времени привода в вертикальном канале, [с].

Дополнительно, в моделе системы управления используются линейные противоизгибные фильтры 3 и 5 порядков. Так же в модели исполнительного устройства на цифровом комплексе моделирования реализованы следующие ограничения:

$$\left|\dot{\delta}_{\text{в}}\right| \le 200 \text{ град/с}, \quad \left|\delta_{\text{в}}\right| \le 15 \text{ град}.$$

Величина задержки управляющего сигнала для обеспечения требуемых робастных свойств выбрана как $\Delta = 10$ млс. Тогда интервал аппроксимации знаковой функции выбран следующим $\delta = 5$.

Проведем синтез матрицы усиления функции переключения закона (6). В качестве алгоритма глобальной оптимизации используется метод роя [8]. Полученные в результате переходные процессы для типовых режимов полета представлены на рис.1. Результаты траекторного моделирования на начальном участке полета представлены на рис. 2 и 3.

Согласно полученным результатам, разработанные алгоритмы квазискользящего управления обеспечивают высокое качество отработки заданной перегрузки. Стартовые возмущения, возникающие на начальном участке полета, достаточно быстро компенсируются углом отклонения руля высоты. При этом скорость отработки исполнительного устройства близка к заданным ограничениям (характерные линейные наклоны в заданном и фактическом значениях угла отклонения руля высоты).

Таким образом, разработанная методика позволяет получать качественные результаты при синтезе алгоритмов стабилизации БПЛА.

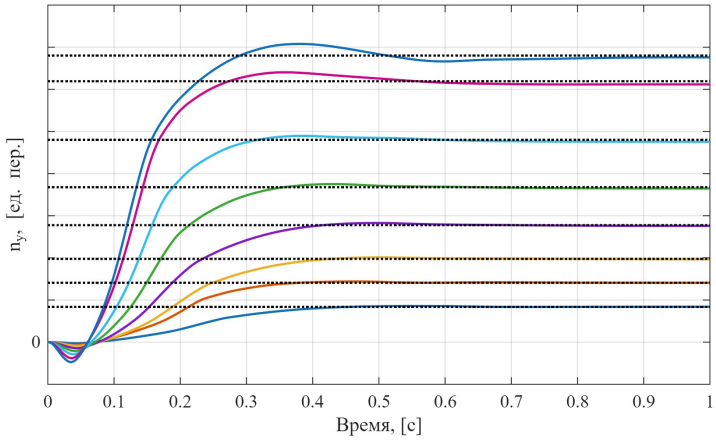


Рис. 1. Переходные процессы на типовых режимах полета

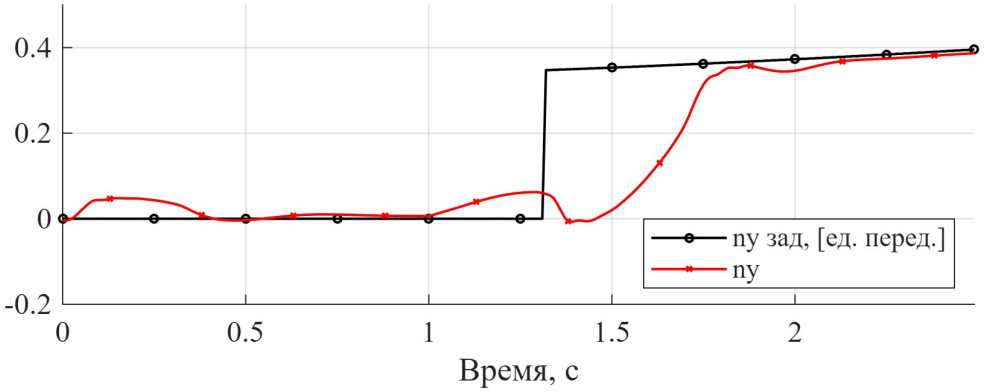


Рис. 2. Отработка вертикальной перегрузки на начальном этапе полета

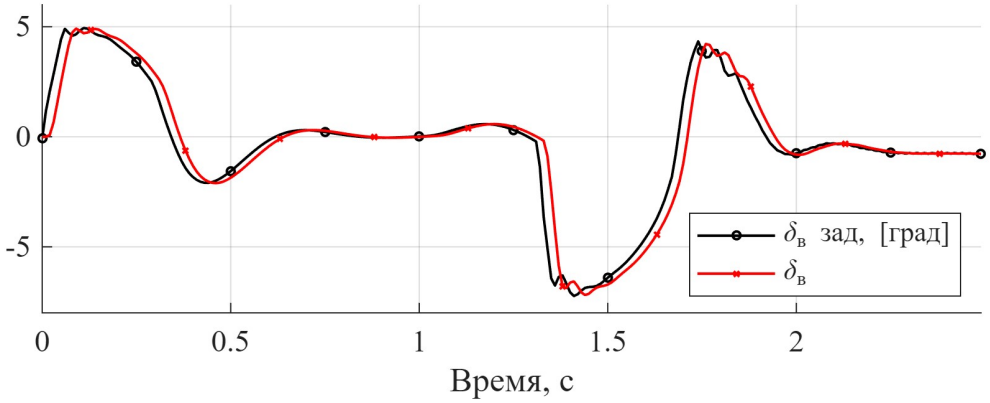


Рис. 3. Угол отклонения руля высоты на начальном этапе полета

Библиографический список

1. C. Edwards and S. Spurgeon, Sliding mode control: theory and applications. Taylor & Francis, 1998.
2. Mousavi Y. et al. Sliding mode control of wind energy conversion systems: Trends and applications //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – Т. 167. – С. 112734.
3. Zhu Z., Xia Y., Fu M. Adaptive sliding mode control for attitude stabilization with actuator saturation //IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2011. – Т. 58. – №. 10. – С. 4898-4907.
4. Nonlinear sliding mode control of an unmanned agricultural tractor in the presence of sliding and control saturation / A. S. Matveev, M. Hoy, A. V. Savkin, J. Katupitiya // Robotics and Autonomous Systems. – 2013. – Vol. 61, No. 9. – P. 973-987.
5. ***Шабашов, А. А.*** Методика поиска коэффициентов передачи контуров стабилизации беспилотных летательных аппаратов / А. А. Шабашов, А. А. Плотников // Социально-экономические и технические проблемы оборонно-промышленного комплекса России: история, реальность, инновации : Сборник статей по материалам VIII Всероссийской научно-практической конференции, Арзамас, 12–13 апреля 2022 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2022. – С. 253-258.
6. Roh Y. H., Oh J. H. Robust stabilization of uncertain input-delay systems by sliding mode control with delay compensation //Automatica. – 1999. – Т. 35. – №. 11. – С. 1861-1865.
7. Huang Y. A., Benesty J. (ed.). Audio signal processing for next-generation multimedia communication systems. – Springer Science & Business Media, 2007.
8. **Саймон, Д.** Алгоритмы эволюционной оптимизации. - М.: ДМК Пресс. – 2020. – 940 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ АНАЛИЗА НАНОСТРУКТУР

Я.Ю. Кульков[1], В.А. Емельянов[2]
[1]Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
[2]Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В статье представлены результаты усовершенствования двух нейросетевых моделей для задач распознавания наночастиц на изображениях, полученных с помощью электронного микроскопа высокого разрешения.

Ключевые слова: нейронные сети, архитектура нейросети, наноструктуры, карбиновые цепочки, сегментация изображений

Исследование наноструктур различных материалов играет важную роль в современных исследованиях физико-химических структур материалов. Изображения наноструктур материалов могут быть получены с помощью электронного микроскопа. Такие изображения имеют высокое разрешение. Для анализа наноструктур полученных изображений требуется большое количество времени.

Автоматизация процесса распознавания и классификация наноструктур материалов является актуальной задачей. Для этого возможно использовать глубокие нейронные сети. Они способны выделять отдельные связанные области изображения определенных наноструктур. В данной работе используются нейросетевые модели, разработанные на основе архитектуры YOLO.

В работе рассматриваются две задачи: распознание отдельных частиц углеродных наноструктур и сегментация углеродных цепочек.

Ранее были разработаны нейросетевые модели с архитектурой YOLO для исследования углеродных наноструктур [1]. Целью текущей работы является изменение архитектуры нейросетевых моделей, а именно использование версии YOLO11.

Архитектура нейронных сетей версии YOLO11 характеризуется повышенной скоростью обработки данных, улучшенным качеством обучения и достижением большей точности распознавания при использовании меньшего количества параметров [2].

Задача распознания отдельных частиц углеродных структур является актуальной. Решение задачи определяется нейронной моделью YOLOv4. Качество нейросетевых моделей, построенных на архитектуре YOLOv4, было приемлемым [1]. При применении архитектуры YOLO11n время обучения нейронной сети удалось существенно минимизировать до 27 минут по сравнению с 18 часов архитектуры YOLOv4. При этом структура датсета не изменилась. Выполненное обновление нейросетевой модели показало эффективность архитектуры YOLO11.

Результаты работы нейронной сети для обработки одного и того изображения с помощью архитектуры YOLOv4 и архитектуры YOLO11n представлены на рис. 1 и 2.

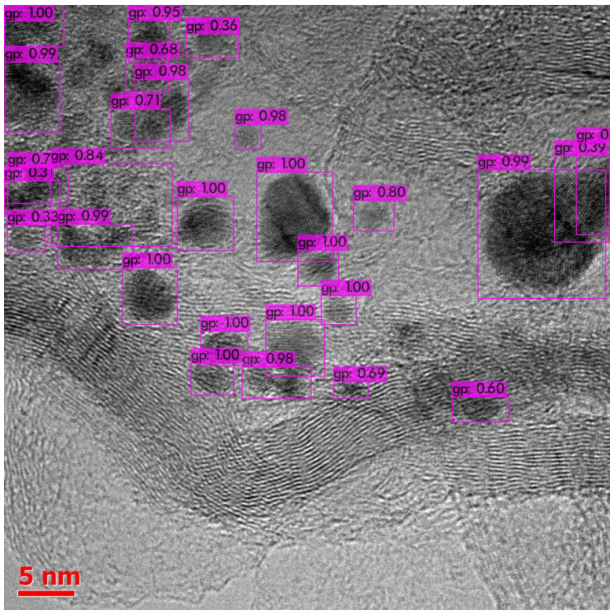


Рис. 1. Распознание частиц нейронной сетью с архитектурой YOLOv4

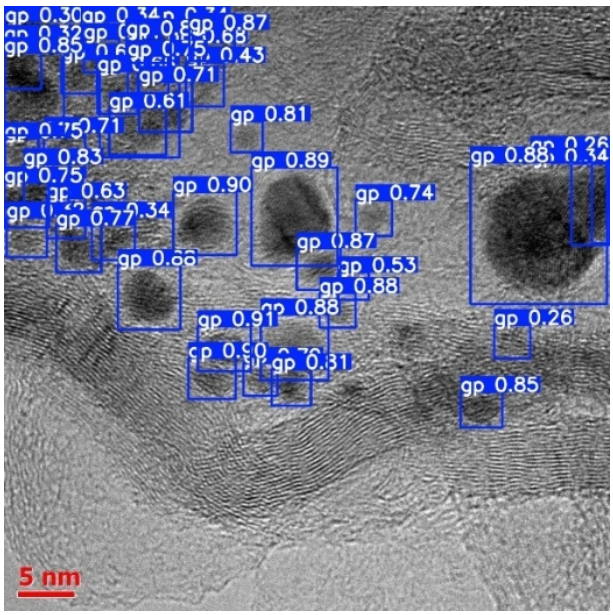


Рис.2. Распознание частиц нейронной сетью с архитектурой YOLO11n

Анализ результатов работы нейросети для распознавания наночастиц показывает, что распознавание наноструктур улучшается. Распознано большее количество наночастиц.

Изменение архитектуры нейронной сети также было применено для сегментации углеродных цепочек. Примеры сегментация объектов различных архитектур представлены на рис. 3 и 4.

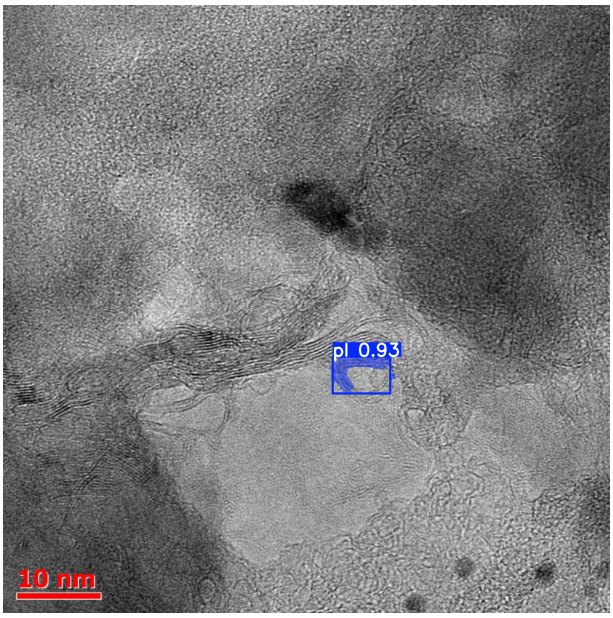


Рис.3. Сегментации углеродных цепочек при помощи YOLOv8n-seg

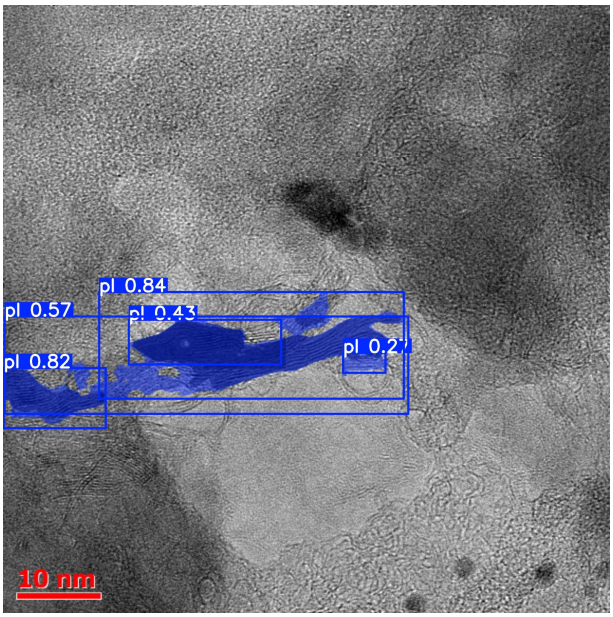


Рис.4. Сегментации углеродных цепочек при помощи YOLO11m-seg

На рис. 4 обнаружено большее количество объектов по сравнению с рис. 3. Таким образом, анализ работы нейронных сетей различных архитектур YOLOv8n-seg и YOLO11m-seg показывается улучшение распознавания углеродных цепочек.

Для обеих нейронных сетей были модифицированы архитектуры на более производительные архитектуры.

Нейронная сеть, выполняющая детекцию отдельных частиц, была переведена с архитектуры YOLOv4 на архитектуру YOLO11n. Точность модели оста-

лась на высоком уровне. При этом было повышено качество предсказаний без увеличения вычислительных затрат.

Нейронная сеть, выполняющая сегментацию углеродных цепочек, была переведена с архитектуры YOLOv8n-seg на более производительную архитектуру YOLO11m-seg. Было увеличено качество распознавания углеродных структур в материалах.

Таким образом, обновление архитектуры нейронных сетей, предназначенных для распознавания углеродных структур на изображениях, полученных при помощи электронного микроскопа, позволило улучшить работоспособность ранее разработанных методов.

Библиографический список

1. **Zhiznyakov A. L.,** Kulkov Y. Y., Emelyanov V. A. Recognition Algorithm of Carbon Chains in Nanoparticle Assemblies from Electron Microscopy Images // 2025 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). – Russian Federation, Sochi, 2025. – pp. 849-854, doi: 10.1109/SmartIndustryCon65166.2025.10986003.
2. Ultralytics YOLO11 - Ultralytics YOLO Docs: сайт. – URL: https://docs.ultralytics.com/models/yolo11/ (дата обращения: 05.03.2026). – Текст: электронный.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СБОРА СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Е.Д. Носадкин, Ю.А. Гуськова
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

Статья посвящена исследованию и применению методов интеллектуального анализа данных (DataMining) и машинного обучения для повышения уровня безопасности сетевого трафика. Рассматриваются современные подходы к обнаружению аномалий, классификации угроз и прогнозированию кибератак. Проведен анализ сильных и слабых сторон как сигнатурных, так и эвристических методов, выявлены методологические трудности их сравнения. Особое внимание уделено проблемам анализа зашифрованного трафика, высокой частоте ложных срабатываний и необходимости адаптации моделей к изменяющимся условиям сети (дрейф концепций). Сформулированы ключевые требования к разработке адаптивной гибридной системы защиты, сочетающей методы агрегации потоков и глубокого анализа для эффективного выявления подозрительной активности в реальном времени.

Ключевые слова: информационная безопасность, система обнаружения вторжений, машинное обучение, сетевой трафик, киберугрозы, гибридные системы, анализ зашифрованного трафика.

Вопрос обеспечения безопасности устройств, подключенных к глобальной сети интернет, является одним из наиболее острых и актуальных в настоящее время. Ландшафт угроз стремительно эволюционирует: если ранее атаки были преимущественно массовыми и шаблонными, то сегодня киберпреступники все чаще используют точечные методы и инструменты на основе искусственного интеллекта. С начала 2024 года компания OpenAI предотвратила более 20 киберпреступлений, в которых злоумышленники использовали ее сервисы для разработки вредоносного ПО и автоматизации фишинговых кампаний [1]. В IBM отмечают, что генеративный ИИ позволил хакерам проводить более масштабные и персонализированные атаки, снижая порог входа для подобных преступлений [2].

Для защиты сетевой инфраструктуры применяется целый комплекс средств: межсетевые экраны нового поколения (Next-GenerationFirewall, NGFW), системы предотвращения вторжений (IntrusionPreventionSystem, IPS), песочницы (sandboxing). Эффективность этих средств напрямую зависит от методов анализа сетевого трафика, которые лежат в их основе. Анализ сетевого трафика представляет собой процесс перехвата, записи и исследования сетевых данных с целью диагностики состояния сети, мониторинга производительности и выявления угроз безопасности.

Традиционные системы обнаружения вторжений (Intrusion Detection System, IDS) исторически опирались на сигнатурный анализ. Они обладают высокой точностью, но совершенно беззащитны против неизвестных атак и про-

двинутых целенаправленных вторжений (advanced persistent threat, APT), при этом требуют постоянного обновления [3].

Новые методы предлагают дополнить уже работающие сигнатурные методы с помощью искусственного интеллекта, который будет концентрироваться на отклонения от модели нормального поведения сети. Прибегая к подобному объединению методов, можно сохраняя точность сигнатурных методов. Но использование подобных методов сопряжено с объемными вычислениями, с интерпретацией решений, принятых искусственным интеллектом «проблема черного ящика», очень серьезные проблемы будет вызывать анализ зашифрованного трафика [4, 5].

Целью данной работы является сравнительный анализ существующих методов анализа сетевого трафика, выявление их сильных и слабых сторон с учетом современных реалий (шифрование, эволюция атак) и обоснование архитектуры гибридной системы мониторинга, способной эффективно сочетать достоинства различных подходов.

Для корректного сравнения инструментов анализа сетевого трафика необходимо разделить понятия «источник данных» и «метод обнаружения». Источники данных определяют, что именно анализируется, а методы – как и с какой целью это делается. В табл. 1 и 2 представлена классификация и сравнительный анализ, построенные с учетом этого разделения.

Таблица 1

Сравнение методов сбора сетевого трафика

Метод	**Описание работы**	**Сильные и слабые стороны**
Анализ пакетов	Захват и исследование отдельных сетевых пакетов. Предоставляет максимально полную и детальную картину сетевого взаимодействия.	Достоинства: высокая детализация, возможность восстановления полной картины событий, применимость для расследований инцидентов. Недостатки: огромные объемы данных, требующие значительных ресурсов для хранения и обработки. Невозможность долговременного хранения в масштабах крупной сети. Проблемы с конфиденциальностью пользовательских данных.
Анализ потоков	Агрегация пакетов в потоки на основе общих признаков (IP-адреса, порты, протоколы). Анализируются метаданные соединения, а не содержимое.	Достоинства: масштабируемость, экономия ресурсов, пригодность для обнаружения аномалий на уровне сети Недостатки: низкая детализация. Невозможно определить содержимое передачи. Причина аномалии часто определяется лишь на уровне типа события, без понимания контекста.

Таблица 2

Сравнение методов анализа сетевого трафика

Метод	**Описание работы**	**Сильные и слабые стороны**
Сигнатурный анализ	Сравнение сете вой активности с базой известных "отпечатков" (сигнатур) атак. Применяется к пакетам и потокам.	Достоинства: высокая точность для известных угроз. Быстрота детектирования. Простота реализации и обновления. Недостатки: невозможность обнаружения новых, неизвестных атак. Неэффективность против полиморфных угроз. Необходимость постоянного обновления сигнатурной базы.
Поведенческий анализ / Обнаружение аномалий	Построение модели "нормального" поведения сети или узла. Отклонение от этой модели считается подозрительным. Основан на статистике и машинном обучении.	Достоинства: потенциальная возможность обнаружения неизвестных атак. Адаптивность к изменениям в сети. Недостатки: высокий уровень ложных срабатываний, особенно на начальных этапах обучения. Сложность настройки и интерпретации результатов. Уязвимость к атакам, маскирующимся под легитимный трафик. Требует переобучения при изменении профиля сети [6].
Глубокая инспекция пакетов	Анализ заголовкови содержимого (полезной нагрузки) пакета на прикладном уровне (L7 модели OSI). Сочетает сигнатурные и поведенческие методы.	Достоинства: высокая точность идентификации приложений и угроз, проходящих поверх стандартных протоколов (HTTP, FTP и др.). Недостатки: не работает с зашифрованным трафиком (TLS /SSL). Высокие вычислительные затраты. Проблемы с конфиденциальностью и юридическими ограничениями.

Анализ табл. 1 и 2 показывает, что выбор единого метода всегда сопряжен с компромиссом между полнотой картины и вычислительной эффективностью, между способностью обнаруживать новое и точностью детектирования известного. Например, потоковый анализ эффективен для первичной фильтрации и обнаружения масштабных аномалий, но не дает ответа на вопрос «Что именно произошло?». Глубокая инспекция пакетов, напротив, отвечает на этот вопрос, но оказывается слепым в условиях тотального шифрования трафика. Поведенческие методы на базе машинного обучения открывают новые возможности, но страдают от нестабильности и требуют высокой квалификации персонала для настройки и сопровождения [5].

Учитывая перечисленные ограничения, становится очевидным, что ни один из методов в отдельности не может обеспечить приемлемый уровень защиты в современных условиях. Наиболее перспективным путем представляется создание комплексных гибридных систем, интегрирующих различные источники данных и методы анализа [7, 8].

Предлагаемая концепция системы мониторинга базируется на многоуровневом подходе. Предварительная фильтрация: выполняется постоянный анализ трафика с минимальными задержками. Данные сверяются с актуальным репутационным списком и выявляются явные аномалии.

1. Глубокий анализ: подозрительный трафик, с первого уровня, направляется в изолированную среду или модуль поведенческого анализа. Здесь ресурсоемкие методы применяются для подтверждения уровня опасности активности.

2. Криминалистическое исследование и обратная связь: система собирает полную историю сессии для последующего анализа экспертом. Ключевым моментом будет использование метода объяснимого ИИ, помогающий понять, как модель машинного обучения пришла к такому решению, для корректировки и доработки модели [9].

Такой гибридный подход компенсирует недостатки каждого решения по отдельности. За счет потокового анализа система сохраняет масштабируемость, в глубине детектирования помогает точечное применение глубокой инспекции пакетов и поведенческий анализ. Сохраняется при этом приемлемый уровень ложных срабатываний за счет перепроверки подозрений.

Гибридный метод интеллектуального анализа данных, является не просто перспективным направлением, а необходимостью для противостояния атак злоумышленников. Такие архитектуры повысят уровень защищенности инфраструктуры, и оптимизируют работу специалистов по информационной безопасности, автоматизировав рутинные процессы и предоставляя им проверенные и насыщенные контекстом уведомления.

Библиографический список

1. Хакеры используют ChatGPT для кибератак. Редакция 13:00 / 14 октября 2024 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://itspeaker.ru/news/khakery-ispolzuyut-chatgpt-dlya-kiberatak/– (дата обращения: 13.02.2026).
2. X-Force Threat Intelligence Index 2024 reveals stolen credentials as top risk, with AI attacks on the horizon. Чарлз Хендерсон [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.ibm.com/think/x-force/2024-x-force-threat-intelligence-index – (дата обращения: 13.02.2026).
3. Сравнение системы обнаружения вторжений на основе машинного обучения с сигнатурными средствами защиты информации / А. И. Гетьман, М. Н. Горюнов, А. Г. Мацкевич, Д. А. Рыболовлев // Труды Института системного программирования РАН. – 2022. – Т. 34, № 5. – С. 111-126.
4. HTTPS encryption on the web. Google Transparency Report. (Датаобращения: 14.03.2026).
5. Sommer, R., & Paxson, V. (2010). Outside the closed world: On using machine learning for network intrusion detection. *In 2010 IEEE symposiumonsecurityandprivacy,* pp. 305-316.
6. Jordaney, R., et al. (2017). Transcend: Detecting concept drift in malware classification models. *In 26th USENIX SecuritySymposium,* pp. 625-642.
7. Khraisat, A., Gondal, I., Vamplew, P., &Kamruzzaman, J. (2019). Survey of intrusion detection systems: techniques, datasets and challenges // *Cybersecurity*, 2(1), 1-22.
8. M. F. Umer, M. Sher, and Y. Bi, A two-stage flow-based intrusion detection model for next-generation network security // *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 119, 2022.
9. Arrieta, A. B., et al. (2020). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI // *Informationfusion*, 58, 82-115.

ПРИМЕНЕНИЕ ATTENTION-МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РОБАСТНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ГОЛОСОВЫХ КОМАНД В УСЛОВИЯХ БЫТОВОГО ШУМА

А.А. Сергеев, Ю.А. Гуськова
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье исследуется проблема распознавания голосовых команд в системах умного дома в условиях воздействия бытовых шумов. Предложен метод повышения помехоустойчивости акустической модели путем интеграции модуля внимания(attention) в архитектуру сверточной нейронной сети. Проведены экспериментальные исследования на зашумленных речевых данных. Показано, что использование attention-механизма позволяет снизить ошибку распознавания речи на 15–20% по сравнению с базовой моделью. Визуализация карт внимания подтверждает способность модели выделять речевые сегменты на фоне помех. Выполнен анализ влияния различных шумов и уровня SNR на качество распознавания.

Ключевые слова: голосовой ассистент, умный дом, шумоустойчивость, attention-механизм, сверточные нейронные сети, распознавание речи.

Система голосового управления становится неотъемлемой частью современных умных домов. Ежегодно растет количество устройств, поддерживающих речевые интерфейсы: от ламп и розеток до сложных климатических систем и мультимедийных центров. Однако практическое использование таких систем осложняется наличием разнообразных акустических помех: работающего телевизора, шума воды, звуков бытовой техники (пылесосов, стиральных машин), разговоров членов семьи или гостей [1]. В реальных условиях эксплуатации уровень шума может варьироваться в широких пределах, а его спектрально-временные характеристики постоянно меняются.

Традиционные методы шумоподавления, основанные на спектральном вычитании, адаптивной фильтрации или использовании статистических моделей шума, часто негативно влияют и на полезный сигнал и плохо работают с нестационарными помехами, часто появляющимися в домашней обстановке [2]. Кроме того, такие методы обычно требуют точную информацию о характере шума либо работают в предположении его стационарности, что не работает на практике.

В последние годы в задачах обработки аудиосигналов активно применяются нейросетевые подходы, включая архитектуры с механизмом внимания [3]. Внимание (attention) позволяет модели динамически выделять наиболее информативные участки входного сигнала, что особенно важно при работе с зашумленными данными, где речевая активность занимает лишь часть временного интервала, а остальное время присутствует только шум. Тем не менее, применение attention-механизмов для повышения шумоустойчивости голосовых команд в контексте умного дома изучено недостаточно, и существующие работы

чаще ориентированы на задачи распознавания слитной речи в лабораторных условиях.

Цель данной работы – разработка и исследование сверточной нейронной сети с интегрированным модулем внимания(attention) для распознавания ограниченного набора голосовых команд в условиях бытового шума, а также экспериментальная оценка ее эффективности в сравнении с базовой моделью без внимания.

Проблема повышения помехоустойчивости речевых интерфейсов активно исследуется как в России, так и за рубежом. В работе [4] рассмотрены современные методы глубокого обучения для обработки сигналов, включая сверточные и рекуррентные архитектуры. Показано, что сверточные сети эффективно выделяют локальные частотно-временные паттерны в спектрограммах, что делает их пригодными для классификации звуковых событий. Авторы [5] предложили подход к подавлению акустических помех на основе нейросетевых фильтров, однако он требует значительных вычислительных ресурсов и плохо масштабируется для встраиваемых систем.

Механизмы внимания в задачах распознавания речи впервые были применены в работах по нейронному машинному переводу, а затем адаптированы для аудиоданных [6]. В учебном пособии [7] подробно описаны построения attention-модулей и их интеграция в нейросетевые модели различных типов. Применительно к классификации звуковых событий attention исследовался в [8], где показана его эффективность для выделения значимых фрагментов спектрограммы при наличии фонового шума. Однако в указанной работе использовались относительно простые шумы, и не проводилось систематического исследования влияния уровня SNR (signal-to-noise ratio).

Данная работа позволяет устранить эти недостатки, предлагая архитектуру, специально предназначенную для задач по распознаванию голосовых команд в реалистичных акустических условиях, характерных для умного дома.

Разработанная модель представляет собой сверточную нейронную сеть, адаптированную для работы с мел-спектрограммами. Выбор мел-спектрограмм в качестве входных данных для нейросети обусловлен их компактностью и соответствием психоакустическим особенностям слуха. Входной сигнал длительностью 1 секунда дискретизируется с частотой 16 кГц, после чего преобразуется в спектрограмму размером 64 на 64 (64 мел-частотных полосы и 64 временных отчета). Окно анализа – 25 мс, шаг – 10 мс.

Архитектура включает три сверточных блока, каждый из которых содержит:

- сверточный слой 32, 64 и 128 фильтрами соответственно (размер ядра 3 на 3);
- пакетную ReLU;
- операцию подвыборки (max pooling) с окном 2 на 2.

После сверточных слоев добавлен модуль пространственно-частотного внимания. Модуль работает следующим образом. Выходные карты признаков

последнего сверточного слоя имеют размерность H×W×C, где H – число временных фреймов (после подвыборки), W – число частотных полос, C – число каналов. Для вычисления временных весов выполняется глобальное усреднение по частотной оси и каналам, в результате получается вектор длины H. Этот вектор пропускается через два полносвязных слоя: первый сжимает размерность в 4 раза (с активацией ReLU), второй восстанавливает исходную размерность с активацией sigmoid. Полученные веса поэлементно умножаются на каждый частотный срез исходной карты признаков (операция взвешивания по времени). Аналогичная процедура выполняется для получения частотных весов: усреднения по временной оси и каналам, полносвязные слои, умножение на каждый временной срез. Комбинированное применение временного и частотного внимания позволяет модели акцентировать значимые интервалы и полосы, одновременно подавляя шумовые компоненты.

После модуля внимания признаки усредняются по пространственным осям (global average pooling) и подаются в полносвязный слой с функцией softmax, который выдает вероятность для 12 классов голосовых команд (например, «включи свет», «выключи музыку», «увеличь температуру» и др.). Общее число обучаемых параметров модели составляет около 450 тысяч, что позволяет использовать ее на устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами после оптимизации.

Для обучения и тестирования использовался открытый датасет Google Speech Commands v2, из которого были отобраны 12 команд, типичных для умного дома. Чистые записи были искусственно зашумлены путем наложения бытовых шумов из базы ESC-50 (телевизор, пылесос, льющаяся вода) при различных отношениях сигнал/шум (SNR): 20, 10, 5 и 0 дБ.

Базовая модель-сверточная сеть без attention-модуля, но с тем же числом параметров. Обучение проводилось с оптимизатором Adam, функцией потерь – кросс-энтропия. Оценка производилась по точность (accuracy) и словесной ошибке (WER) на тестовой выборке. Результат экспериментов представлен в табл. 1. Модель с attention превосходит базовую при всех уровнях шума, максимальный выигрыш (снижения WER на 20,7%) достигается при SNR = 5 дБ. На чистом сигнале разница незначительна.

Таблица 1

Таблица сравнения точности распознавания

SNR, дБ	**Базовая модель, %**	**Предложенная модель, %**	**Снижение WER, %**
Чистый	96,2	96,8	5,2
20	89,4	92,1	12,1
10	78,6	84,3	18,4
5	65,2	73,5	20,7
0	51,8	61,2	19,6

Дополнительно была проведена визуализация карт внимания для одного из тестовых образцов (команда «включи свет» на фоне шума телевизора при SNR = 10 дБ). Анализ показал, что высокие веса присваиваются временным интервалам, соответствующим речевой активности (примерно 0,2-0,7 с), в то время как участки чистого шума в начале и конце записи игнорируются. Это подтверждает способность селективно подавлять помехи и фокусироваться на полезном сигнале. Кроме того, частотные веса оказались выше в диапазоне 200–2000 Гц, где сосредоточена основная энергия речевого сигнала, и ниже на низких и высоких частотах, где доминировал шум.

Полученные результаты демонстрируют эффективность предложенного подхода. Важно отметить, что выигрыш от использования внимания возрастает с ухудшением акустических условий, что делает модель особенно ценной для реальных применений, где уровень шума непредсказуем. Визуализация карт внимания не только подтверждает работоспособность механизма, но и может быть использована для интерпретации поведения модели и выявления потенциальных проблем (например, если модель ошибочно фокусируется на шумовых выбросах). Ограничением работы является использование искусственно зашумленных данных. Хотя база ESC-50 включает реалистичные записи, в реальной обстановке шумы могут быть более сложными и меняться во времени. В дальнейшем планируется тестирование модели на реальных записях, сделанных в жилых помещениях. Также требует изучения вопрос адаптации модели к конкретным акустическим условиям (fine-tuning на небольшом количестве данных с целевого устройства).

В работе предложена нейросетевая архитектура для распознавания голосовых команд в условиях бытового шума. Экспериментально показано, что добавление модуля пространственно-частотного внимания позволяет снизить ошибку распознавания на 15-20% в широком диапазоне SNR (от 0 до 20 дБ) по сравнению со сверточной сетью без внимания. Визуализация карт внимания подтверждает, что модель фокусируется на речевых сегментах и подавляет шумовые участки. Дальнейшие исследования могут быть направлены на адаптацию модели для встраиваемых систем с ограниченными вычислительными ресурсами (путем квантования, прореживания, использования depthwise-сверток), а также на комбинирование attetion с методами спектральной обработки и многоканальными микрофонными системами для пространственной фильтрации шума.

Библиографический список

1. **Сергиенко, А.Б.** Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2018. – 768 с.
2. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: Техносфера, 2012. – 1048 с.
3. **Хайкин С.** Нейронные сети: полный курс. – М.: Вильямс, 2019. – 1104 с.
4. **Осовский С.** Нейронные сети для обработки информации. – М.: Финансы и статистика, 2016. – 344 с.

5. **Гончаров, В. А.** Глубокое обучение в задачах анализа аудиосигналов / В. А. Гончаров, В. В. Колодяжный // Цифровая обработка сигналов. – 2022. – № 3. – С. 12–18.

6. **Васильев, А. Н.** Механизмы внимания в нейросетевых архитектурах / А. Н. Васильев, Д. А. Тархов // Информационные технологии. – 2023. – Т. 29, № 5. – С. 227-234.
7. **Галушкин, А. И.** Нейрокомпьютеры и их применение / А. И. Галушкин. – М. : Горячая линия – Телеком, 2020. – 480 с.
8. **Куприянов, М. С.** Распознавание речевых команд в условиях акустических помех / М. С. Куприянов, Ю. Н. Матвеев // Известия вузов. Приборостроение. – 2024. – Т. 67, № 2. – С. 98-105.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ С ИТЕРАТИВНЫМ ОБУЧЕНИЕМ В ЗАДАЧАХ ТРАЕКТОРНОГО СЛЕДОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Сорокин Д. А., Столяров Н. А.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Одной из ключевых задач, стоящих перед современными исследователями в области робототехники и теории управления, считается достижение высокой точности следования мобильных роботов заранее заданным маршрутам. Решение этой задачи осложняется множеством факторов: неопределенностью параметров динамических моделей, воздействием внешних возмущающих факторов, а также ограничениями, накладываемыми используемыми сенсорными устройствами. Особая роль отводится методам управления с итеративным обучением (УИО), которые существенно минимизируют повторяющиеся погрешности перемещения при многократном следовании идентичным траекториям. Внедрение итеративного обучения способствует увеличению точности позиционирования робота, при этом архитектура управляющей системы не претерпевает значительных изменений или усложнений. Отмечается, что эффективность данных методов зависит от повторяемости движения и стабильности внешних условий.

Ключевые слова: мобильные роботы, следование по траектории, управление с итеративным обучением, адаптивное управление, автономная навигация, алгоритмы управления.

Научное внимание к созданию самоуправляемых мобильных робототехнических комплексов и интеллектуальных транспортных платформ в последние годы усилилось, что обусловило значительный прогресс в инженерных и управленческих концепциях. В отличие от традиционного управления, где отслеживается заранее заданная траектория вне зависимости от временного аспекта, стратегия следования по маршруту детально изучена в ряде исследований, демонстрирующих значимые практические успехи [1,2].

Управление с итеративным обучением (УИО) выделяется своим особым положением в промышленной автоматизации благодаря тому, что многие технические задачи по своей природе носят циклический и повторяемый характер. Данная методология управления получила широкое признание и предъявляет высокий спектр реализованных промышленных решений. Работа [3] предоставляет актуализированный анализ принципов построения и сфер внедрения УИО; в качестве характерных примеров отмечены задачи управления движением цепных конвейерных линий и манипуляторов роботов. Более глубокое рассмотрение фундаментальных свойств УИО, ценная теоретическая база рассмотрена в книге [4]. Существенный вклад в теорию и практику, расширяя спектр применения УИО, введен в исследованиях [5,6], где особое внимание уделяется медицинским направлениям.

Отдельного рассмотрения заслуживает интеграция методов УИО в управление движением автоматизированных наземных роботизированных платформ [7]. В обозначенной области принято апробировать внедренные алгоритмы посредством компьютерного моделирования, а эмпирическая база на основе экс-

периментов с реальными автономными транспортными средствами в близких к действительности условиях пока ограничена.

Динамика современной науки характеризуется интенсивным ростом числа исследований, посвященных созданию и анализу адаптивных, робастных и эффективных алгоритмов УИО, что определяет как теоретические, так и прикладные перспективы развития данного направления. Научное обозрение эволюции современных методов и ключевых вызовов, стоящих перед областью УИО, содержится в публикации [8].

Практическая значимость рассматриваемой сферы обусловлена разнообразием задач, центральное место среди которых занимает необходимость прецизионного сопровождения автономных мобильных платформ. Подобные вызовы активно проявляются во внедрении автоматизированных транспортных процессов на производственных предприятиях, внедрении роботизированных систем в инфраструктуру складских комплексов, а также при расширении функциональности автономного транспорта в логистических сетях. Во всех вышеуказанных сферах на первый план выходит проблема траекторного следования: при ее решении критически важно, чтобы траектория движения технической системы с минимальными отклонениями воспроизводила предписанный маршрут, обеспечивая тем самым высокую согласованность между планированием и фактической реализацией движения.

Вопреки заметному прогрессу, достигнутому в сфере создания алгоритмов управления, обеспечение высокой точности траекторного слежения мобильных роботов на практике сопряжено со значительными проблемами. Существенным источником ошибок при управлении чаще всего становится неадекватность выбранных математических описаний движения, поскольку в ряде случаев используются лишь приближенные кинематические представления [9]. Для мобильных роботов автомобильного типа движение может быть описано системой уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v\cos\psi \\ \dot{y} &= v\sin\psi \\ \dot{\psi} &= \frac{v}{L}\tan\delta \end{aligned},$$

где: x, y – координаты робота, ψ – угол ориентации, v – скорость движения, δ – угол поворота колес, L – база автомобиля.

Дополнительные сложности создают внешние возмущения, такие как изменение характеристик дорожного покрытия, наличие неровностей поверхности, влияние ветровых нагрузок, а также ошибки измерений сенсорных систем. В совокупности данные факторы приводят к появлению систематических отклонений фактической траектории движения от заданной.

В традиционной парадигме управления движением мобильных роботов обратная связь занимает ведущую позицию. В области классических теорий управления нередко используются разные схемы регуляции, среди которых доминируют пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы, а также методы, основанные на линейно-квадратичном подходе и разнообразные

алгоритмы стабилизации [10]. Указанные подходы способствуют поддержанию устойчивого функционирования системы и обеспечивают частичную компенсацию случайных внешних возмущений, однако их возможности по компенсации повторяющихся ошибок управления ограничены.

Для преодоления данных препятствий в теории управления были созданы методы управления с итеративным обучением (УИО) [11]. Основная идея данных методов заключается в использовании информации об ошибках управления, возникающих при предыдущих выполнениях движения, для корректировки управляющего воздействия на последующих итерациях.

Пусть система выполняет одну и ту же задачу несколько раз. Тогда ошибка на k-й итерации может быть записана как

$$e_k(t) = r(t) - y_k(t),$$

где: $r(t)$ – заданная траектория, $y_k(t)$ – фактическая траектория на k-й итерации.

Классический закон обновления управляющего воздействия имеет вид

$$u_{k+1}(t) = u_k(t) + Le_k(t)$$

где L – оператор обучения.

При выполнении условий сходимости величина ошибки постепенно уменьшается с ростом числа итераций [3].

Изначально концепция применения итеративного обучения для управления рассматривалась в контексте автоматизации промышленных роботов, функционирующих в условиях повторяющихся технологических процедур. Основополагающие идеи метода УИО были заявлены в исследованиях [11], где сформулированы фундаментальные принципы соответствующей методологии управления. Дальнейшее развитие техника итеративного обучения приобрела в последующих исследованиях, в том числе в публикации [12] и работах иных авторов.

В задачах управления движением мобильных роботов особое значение имеет выбор параметризации движения. В большинстве классических алгоритмов итеративного обучения управление рассматривается как функция времени. В задачах, связанных со следованием по определенной траектории, значительно органичнее применять пространственно-параметрическое описание движения, при котором функция управления определяется через соответствующую траектории координату:

$$u_{k+1}(s) = u_k(s) + L(s)e_k(s),$$

где s – координата вдоль траектории.

Прямая интеграция процедур машинного обучения с геометрическими характеристиками движения маршрута способствует точной идентификации управляющих ошибок непосредственно вдоль траектории. В рамках развития методов пространственного управления с итеративным обучающим эффектом был выделен метод, предложенный в публикации [13], где пространственный алгоритм УИО функционирует совместно с основным стабилизирующим регулятором обратной связи. Последний гарантирует надежность и устойчивость

движения объекта по намеченной траектории, а также нивелирует воздействия случайных помех, в то время как итеративный корректор УИО осуществляет уточнение управляющих сигналов, опираясь на анализ накопленных ошибок из прошлых прохождений того же самого маршрута. Согласно экспериментальным данным, представленный метод обеспечивает заметное сокращение отклонения следования от заданного пути уже после нескольких итераций прохождения [13].

Однако спектр использования данной технологии в опубликованных трудах остается достаточно узким, ограничиваясь, прежде всего, специализированными автономными транспортными средствами. В этой связи значимый исследовательский интерес вызывает расширение применимости данной методики и возможность ее внедрения на более разнообразном классе робототехнических платформ – например, среди мобильных компактных роботов автомобильного профиля, активно эксплуатируемых в сфере прикладных и академических задач. Применение таких платформ предоставляет дополнительные возможности для анализа характеристик итеративных пространственных алгоритмов, включая параметры темпа сходимости, устойчивости обучающей процедуры, а также реакцию системы на внешние дестабилизирующие воздействия.

Актуальный научный интерес представляет трансфер накопленного опыта о движенческих погрешностях между различными маршрутами, поскольку классические УИО-подходы предполагают многократную эксплуатацию идентичных траекторий, в то время как реальные сценарии автономной навигации отличаются варьирующимися маршрутами. В данной связи значительной сложностью становится создание генерализованных методик интерпретации обучающих данных и формализации моделей устойчивых ошибок, адекватных для внедрения при эксплуатации новых маршрутов. Перспективы развития открываются с внедрением инструментов машинного обучения и современных алгоритмических решений автономного перемещения, благодаря которым становится возможным использовать поступающие сведения для синтеза моделей отклонений траектории и разработки предварительных корректирующих стратегий управления. Дополнительный интерес представляют сложные управленческие структуры гибридного типа, способные интегрировать пространственно-итеративные подходы обучения с традиционными механизмами обратной связи, что обеспечивает достижение устойчивого управления в сочетании с высокой эффективностью компенсации повторяющихся динамических ошибок.

В современной теории управления робототехническими системами, опирающейся на принципы итеративного обучения, складывается инновационный пласт исследований, раздвигающий традиционные горизонты автоматизации. Разработка и применение таких подходов позволяют заметно повысить степень соответствия фактически выполняемых движений автономных платформ, в том числе роботизированных транспортных средств, предустановленным маршрутам – несмотря на выраженную неопределенность моделей окружающего мира и сильное влияние внешних факторов. Существенный научный потенциал в этой области заключен в дальнейшей детализации пространственных алгорит-

мов итеративного характера, что способствует расширению диапазона их прикладного применения, а также в создании технологических инструментов переноса накопленных данных между множеством существенно отличающихся траекторий. Наряду с этим, важной задачей остается глубокая интеграция методов УИО с современной парадигмой интеллектуального управления, что открывает новые возможности для построения адаптивных и обучаемых систем управления следующего поколения.

Библиографический список

1. Experimentally Validated Vector Lyapunov Function-Based Iterative Learning Control Design Under Input Saturation / P. Pakshin, S. Mandra, Ju. Emelianova [et al.] // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2023. – No. б/н. – P. 1-13.
2. **Harmouche, M.** Target point based path following controller for a car type vehicle using bounded controls. International Journal of Robust and Nonlinear Control, 2014, 25(15), 2705–2725.
3. **Bristow, D. A.** A survey of iterative learning control. IEEE Control Systems, 2006, 26(3), 96–114.
4. **Rogers E., Chu B., Freeman C.T., Lewin P.L.** Iterative Learning Control Algorithms and Experimental Benchmarking.
5. **Freeman, C. T.** Upper limb electrical stimulation using input output linearization and iterative learning control. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2015, 23(4), 1546–1554.
6. **Freeman, C. T.** Robust ilc design with application to stroke rehabilitation. Automatica, 2017, 81, 270–278.
7. **Wang, H., Dong, J., & Wang, Y.**Discrete PID-type iterative learning control for mobile robot. Journal of Control Science and Engineering, 2016, 7.
8. **Shen D., Cheng X., Gao S., He X., Li Z., Zhang Z.** Advances in iterative learning control: A recent five-year literature review // ISA Transactions. 2026.
9. **Siciliano B., Sciavicco L., Villani L., Oriolo G.** Robotics: Modelling, Planning and Control. – London: Springer, 2009. – 632 p.
10. **Astrom K. J., Murray R. M.** Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. – Princeton: Princeton University Press, 2008. – 408 p.
11. **Arimoto S.** Learning control theory for robotic motion // International Journal of Adaptive Control and Signal Processing. – 1990. – Vol. 4. – P. 543–564.
12. **Moore K. L.** Iterative Learning Control for Deterministic Systems. – London: Springer, 1993. – 242 p.
13. **Dekker L. G., Marshall J. A., Larsson J.** Experiments in feedback linearized iterative learning-based path following for center-articulated industrial vehicles // *Control Engineering Practice*. – 2018. – Vol. 81. – P. 88–103.

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО СКОЛЬЗЯЩЕГО РЕЖИМА С ИТЕРАТИВНЫМ ОБУЧЕНИЕМ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВУХЗВЕННОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Л. С. Харитонов
Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматривается применение алгоритма управления на основе адаптивного скользящего режима с итеративным обучением для решения задачи отслеживания траектории двухзвенным манипулятором в условиях структурной, силовой, параметрической и информационной неопределенностей. Описан гибридный алгоритм на основе комбинации скользящего режима с адаптацией и итеративного обучения текущей эталонной траектории. Приведены результаты имитационного моделирования в среде MuJoCo в условиях, приближенных к земным. Продемонстрировано отслеживание различных траекторий – как гладких, так и ломаных. Ошибка отслеживания снижается на несколько порядков примерно за 10 итераций. Статья может быть интересна специалистам в области управления системами в условиях неопределенности, скользящими режимами и управления с итеративным обучением.

Ключевые слова: управление скользящим режимом, адаптивное управление, управление в условиях неопределенности, управление с итеративным обучением, отслеживание траектории, безмодельное управление.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 25-11-00065, https://rscf.ru/project/25-11-00065/.

Введение. В настоящее время стремительно развивается область мягкой робототехники (англ. *soft robotics*). Это направление посвящено разработке механических систем из мягких, податливых материалов, подобных биологическим тканям, а также управлению такими системами. Основное преимущество мягких роботов заключается в возможности близкого взаимодействия с живыми организмами, например, в медицинских целях.

Гибкие роботы представляют собой сильно нелинейные системы, для которых построение точной математической модели – крайне трудоемкая задача. Вместе с тем, классические методы управления нелинейными системами предполагают наличие у управляющего устройства (УУ) достаточно точного описания объекта управления (ОУ). Так как создание такой модели затруднительно, целесообразно использовать безмодельные методы. В условиях неопределенностей различной природы контроллер может основываться на механизмах адаптации, принципах робастности или их комбинации.

Движение рабочей точки многозвенной системы по заданной траектории – фундаментальная задача теории управления и робототехники. Классическое ее решение подразумевает в первую очередь решение обратной кинематической задачи (ОКЗ) для вычисления целевых суставных углов и дальнейшее приведение системы в вычисленное положение при помощи контроллера [5].

Однако, в условиях неопределенности решение ОКЗ является в принципе невозможным.

Управление на основе теории скользящих режимов (англ. *sliding mode control*, SMC) отличается робастностью к возмущениям и неопределенностям, а также гарантирует достижение цели за конечное время [6]. Однако у этого метода существует негативный эффект – дрожание, вызванное разрывным управлением:

$$u(t) = -k \operatorname{sign} s(t),$$

где $s(t)$ – поверхность скольжения, несущая информацию об ошибках, $k > 0$ – коэффициент усиления, определяющий интенсивность управляющего воздействия. Управление в SMC направлено против ошибки, а его величина должна быть достаточной для подавления неопределенностей и возмущений.

В классических «жестких» роботах SMC в чистом виде нежелателен, поскольку частые переключения способствуют изнашиванию механических элементов. В мягкой робототехнике ситуация иная: отсутствие жестких механических соединений делают SMC особенно перспективным подходом для применения в этой области. Также помогает снизить эффект дрожания использование адаптивных алгоритмов.

Для повторяющихся процессов в условиях неопределенности эффективной стратегией является использование опыта предыдущих повторений, т.е. концепция управления с итеративным обучением (англ. *iterative learning control*, ILC) [2]. Поскольку такие системы функционируют сразу в двух «измерениях» – по времени t «здесь и сейчас» и между итерациями i, их называют 2D-системами. Основной стратегией ILC является внесение поправок к управляющему сигналу на текущей итерации на основе предыдущих эпизодов:

$$u_{i+1}(t) = u_i(t) + \Delta u_{i+1}\left(t,\ e_{i+1}(t)\right),$$

где Δu_{i+1} – текущая поправка к управляющему сигналу, вычисляемая на основе анализа ошибок управления $e_{i+1}(t)$, например, по пропорциональному закону.

Сравнение ключевых характеристик SMC и ILC представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение ключевых характеристик SMC и ILC

Характеристика	**SMC**	**ILC**
Базовый принцип	С помощью разрывного управления система «скользит» вдоль заданной поверхности, подавляя возмущения.	Система работает в повторяющемся режиме и «обучается» на ошибках предыдущих эпизодов.
Основное преимущество	Подавление внезапных возмущений, робастность к неопределенностям.	Устранение периодических неопределенностей и возмущений.
Основной недостаток	Может вызывать непроизвольные высокочастотные колебания.	Неэффективен против помех, которые не повторяются от итерации к итерации.

Комбинация SMC и ILC, объединяющая преимущества и нивелирующая недостатки обоих подходов, является актуальным и перспективным направлением. Результатом синтеза становится управление скользящим режимом с итеративным обучением (англ. *iterative learning sliding mode control*, ILSMC) – гибридный алгоритм, который в течение эпизода повторения использует SMC для обеспечения устойчивости, а между повторениями применяет ILC, внося поправки для постепенного уменьшения ошибки.

На первый взгляд, в комбинации эти концепции будут только конкурировать: «обучиться» на переключениях SMC невозможно. Для этого существуют подходы синтеза полностью гладкого управления на основе SMC. Наиболее распространенные из них – синтез эквивалентного управления [1] и применение «супер-скручивающего» (англ. *super-twisting*) алгоритма [3]. Однако в данной статье рассмотрим другой подход, предложенный в [4]. А именно, оставим управление разрывным и будем корректировать не управляющий сигнал, а сигнал задания.

Все изложенное обусловливает актуальность работы.

Цель работы – применение адаптивного скользящего режима с итеративным обучением для решения задачи отслеживания двухзвенным манипулятором эталонной траектории в условиях неопределенности.

Научная новизна работы состоит в применении комбинации адаптивного скользящего режима и управления с итеративным обучением для отслеживания двухзвенным манипулятором целевых траекторий в условиях неопределенности.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения полученных результатов в области мягкой робототехники, управления повторяющимися процессами и системами с ограниченной информацией или неполным описанием.

Постановка задачи отслеживания траектории двухзвенным манипулятором в условиях неопределенности. Требуется, чтобы *рабочая точка* $\mathbf{q} = \begin{bmatrix} q_1 & q_2 \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ двухзвенного манипулятора перемещалась по некоторой *целевой траектории*, заданной параметрическими уравнениями в декартовых координатах: $\mathbf{r}(t) = \begin{bmatrix} r_1(t) & r_2(t) \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$. При этом управление движением манипулятора осуществляется путем создания вращательных моментов в межзвенных шарнирах.

Введем в рассмотрение вектор состояния системы в переменных Лагранжа в момент времени t: $\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{q} & \dot{\mathbf{q}} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ и вектор целевого состояния: $\mathbf{x}_r(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{r} & \dot{\mathbf{r}} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$. Будем считать, что ОУ является «черным ящиком». Тогда без обратной связи, т.е. сравнения текущего состояния с желаемым, управление в принципе невозможно. Состояние системы в терминах ошибок управления опишем вектором

$$\mathbf{e}(t) = \mathbf{x}(t) - \mathbf{x}_r(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{e} & \dot{\mathbf{e}} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} = \begin{bmatrix} e_1 & e_2 & \dot{e}_1 & \dot{e}_2 \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}, \quad (1)$$

где $\mathbf{e}$, $\dot{\mathbf{e}}$ – ошибки движения рабочей точки $\mathbf{q}$ по координатам и скоростям соответственно. Тогда цель управления будет заключаться в стабилизации нулевого положения ошибки, т.е. в обеспечении условия $\mathbf{e}(t) \to 0$ при $t \to \infty$.

Требуется решать задачу в условиях нескольких неопределенностей.

1. Структурная: математическая модель ОУ отсутствует, система может быть нелинейной.
2. Параметрическая: параметры системы неизвестны.
3. Силовая: внешние и внутренние возмущающие силы неизвестны.
4. Информационная: в системе присутствуют шумы и запаздывание.

Описание ОУ. Хотя УУ не обладает информацией о математической модели системы, для понимания дальнейшего изложения приведем краткое описание ее физической модели. Система представляет собой двухзвенный физический маятник, состоящий из «плечевого» и «локтевого» звеньев. Плечевое звено закреплено в неподвижной точке с помощью цилиндрического шарнира, а локтевое звено прикреплено ко второму концу плечевого звена также с помощью цилиндрического шарнира. На свободном конце локтевого звена расположена рабочая точка (рис. 1).

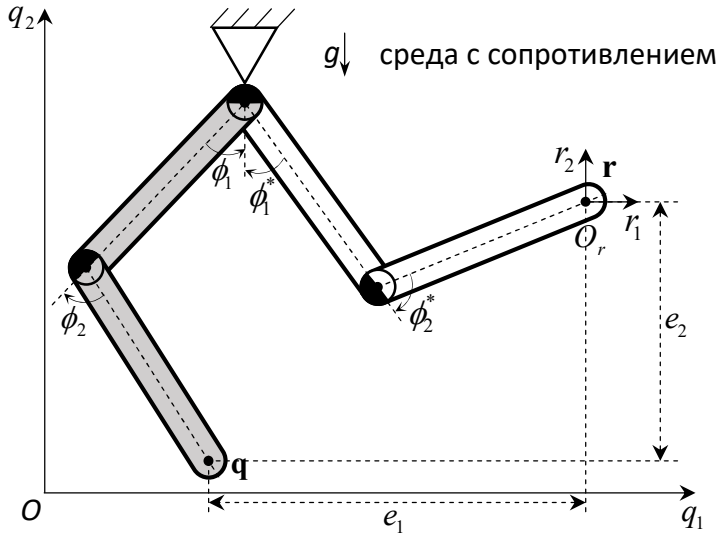


Рис. 1. Кинематическая схема ОУ

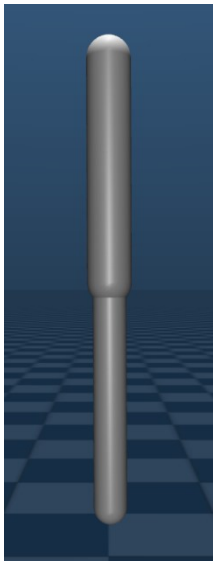


Рис. 2. Реализация ОУ в MuJoCo

Каждый сустав приводится в движение парой актуаторов (двигателей), совершающих усилия в противоположных направлениях, аналогично мышцам живых организмов. Для исключения дискретной неединственности, диапазон движения в каждом суставе (по каждой степени свободы) удовлетворяет ограничению: $\left|\phi_i^{\max} - \phi_i^{\min}\right| \le \pi$. Стоит отметить, что такое ограничение характерно и для многих биологических суставов. На систему могут действовать внешние силы, включая нелинейные возмущения и сопротивление среды. Параметры системы не раскрываются, так как она рассматривается как «черный ящик».

Итак, цель управления состоит в минимизации вектора ошибок: $\mathbf{e} \to 0$ при $t \to \infty$. Для этого к звеньям системы необходимо приложить такие управляющие моменты, чтобы обеспечить сходимость суставных углов к их целевым значениям: $\Delta\phi_i \to 0$, i = 1, 2, что, в свою очередь, гарантирует достижение рабочей точкой целевых координат: $e_i \to 0$, i = 1, 2.

Механизм адаптивного скользящего режима. Введем в рассмотрение скользящую поверхность как линейную комбинацию ошибки и ее производной:

$$\mathbf{s}(t) = \boldsymbol{\lambda}\mathbf{e} + \dot{\mathbf{e}} = \left[\operatorname{diag}\{\lambda_1,\ \lambda_2\} \quad \mathbf{I}_2\right] \cdot \left[\mathbf{e} \quad \dot{\mathbf{e}}\right]^{\mathrm{T}} = \left[\mathbf{s}_1 \quad \mathbf{s}_2\right]^{\mathrm{T}}, \tag{2}$$

где λ_1, λ_2 – некоторые положительные коэффициенты.

Закон управления скользящим режимом выражается следующим образом:

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{K} \operatorname{sign} \mathbf{s}(t), \tag{3}$$

где $\mathbf{K} = \operatorname{diag}\{k_1,\ k_2\}$ – матрица коэффициентов усиления, определяющих интенсивность управляющего воздействия, $k_1 > 0$, $k_2 > 0$.

Механизм адаптации SMC выразим следующим образом. Пусть скорость изменения коэффициентов матрицы усиления **K** в момент времени *t* прямо пропорциональна соответствующим величинам отклонения:

$$\dot{\mathbf{K}}(t) = \bar{K} \operatorname{diag}\left\{\left|\mathbf{s}_1\right|,\ \left|\mathbf{s}_2\right|\right\}, \tag{4}$$

где $\bar{K}$ – положительная константа, имеющая смысл скорости адаптации.

Тогда закон адаптации коэффициентов **K** будет иметь вид:

$$\mathbf{K}(t) = K_0 + \bar{K} \int_0^t \operatorname{diag}\left\{\left|\mathbf{s}_1\right|,\ \left|\mathbf{s}_2\right|\right\} \mathrm{d}\tau, \tag{5}$$

где $K_0 \geq 0$ – некоторое начальное значение коэффициента усиления.

Механизм итеративного обучения. На каждой итерации *i* повторяющегося процесса сигнал задания корректируется таким образом, чтобы ошибка выполнения скорректированного задания компенсировала ошибку предыдущей итерации для *исходной* траектории.

Задание на каждой итерации будет равно исходному заданию с коррекцией:

$$\mathbf{r}_{i+1}(t) = \mathbf{r}(t) + \Delta\mathbf{r}_{i+1}(t), \tag{6}$$

Величина каждой последующей коррекции вычисляется на основе закона итеративного обучения и равна текущей коррекции с некоторой поправкой, зависящей от ошибки:

$$\Delta\mathbf{r}_{i+1} = \Delta\mathbf{r}_i + Q\left\{\mathbf{L} \cdot \mathbf{e}_{i+1}(t)\right\}, \tag{7}$$

где $\mathbf{L} = \operatorname{diag}\{\ell_1,\ \ell_2\}$ – матрица обучения, определяющая интенсивность коррекции сигнала задания, $\ell_1 \in (0;\ 1]$, $\ell_2 \in (0;\ 1]$, Q – фильтр нижних частот.

Тогда ошибка отслеживания на *i*-й итерации будет выражаться формулой:

$$\mathbf{e}_i(t) = \mathbf{x}_i(t) - \mathbf{r}_i(t) = \mathbf{x}_i(t) - \Delta\mathbf{r}_i(t) - \mathbf{r}(t). \tag{8}$$

Иными словами, если на *i*-й итерации управление с заданием $\mathbf{r}_i(t)$ привело к отклонению $\mathbf{e}_i(t)$, то на $(i+1)$-й итерации новая эталонная траектория

$\mathbf{r}_{i+1}(t)$ сдвигается на величину, пропорциональную этой ошибке. В результате «неправильное» выполнение скорректированного задания приводит к более «правильному» выполнению *исходного* задания $\mathbf{r}(t)$.

Имитационное моделирование. Проиллюстрируем решение задачи отслеживания эталонной траектории двухзвенным механическим манипулятором с двумя степенями свободы на вычислительном примере.

В ходе имитационного моделирования использовалось свободное программное обеспечение: среда виртуального физического моделирования MuJoCo (Multi-Joint dynamics with Contact) и язык программирования Python.

На основе кинематической схемы (рис. 1) была разработана XML-модель, учитывающая условия, близкие к земным: гравитацию, вязкое сопротивление воздуха и воздействие ветра. Скриншот созданной модели представлен на рис. 2.

Рассмотрим отслеживание системой следующих гладких и ломаных траекторий различной сложности: астроиды, кардиоиды, лемнискаты Бернулли, узла-трилистника, эллипса, розы, треугольника, четырехугольника и пятиконечной звезды.

В качестве метрики производительности итеративного обучения будем использовать корень из среднеквадратичной ошибки отслеживания (англ. *root mean square error* – RMSE), вычисляемый по формуле:

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(e_1^2 + e_2^2\right)},$$

где e_1, e_2 – ошибки по координатам q_1, q_2 соответственно.

Результаты моделирования, полученные на заключительной итерации, представлены на рис. 3.

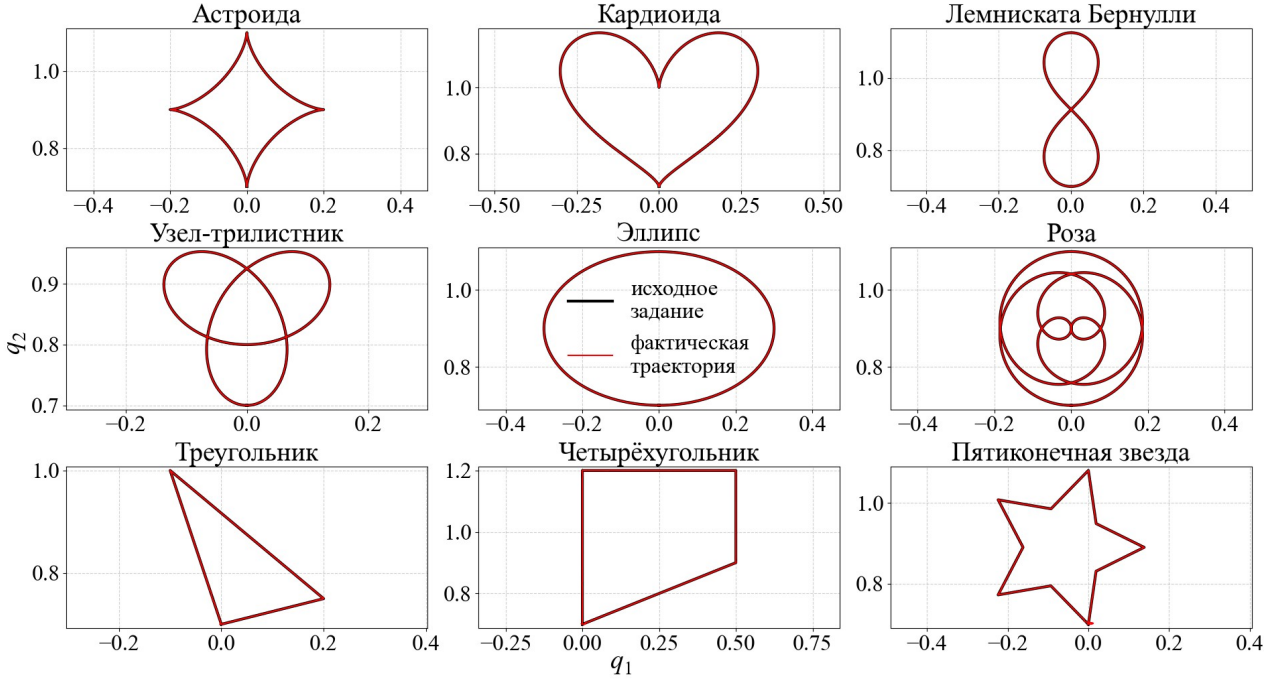


Рис. 3. Графики траекторий рабочей точки на заключительном эпизоде

Благодаря механизмам адаптации и итеративного обучения, эффект дрожания, характерный для SMC, практически устранен и не наблюдается визуально. Все эталонные траектории отслеживаются с высокой точностью.

На рис. 4 представлена динамика изменения корня из среднеквадратичной ошибки отслеживания в зависимости от номера повторения для каждой из отслеживаемых траекторий. Результаты демонстрируют, что система эффективно обучается и адаптируется как к периодическим, так и к непериодическим неопределенностям и возмущениям. При этом сходимость RMSE к минимальному значению достигается примерно за 10 эпизодов повторения. Для некоторых траекторий ошибка снижается на несколько порядков.

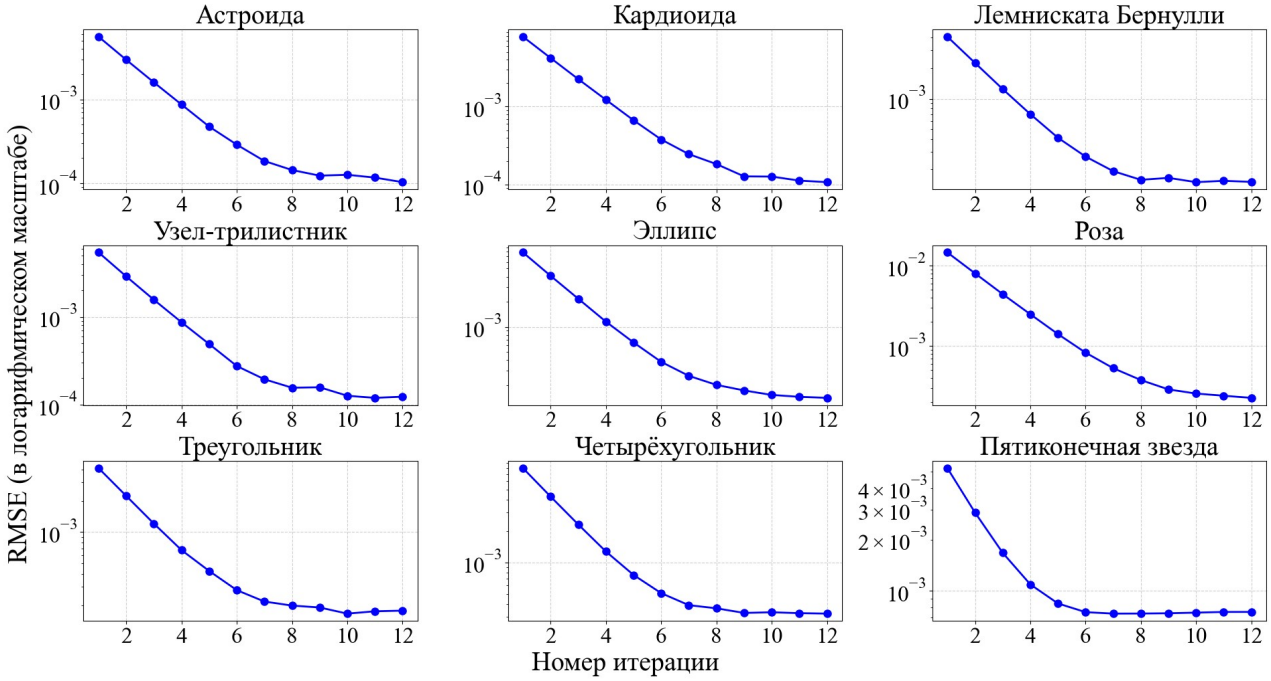


Рис. 4. Графики сходимости RMSE по итерациям для различных траекторий

Заключение. Таким образом, для решения задачи отслеживания двухзвенным манипулятором эталонной траектории в условиях неопределенности был применен алгоритм управления адаптивным скользящим режимом с итеративным обучением. Система функционирует в условиях, приближенных к земным, и обеспечивает высокую точность отслеживания различных траекторий. Она успешно справляется как с периодическими, так и непериодическими неопределенностями и демонстрирует быструю сходимость итеративного обучения. В перспективе планируется рассмотрение систем с бóльшим числом степеней свободы.

Библиографический список

1. **Nguyen, L. V., Phung, M. D., Ha, Q. P.** Iterative Learning Sliding Mode Control for UAV Trajectory Tracking // Electronics. – 2021. – Vol. 10. – Article № 2474. – DOI: 10.3390/electronics10202474

2. **Rogers, E., Chu, B., Freeman, C. T., Lewin, P. L.** Iterative learning control algorithms and experimental benchmarking. – Wiley, 2023. – 448 p.
3. **Wang, W. et al.** Generalized Iterative Super-Twisting Sliding Mode Control: A Case Study on Flexure-Joint Dual-Drive H-Gantry Stage // arXiv. – 2021. – DOI: 10.48550/arXiv.2103.12567
4. **Wang, W. et al.** Global Iterative Sliding Mode Control of an Industrial Biaxial Gantry System for Contouring Motion Tasks // arXiv. – 2021. – DOI: 10.48550/arXiv.2103.12580
5. Моделирование и управление движением роботов: учебно-методическое пособие / Д. Н. Захаров, Д. М. Куровский, Е. А. Ракшин [и др.]. – СПб.: НИУ ИТМО, 2023. – 86 с.
6. **Уткин, В. И.** Скользящие режимы и их применения в системах с переменной структурой. – М.: Наука, 1974. – 272 с.

УПРАВЛЕНИЕ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ С ИТЕРАТИВНЫМ ОБУЧЕНИЕМ НА ОСНОВЕ LPV-МОДЕЛЕЙ

Н.А. Столяров, Д.А. Сорокин
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В статье рассматривается задача управления мобильным роботом с использованием итеративного обучения. Данный метод позволит системе, которая в свою очередь выполняет многократно повторяющуюся задачу управления в процессе итераций, последовательно приближаться к эталону за счет управляющего сигнала.

***Ключевые слова*:** мобильный робот, итеративное обучение, LPV-модель, методы оптимизации, управление.

В настоящее время задачи управления мобильными роботами являются одним из ключевых направлений развития современной робототехники и автоматизированных систем. Мобильные роботы могут функционировать как в режиме ручного управления, получая команды от оператора, так и в полностью автономном режиме на основе заранее заданных алгоритмов. Несмотря на значительный прогресс в области теории управления и робототехники, проблема синтеза эффективных алгоритмов управления такими системами остается актуальной, поскольку мобильные роботы функционируют в динамической и часто неопределенной среде, что требует высокой точности, устойчивости и адаптивности управляющих систем [1].

К современным робототехническим системам в промышленности, логистике и других сферах предъявляют высокие требования к качеству их функционирования. Они должны обеспечивать:

- точность движения;
- энергоэффективность;
- устойчивость к внешним воздействиям.

Одним из перспективных направлений решения подобных задач является применение методов итеративного обучения (УИО). Эти методы позволяют повысить качество управления в системах, которые выполняют повторяющиеся операции, благодаря применению информации о предыдущих шагах функционирования системы. Большинство традиционных реализаций УИО основываются на предположении о линейности динамики системы или же используют простые методы линеаризации. Более совершенные подходы, такие как робастный метод, учитывают неопределенности модели и внешние возмущения [2-5].

Вместе с тем указанные подходы не всегда способны адекватно учесть специфику кинематики мобильного робота, связанную, с кинематикой, зависящей от его ориентации. Современные исследования предлагают решать эту проблему посредством построения моделей с линейно изменяющимися пара-

метрами LPV, обеспечивающие лучшую аппроксимацию нелинейных систем [6].

Данная предполагаемая стратегия с использованием УИО рис. 1. Из-за нелинейности кинематики, связанной с углом ориентации в глобальной системе координат, применяется специальная процедура линеаризации. Для каждой подобласти рассчитана и разработана собственная LPV – подмодель, обеспечивающая высокую точность аппроксимации и возможность последующего синтеза регулятора. На основе такой модели, можно определить коэффициенты усиления K_1 и K_2 которые позволят получить стратегию УИО с отслеживанием эталонной траектории.

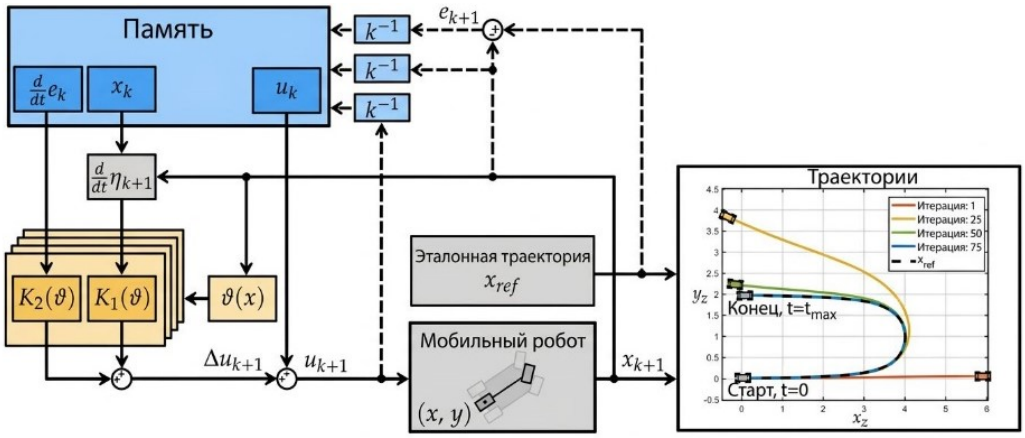


Рис 1. Схема предлагаемого интерфейса УИО для мобильных роботов

В данной работе объектом исследования будут выступать мобильные роботы автомобильного типа, оснащенные рулевым управлением Аккермана, и функционирующие на низких скоростях, в диапазоне от 0,1 до 0,5 м/с. При таких скоростях, влиянием сил, действующих на колеса, и, как, следствие, и углами бокового увода, можно будет пренебречь и тем самым можно оправдать применение кинематической модели. Рассмотрим некоторые работы [7,8], в них авторы заменяют четырехколесную модель на более простую велосипедную модель (из-за ее простоты). Схематическое представление рассматриваемого объекта приведено на рис. 2. Особенность геометрии Аккермана заключается в том, что она заставляет все колеса катиться по круговым траекториям вокруг общего мгновенного центра вращения (МЦС), эффективно предотвращая проскальзывание. Как можно видеть, геометрия Аккермана заставляет все колеса катиться по круговым траекториям вокруг общего мгновенного центра вращения (МЦС), эффективно предотвращая проскальзывание. Эта конфигурация означает, что углы поворота правого переднего колеса δ_r и левого переднего колеса δ_l взаимосвязаны [9].

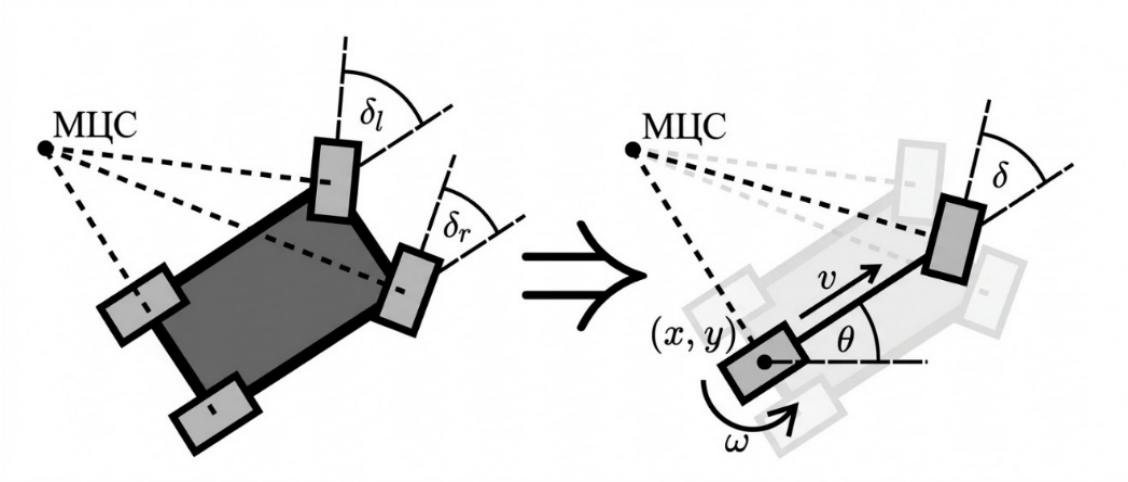


Рис. 2. Кинематическая схема системы

В качестве экспериментальной платформы предполагается использовать Waveshare JetRacer AI Kit (рис. 3).



Рис. 3. Waveshare JetRacer AI Kit

Данный выбор обусловлен несколькими факторами. Во-первых, JetRacer является масштабной моделью автомобиля с классической компоновкой: задние колеса являются ведущими, а передние управляемыми. Такая кинематическая схема полностью соответствует рассматриваемой в работе велосипедной модели с рулевым управлением Аккермана, что подтверждает адекватность теоретических допущений. Во-вторых, платформа позволяет комбинировать различные виды плат, предполагается использовать Raspberry Pi, которая должна обладать достаточной вычислительной мощностью для наших задач и в то же время будет являться примером бортового компьютера с ограниченными ресурсами.

Для определения положения и ориентации робота в пространстве планируется использовать техническое зрение. На платформе робота будет закреплен

ArUco-маркер (рис. 4), а над рабочей будет располагаться камера, оснащенная широкоугольным объективом. Применение ArUco-маркеров с реализацией на библеотеке OpenCV позволит с высокой точностью и низкой задержкой определять координаты (x, y) и угол ориентации θ робота в глобальной системе координат. Для минимизации искажений, вносимых широкоугольным объективом, нужно будет перед началом экспериментов провести калибровку камеры с использованием калибровочных шаблонов [9].

Основной управляющий цикл будет реализован на языке Python. Выбор Python обусловлен простотой интеграции с библиотеками компьютерного зрения (OpenCV для работы с ArUco), а также наличием высокоуровневых средств для взаимодействия с периферией робота (управление сервоприводами и двигателями через встроенные функции).

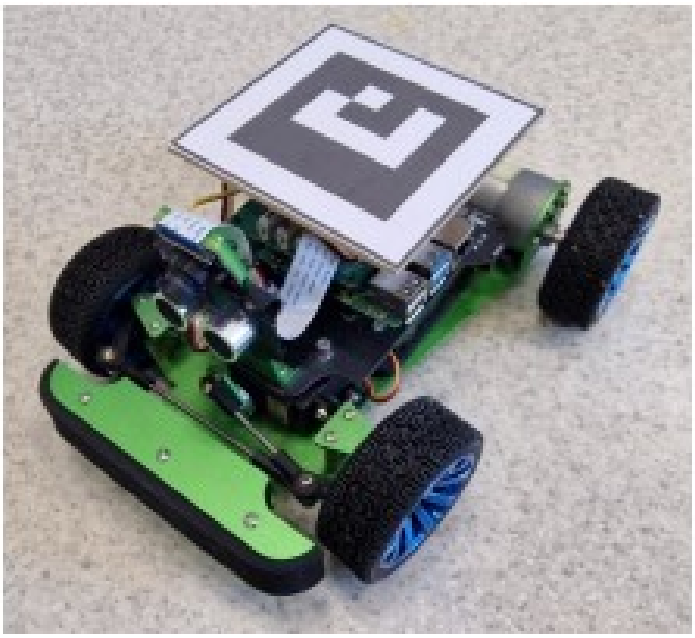


Рис. 4. Робот JetRacer с маркером ArUco

Библиографический список

1. **Дарьина, А. Н.** Методы решения задач оптимального управления с фазовыми ограничениями, возникающими в робототехнике: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 1.2.3 / Дарьина Анна Николаевна; Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН. – Москва, 2025. – 354 с.

2. **Paszke, W.; Rogers, E.; Gałkowski, K.; Cai, Z.** Robust finite frequency range Iterative Learning Control design and experimental verification. Control Eng. Pract. 2013, 21, 1310–1320.

3. **Sornmo, O.; Bernhardsson, B.; Kroling, O.; Gunnarsson, P.; Tenghamn, H.** Frequency-domain iterative learning control of a marine vibrator. Control Eng. Pract. 2016, 47, 70–80.

4. **Sulikowski, B.; Galkowski, K.; Rogers, E.; Kummert, A.** Robust Iterative Learning Control for ladder circuits with mixed uncertainties. In Proceedings of the 16th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV 2020, Shenzhen, China, 13–15 December 2020; pp. 932–937.

5. **Rafajłowicz, E.; Rafajłowicz, W.** Iterative learning in optimal control of linear dynamic processes. Int. J. Control 2018, 91, 1522–1540.
6. **Toth, R.** Modeling and Identification of Linear Parameter-Varying Systems; Lecture Notes in Control and Information Sciences; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2010. [Cross-Ref]
7. **Feng, D.; Krogh, B.H.** Satisficing feedback strategies for local navigation of autonomous mobile robots. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 1990, 20, 1383-1395.
8. **Bemporad, A.; De Luca, A.; Oriolo, G.** Local incremental planning for a car-like robot navigating among obstacles. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, MN, USA, 22–28 April 1996; ANS: it is correct Volume 2, pp. 1205-1211.
9. **Zaborniak D., Balik P., Woźniak K., Sulikowski B., Witczak M**. Iterative Learning Control Design for a Class of Mobile Robots // Electronics. – 2025. – Vol. 14, No. 3. – P. 531.

СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ «КАЛЬКУЛЯТОР ПЛОЩАДЕЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР» НА ПЛАТФОРМЕ .NET

Л.Е. Тютерева, Т.В. Емельянова
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

Данная статья посвящена рассмотрению особенностям разработки приложения, которое предназначено для вычисления площади различных геометрических фигур и дает возможность построить геометрические фигуры по вводимым параметрам.

Ключевые слова: компьютерные технологии, приложение, геометрическая фигура, площадь геометрической фигуры, визуализация.

В последние года все больше приложений и программ создаются для углубленного изучения и понимания различных тем. Их использую в учебной деятельности, чтобы продемонстрировать влияние различных параметров на поведение объектов и визуализировать результаты. Реализация подобных приложений является трудоемкой задачей, поскольку требует учета всех тонкостей по выбранной теме и удобства использования. В данной статье рассмотрим особенности создания приложения «Вычисление площади фигуры».

Приложение разрабатывалось на языке программирования C#, поскольку он является мощным инструментом для создания более масштабных и разносторонних приложений, востребованным во всем мире, постоянно расширяющим свой функционал [1].

Для реализации проекта было выбрано программное обеспечение Microsoft Visual Studio 2022. Оно предоставляет разработчику возможность визуализировать интерфейс приложения перед его созданием и программированием рабочей части, что упрощает разработку и понимание вида и функционала готового продукта.

Перед созданием приложения необходимо изучить тему и продумать внешний вид проекта, работу пользователя с продуктом (при необходимости создать правила по работе с готовым инструментом), реакцию системы на ошибки при использовании человеком.

Приложение было создано на платформе .NET Framework 4.7.2, наиболее универсальной версии для аппаратных средств, с использованием технологии пользовательского интерфейса Windows Forms.

Процесс разработки приложения начинается с определения функциональных возможностей программы и разработки интерфейса приложения.

На рис. 1 представлен интерфейс разработанного приложения «Вычисление площади фигуры». Дизайн выполнен в спокойных голубых тонах, а окна, выводящие изображение фигуры и отображающие введенные данные окраше-

ны белым для удобства восприятия и быстрого ориентирования в среде программы [2].

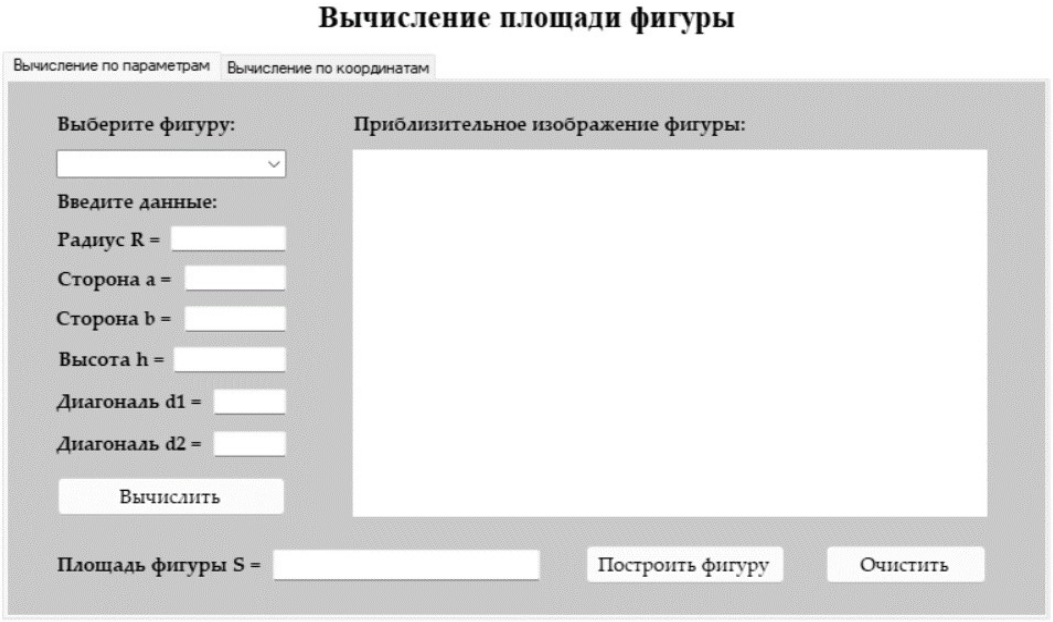


Рис. 1. Внешний вид приложения

Основой работы с приложением является фигура, площадь которой необходимо вычислить. Для этого создан список стандартных фигур (рис.2).

Далее необходимо инициализировать переменные, которые будут хранить данные, введенные с клавиатуры. Если данные не были записаны, то следует учесть эту ситуацию и задать значение переменной по умолчанию, например, равную нулю. Необходимо также обратить внимание и на корректность выбора типа фигуры и введенных данных, и принять это в расчет при написании программной части.

Для удобства разработчика рекомендуется вынести в отдельную часть кода методы рисования геометрических фигур и вычисления площади выбранного объекта. В последнюю очередь настраиваются кнопки и поля изображения фигуры для проверки корректности работы написанных метод и их возможных корректировок.

После сохранения папки с проектом приложение можно открыть на любом устройстве с сохранением всех функциональных возможностей.

Приложение «Вычисление площади фигуры» имеет 2 вкладки (рис.2):

- вычисление площади фигуры по параметрам;
- вычисление площади фигуры по координатам.

После запуска приложения необходимо переключиться на нужную вкладку, в которой будут вводиться данные.

Далее из списка необходимо выбрать фигуру (рис. 2).

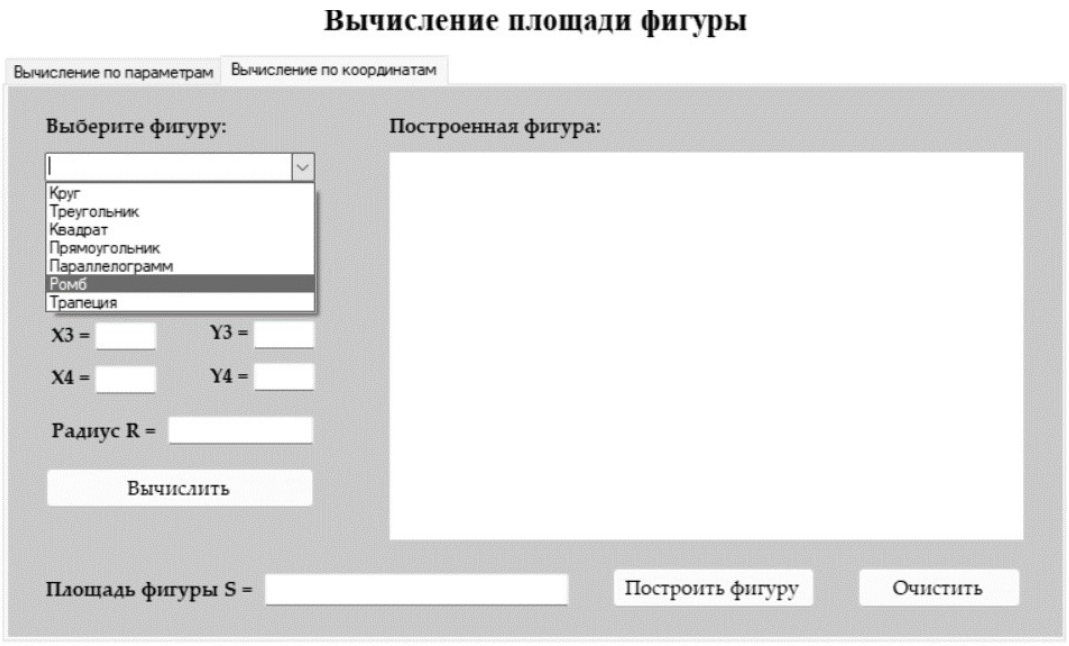


Рис. 2. Выбор фигуры для вычисления

Далее необходимо ввести параметры геометрической фигуры. Для ввода координат нужно соблюдать последовательность ввода (координаты вершин вводятся по порядку, т.е. по обходу контора по или против часовой стрелки).

Для вычисления площали фигуры необходимо нажать кнопку «Вычислить».

Для построения фигуры с заданными параметрами необходимо нажать кнопку «Построить фигуру» и получить примерное изображение объекта (рис. 3).

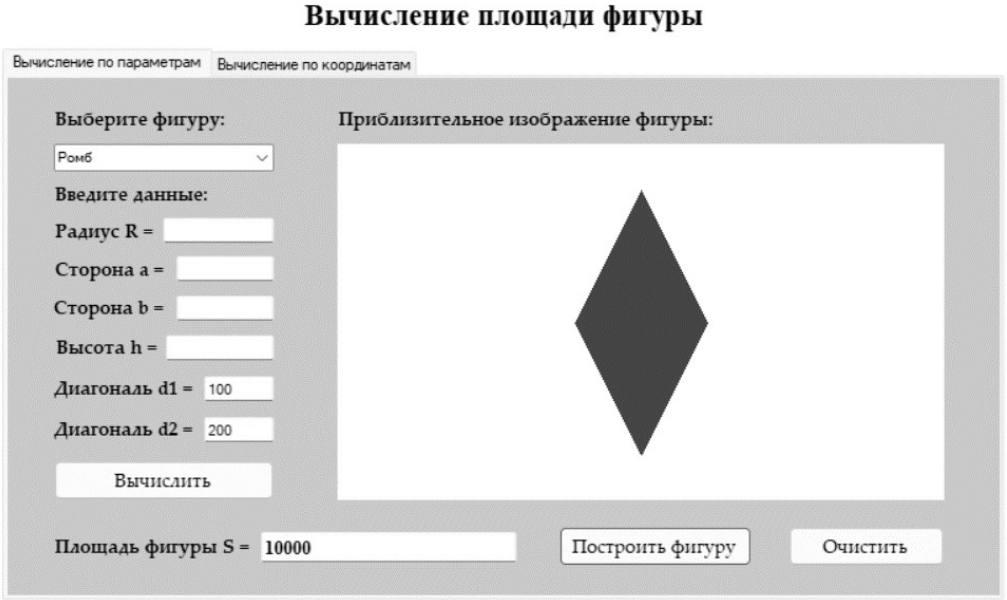


Рис. 3. Результат вычисления и визуализации

Для увеличения (уменьшения) размера построенной фигуры есть возможность увеличить (уменьшить) все параметры, умножив (разделив) на

выбранное число, и после нажать только кнопку «Построить фигуру» при этом сохраниться значение площади по изначальным параметрам (рис. 4).

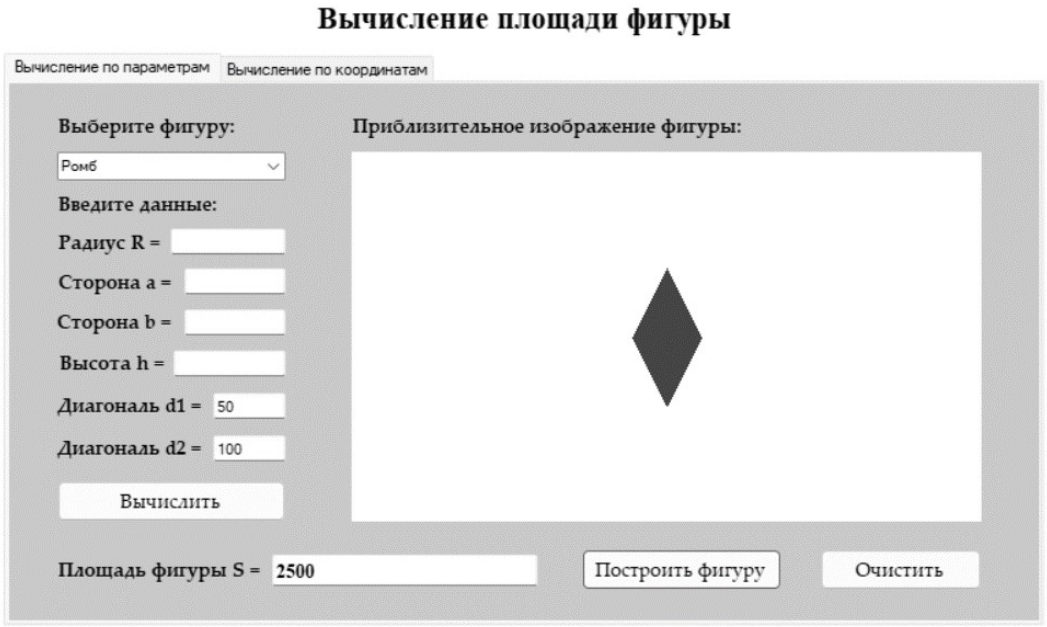


Рис. 4. Изменение размера фигуры без изменения значения площади

Аналогично вычисляется площадь выбранной фигуры и визуализируется при вводе координат на второй вкладке приложения (рис. 5).

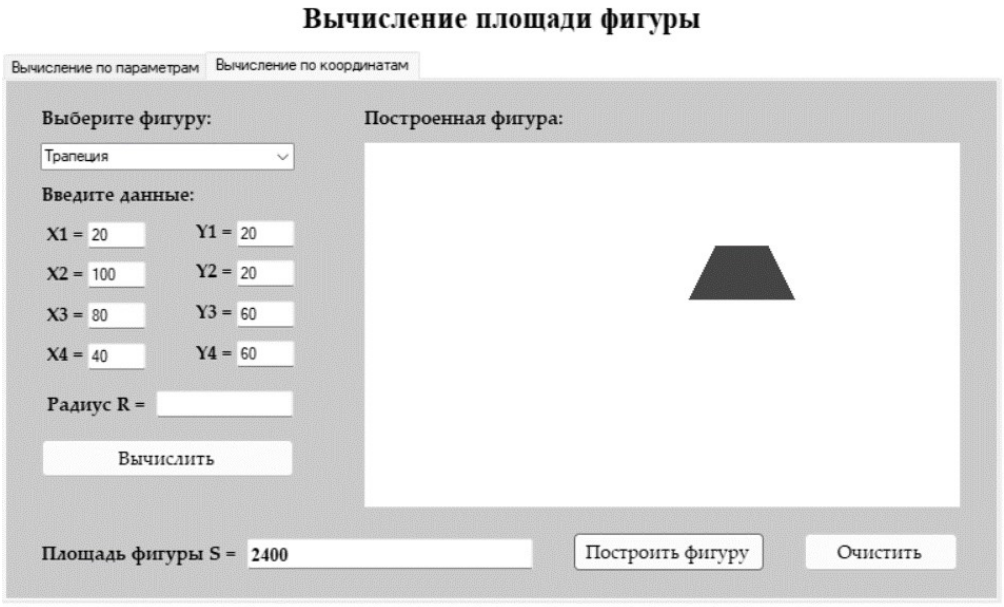


Рис. 5. Пример работы второй вкладки приложения

Разработанное приложение «Вычисление площади фигуры» позволяет пользователям легко и быстро вычислить площадь фигуры и построить ее образ. В будущем планируется улучшить интерфейс и увеличить число фигур, для

которых будут вычисляться площади. Например, рассмотреть добавление нахождения площади фигуры, ограниченной функциями.

В данной статье были рассмотрены технологические особенности реализации приложения «Вычисление площади фигуры». Выделены ключевые моменты, которые необходимо учесть при изучении темы и программной разработке приложения, а именно: учтены реакции приложения на ошибки при вводе данных, при выполнении непоследовательных действий и при пропусках ввода пользователем параметров, необходимых для вычисления. В приложении предусмотрены функциональные возможности не только вычисления площадей фигур, но и построения данных объектов. А также разработана инструкция пользователя для работы с приложением «Вычисление площади фигуры».

Библиографический список

1. ***Liberty, J***. Programming C#: Building .NET Applications with C# / J. Liberty. – [Б. м.] : O'Reilly Media, 2002. – 447 с.
2. ***Пакшина, Н.А.*** Учет особенностей цветового восприятия при оформлении электронных средств обучения / Н. А. Пакшина, С. А. Валов, Ю. П. Пакшина // Академический журнал Западной Сибири. – 2010. – № 5-6. – С. 19.

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОИСКА ЭКСТРЕМУМА ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

В. М. Федоров
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В данной работе рассмотрен алгоритм адаптивного управления с поиском экстремума. Эффективность разработанного алгоритма подтверждена на примере задачи подавления внешних возмущений в креновом канале БПЛА самолетного типа.

Ключевые слова: адаптивное управление, управление с поиском экстремума, контур стабилизации БПЛА

Несмотря на наличие разнообразных подходов к построению регуляторов, проблема управления в условиях неопределенности остается достаточно сложной задачей [1,2]. Перспективным направлением синтеза неопределенных систем являются адаптивные законы, которые допускают гибкое изменение структуры и параметров в зависимости от различных факторов. Среди них следует выделить градиентные методы, в которых модель объекта управления (ОУ) не включена в систему «явно», например, управление с поиском экстремума (Extreme Seeking Control – ESC) [3], которое гарантирует устойчивость и сходимость при четко определенных условиях. Целью данной работы является построение адаптивного алгоритма управления на основе поиска экстремума.

Первым шагом в постановке задачи управления на основе поиска экстремума является описание целевой функции, которая может быть представлена в следующем виде [3,4]:

$$J(y,\theta) = J^*(t) + \frac{f''}{2}(\theta - \theta^*(t))^2 , \qquad (1)$$

где $f'' > 0$ – произвольная константа, θ – корректирующий сигнал, $\theta^*(t)$ – корректирующий эталонный сигнал.

Искомый закон управления, доставляющего максимум целевой функции (1), может быть найден из рекуррентного соотношения, если к текущей оценке оптимального управления добавлять следующее синусоидальное возмущение [3,4]:

$$\theta = \hat{\theta} + a\sin(\omega t), \qquad (2)$$

где $a \in R$ – амплитуда гармонической составляющей, ω – частота возмущения.

Затем, из сигнала исключается постоянная составляющая, путем пропускания результирующего сигнала через фильтр высоких частот (ФВЧ):

$$\frac{s}{s+\omega_h},$$

где ω_h – частота.

На выходе такого фильтра получается осциллирующий сигнал ρ, из-за которого возмущение, полученное после преобразования, имеет нулевое сред-

нее. Далее, полученный сигнал перемножается с тем же демодулирующим сигналом:

$$\xi = \alpha \sin(\omega t - \varphi) \cdot \rho,$$

где ξ – сигнал демодуляции, φ – сдвиг по фазе, ρ – выходной сигнал фильтра ФВЧ.

На последнем этапе сигнал пропускается через фильтр низких частот или интегрирующее звено для оценки градиента целевой функции (1):

$$\frac{d}{dt}\hat{\theta} = k\xi,$$

где k – коэффициент усиления.

Следует отметить, что θ может относиться как к управляющему сигналу, так и к набору параметров, описывающих поведение регулятора. Пример поведения алгоритма управления с поиском экстремума для статической целевой функции представлен на рис.1 [5,6].

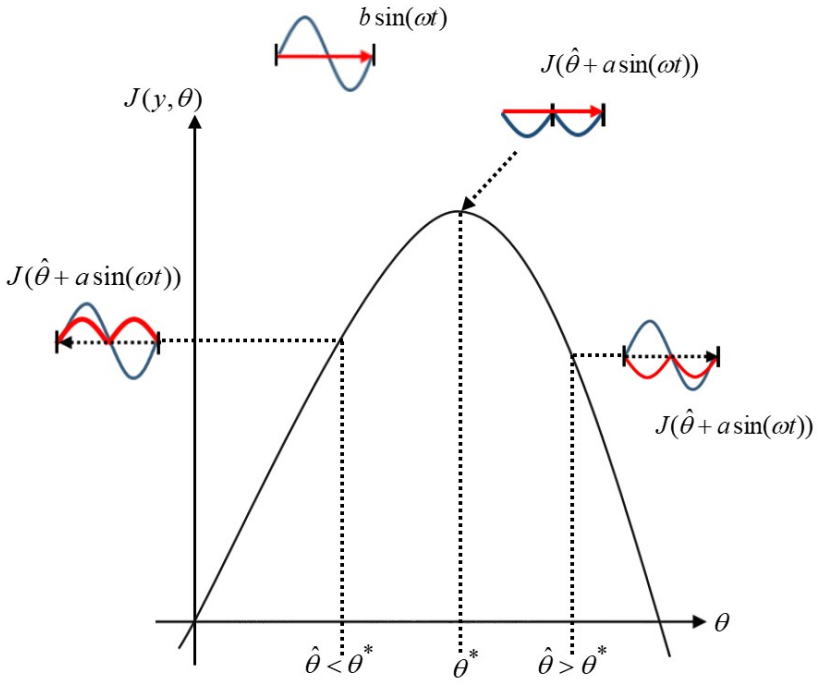


Рис. 1. Поиск экстремума вблизи максимума целевой функции

Исходя из рис. 1, если входной сигнал θ будет меньше, максимального значения θ^*, то выходное возмущение синфазно и, наоборот, в противном случае.

Структурная схема контура на основе алгоритма управления с поиском экстремума представлена на рис. 2.

Таким образом, управление на основе поиска экстремума позволяет получить наиболее оптимальную оценку целевой функции. При этом, найденная точка, как правило, является локальной. Для нахождения глобального экстремума следует выбирать наиболее оптимальное начальное приближение.

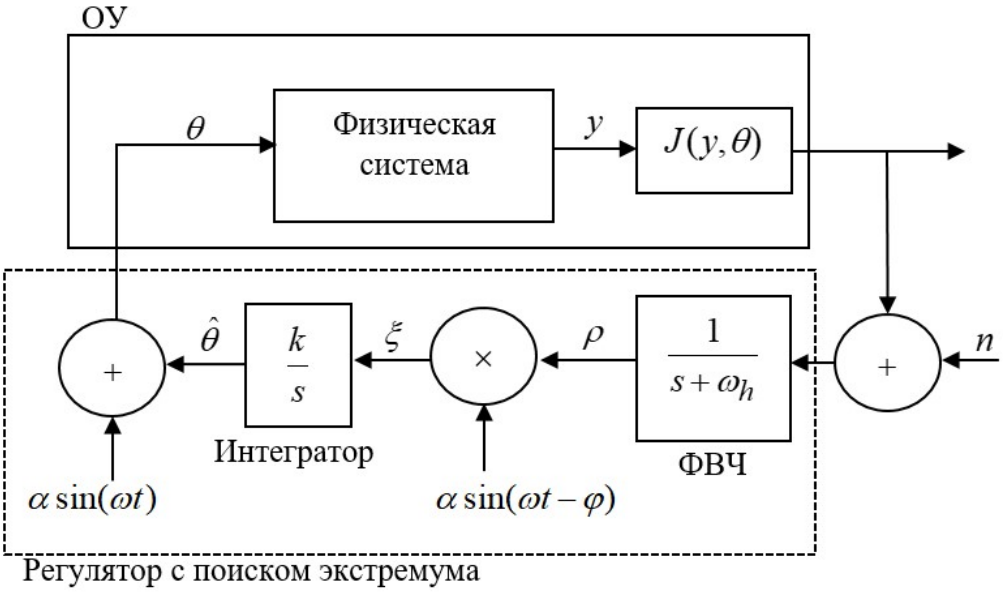


Рис. 2. Структурная схема контура управления на основе поиска экстремума

В качестве примера, рассмотрим синтез адаптивного управления с поиском экстремума для подавления возмущений в креновом канале беспилотного летательного аппарата самолетного типа. Уравнения движения такой системы могут иметь следующий вид [7]:

$$\begin{aligned} \dot{\gamma} &= \omega_x, \\ \dot{\omega}_x &= \frac{M_x}{J_x}, \\ T\dot{\delta}_э + \delta_э &= \sigma_э, \end{aligned} \qquad (3)$$

где $M_x = M_x(\beta, \delta_э, M, H)$ – аэродинамический момент, $[\text{Н}\cdot\text{м}]$; J_x – момент инерции, $[\text{кг}\cdot\text{м}]$; β – угол скольжения, [рад]; γ – угол крена, $[\text{рад}]$; ω_x – угловая скорость крена, $\left[\text{рад}/\text{с}\right]$; T – постоянная времени привода, [с]; $\delta_э$ – угол отклонения руля элеронов, [рад]; $\sigma_э$ – управляющий сигнал, подаваемый на рулевой привод, $[\text{рад}]$.

Для обеспечения асимптотической устойчивости объекта управления (3) на типовом режиме полета используется закон управления следующей структуры:

$$\sigma_э = 4\cdot\left(\gamma + \gamma_{зад}\right) + 8{,}3\cdot\int\left(\gamma + \gamma_{зад}\right)dt + 0{,}9\cdot\omega_x, \qquad (4)$$

где $\gamma_{зад}$ – заданный угол крена, [рад].

Параметры динамических звеньев и гармонических функций алгоритма управления на основе поиска экстремума выбраны следующими:

$$\omega = 0.5\ \text{Гц},\ \omega_h = 2\ \text{Гц},\ a = 10,\ \varphi = 0\ \text{град},\ k = 3.$$

В качестве параметра возмущения будем рассматривать скачкообразное воздействие по углу скольжения с амплитудой в 1 градус на 4 секунде полета. Результаты численного моделирования представлены на рис. 3.

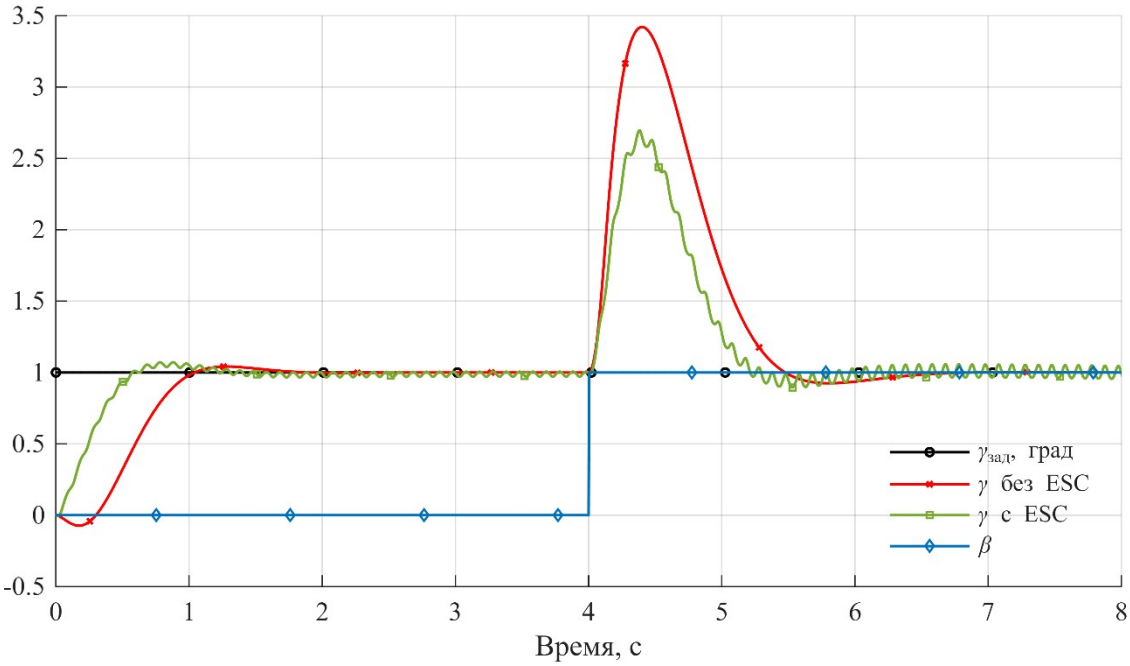


Рис. 3. Отработка возмущения в канале крена на типовом режиме полета

Согласно полученным результатам, модификация алгоритма управления (4) на основе поиска экстремума позволяет обеспечить более высокое быстродействие в замкнутом контуре.

Таким образом, в ходе проделанной работы мы разработали адаптивный закон управления на основе поиска экстремума. Результаты численного моделирования показали высокое качество подавления внешних возмущений по сравнению с классической структурой закона стабилизации в канале крена.

Библиографический список

1. Математическая теория автоматического управления: учеб. пособие / Б. Т. Поляк, М. В. Хлебников, Л. Б. Рапопорт. - М.: ЛЕНАНД. – 2019.
2. ***Емельянова, Ю. П.*** Математические модели неопределенных систем / Ю. П. Емельянова, П. В. Пакшин. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2018. – 113 с. – ISBN 978-5-502-01099-3. – EDN SIVZTU.
3. Брантон С. Л., Куц Д. Н. Анализ данных в науке и технике. - М.: ДМК Пресс. – 2021.
4. Ariyur K. B., Krstic M. Real-time optimization by extremum-seeking control. – John Wiley & Sons, 2003.
5. Baran H., Bayezit I., Jambak A. I. Robust Flight Control for Unmanned Aerial Vehicles: The Fusion of Full State Feedback and Extremum-Seeking Control //Journal of Aeronautics and Space Technologies. – 2024. – Т. 17. – №. 1. – С. 176-204.
6. Muhsen A., Raafat S. Optimized PID control of quadrotor system using extremum seeking algorithm //Engineering and Technology Journal. – 2021. – Т. 39. – №. 6. – С. 996-1010.
7. Ефремов, А. В. Динамика полета. Учебник / А. В. Ефремов, В. Ф. Захарченко, В. Н. Овчаренко. – М. : Машиностроение, 2011. – 776 с.

КОНКУРС ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА

Г.А. Гуськов, Д.А. Самарин
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье представлена разработка автономной системы мониторинга температуры и влажности для приусадебных участков и теплиц. Система состоит из дистанционных измерительных модулей на базе микроконтроллера STM32 и базовой станции на базе NodeMCU (ESP8266). Передача данных осуществляется по протоколу LoRa. Устройство отличается наличием удобного веб-интерфейса для просмотра текущих и архивных данных, возможностью подключения до трех выносных датчиков через универсальные разъемы 3.5 мм Jack, а также автономным хранением истории измерений на microSD-карте в формате CSV. Конструкция размещена в корпусе, напечатанном на 3D-принтере.

Ключевые слова: LoRa, STM32, ESP8266, мониторинг

Современные технологии автоматизации все глубже проникают в сферу частного садоводства и фермерства. Контроль микроклимата является ключевым фактором для получения хорошего урожая. Владельцы дачных участков нуждаются в недорогих и простых решениях, позволяющих удаленно отслеживать параметры окружающей среды, и своевременно реагировать на изменения погоды. Существующие промышленные системы зачастую избыточны и сложны в установке для небольших хозяйств.

Целью данной работы является разработка доступной, гибкой и простой в эксплуатации системы мониторинга, которая позволяет пользователю получать данные с различных точек участка как в реальном времени, так и в виде архива за длительный период.

Система построена по топологии «звезда» и включает в себя два основных компонента: один или несколько дистанционных измерительных модулей и одну базовую станцию (приемник).

Дистанционный модуль предназначен для сбора данных с датчиков и их передачи по радиоканалу. Конструктивно модуль выполнен в герметичном корпусе и может питаться как от аккумуляторов, так и от внешнего источника.

Основой дистанционного измерительного модуля является микроконтроллер STM32, который выполняет функции управления периферией, опроса датчиков и формирования пакетов данных для последующей передачи. Для передачи данных на базовую станцию используется радиомодуль LoRa SX1278.

В текущей конфигурации модуль комплектуется тремя датчиками температуры и влажности DHT22, которые подключаются с помощью разъемов формата 3.5мм Jack. Плата расширения позволяет подключить до восьми датчиков,

а при необходимости можно подключить несколько плат и увеличить общее количество портов до шестидесяти четырех. Модуль питается от двух литий-ионных аккумуляторов формата 18650, которые обеспечивают длительную автономную работу.

Базовая станция выполняет функции сбора данных со всех модулей, их хранения и предоставления пользователю через веб-интерфейс. Она построена на базе платформы NodeMCU v3, ключевым компонентом которой является микроконтроллер ESP8266 с интегрированным WiFi-модулем, позволяющий создать веб-сервер для взаимодействия с пользователем. Прием данных осуществляется с помощью такого же радиомодуля LoRa SX1278, как и в дистанционном модуле, что обеспечивает полную совместимость устройств. Модуль подключен к микроконтроллеру по интерфейсу SPI и настроен на постоянный прием входящих пакетов.

Для долговременного хранения собранной информации в состав базовой станции включен модуль для microSD-карт. Он подключается к микроконтроллеру также по SPI-интерфейсу и позволяет вести запись данных в файловой системе FAT. Использование съемного накопителя обеспечивает практически неограниченный объем хранения архива измерений и возможность быстрого переноса данных на компьютер для последующей обработки.

Наличие встроенного WiFi-модуля ESP8266 позволяет станции функционировать в двух режимах: создавать собственную точку доступа для прямого подключения пользовательских устройств или подключаться к существующей домашней сети, получая собственный IP-адрес в локальной подсети. Все элементы базовой станции заключены в корпус, напечатанный на 3D-принтере, при этом предусмотрены отверстия для доступа к слоту SD-карты и разъему питания (рис.1).

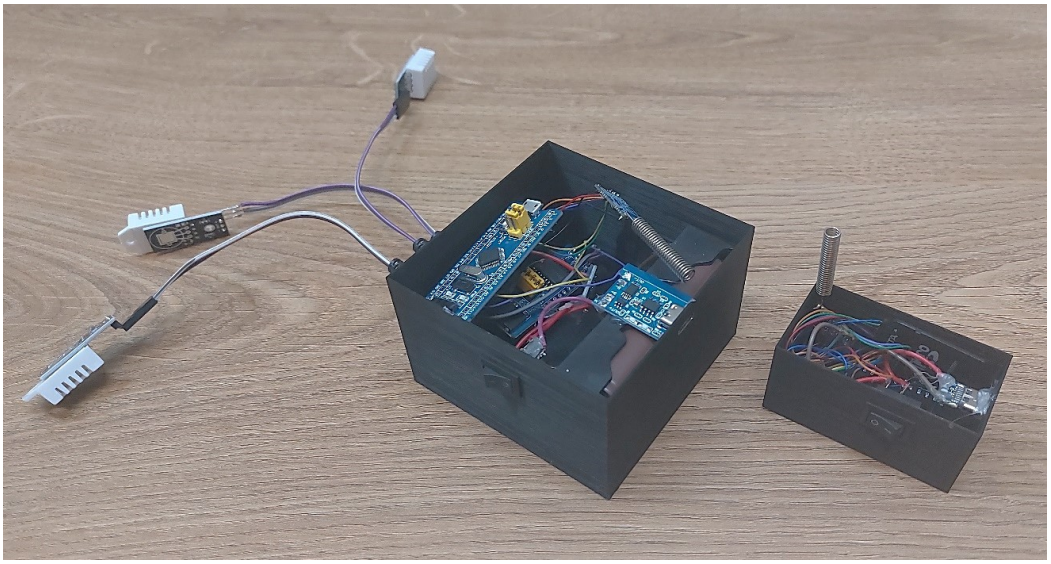


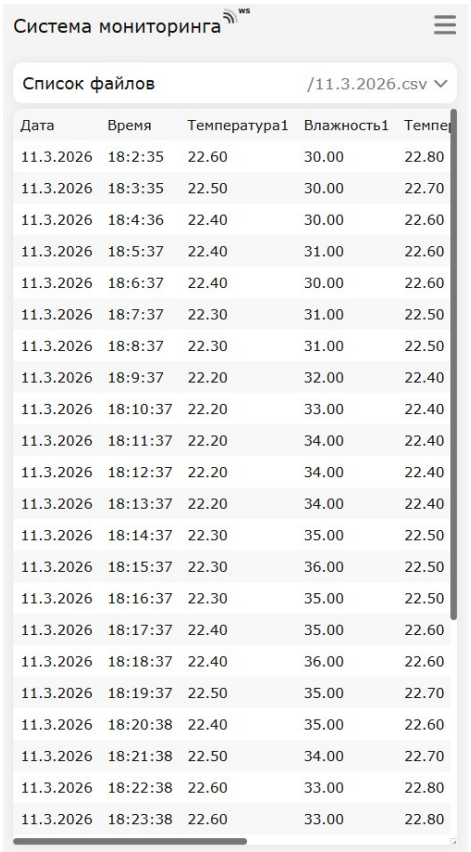
Рис. 1. Внешний вид разработанной системы

Работа системы автоматизирована и не требует вмешательства пользователя в процесс сбора данных. Логика работы разделена на три этапа.

Микроконтроллер STM32 пробуждается от сна и последовательно опрашивает все подключенные к нему датчики. После получения значений температуры и влажности микроконтроллер формирует пакет данных, содержащий показания всех датчиков, и отправляет его по радиоканалу LoRa на базовую станцию. Затем модуль переходит в режим низкого энергопотребления до следующего цикла измерения.

Базовая станция постоянно находится в режиме приема. При получении пакета данных от дистанционного модуля микроконтроллер NodeMCU обрабатывает его. Далее происходит запись в CSV файл на microSD-карте. Для удобства навигации каждый день автоматически создается новый файл с именем, соответствующим текущей дате. В файл дописывается новая строка, содержащая временную метку и показания всех датчиков. Это обеспечивает надежное хранение истории наблюдений даже при отключении питания. ESP8266 на базовой станции поднимает точку доступа или подключается к существующей локальной сети WiFi, выступая в роли веб-сервера. Пользователь может зайти с любого устройства, имеющего браузер, по IP-адресу станции.

Главная страница содержит перечень всех доступных файлов. Пользователь выбирает интересующую его дату, затем система считывает соответствующий CSV-файл с SD-карты и динамически формирует HTML-таблицу со всеми записями за этот день (рис.2).



Дата	Время	Температура1	Влажность1	Темпе
11.3.2026	18:2:35	22.60	30.00	22.80
11.3.2026	18:3:35	22.50	30.00	22.70
11.3.2026	18:4:36	22.40	30.00	22.60
11.3.2026	18:5:37	22.40	31.00	22.60
11.3.2026	18:6:37	22.40	30.00	22.60
11.3.2026	18:7:37	22.30	31.00	22.50
11.3.2026	18:8:37	22.30	31.00	22.50
11.3.2026	18:9:37	22.20	32.00	22.40
11.3.2026	18:10:37	22.20	33.00	22.40
11.3.2026	18:11:37	22.20	34.00	22.40
11.3.2026	18:12:37	22.20	34.00	22.40
11.3.2026	18:13:37	22.20	34.00	22.40
11.3.2026	18:14:37	22.30	35.00	22.50
11.3.2026	18:15:37	22.30	36.00	22.50
11.3.2026	18:16:37	22.30	35.00	22.50
11.3.2026	18:17:37	22.40	35.00	22.60
11.3.2026	18:18:37	22.40	36.00	22.60
11.3.2026	18:19:37	22.50	35.00	22.70
11.3.2026	18:20:38	22.40	35.00	22.60
11.3.2026	18:21:38	22.50	34.00	22.70
11.3.2026	18:22:38	22.60	33.00	22.80
11.3.2026	18:23:38	22.60	33.00	22.80

Рис. 2. Веб-интерфейс с таблицей архивных данных за выбранную дату

Разработанная система представляет собой готовое решение для владельцев небольших хозяйств, предлагая простой и надежный способ контроля микроклимата, способствующий повышению эффективности садоводства. Благодаря модульной архитектуре устройство обладает значительным потенциалом для дальнейшего расширения. В перспективе возможно объединение нескольких измерительных модулей в единую сеть с централизованным сбором данных и управлением, что позволит комплексно контролировать условия на всем участке. Дальнейшее развитие системы может включать интеграцию с исполнительными устройствами для автоматической коррекции параметров микроклимата, а также реализацию удаленного доступа к данным через интернет. Такой подход превращает локальное средство мониторинга в полноценную экосистему для интеллектуального ведения хозяйства.

Библиографический список

1. ***Гуськов, Г.А.*** Система мониторинга климатических параметров приусадебного участка / Г.А. Гуськов, А.Н. Вальков // Наука молодых: сборник трудов XVI Всероссийской научно-практической конференции. – Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2024. – С. 125-130.
2. ***Гуськов, Г.А.*** Беспроводной мониторинг температуры и влажности на приусадебном участке / Г.А. Гуськов // Научные перспективы-2025: сборник материалов Региональной молодежной научно-технической конференции. – Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2025. – С. 117.
3. ***Гуськов, Г.А.*** Разработка системы мониторинга климатических параметров на основе радиомодуля LoRa / Г.А. Гуськов // Промышленность и наука: синергия устойчивого роста: сборник статей по материалам XI Всероссийской научно-практической конференции. – Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2025. – С. 361-366.

РАЗРАБОТКА ИНКЛЮЗИВНОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ ЭКСКУРСИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ С АДАПТИВНЫМИ ФУНКЦИЯМИ

М.А.Кожевяткина, Т.В. Емельянова
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрен комплексный подход к созданию инклюзивной виртуальной платформы, направленной на устранение барьеров при доступе людей с ограниченными возможностями здоровья к культурному наследию. Описана архитектура программного решения, включающая три специализированные виртуальные зоны, адаптированные под различные нозологии пользователей. Рассмотрен программный стек для реализации адаптивного интерфейса, аудиогидов и видео-справочников.

***Ключевые слова*:** виртуальная реальность, инклюзивный дизайн, доступная среда, люди с ОВЗ. 3Д-моделирование, адаптивный интерфейс, культурное наследие.

Обеспечение равного доступа к культурным ценностям является одним из приоритетных направлений социальной политики современного государства. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики, в Российской Федерации проживает более 11 млн человек с инвалидностью, значительная часть которых сталкивается с серьезными препятствиями при посещении музеев и выставочных залов [1]. Физические барьеры, отсутствие тактильных экспонатов, недостаточная информационная поддержка для людей с нарушениями зрения и слуха создают ситуацию социальной изоляции, ограничивая возможности для личностного развития и интеграции в общество.

Федеральные законы № 181-ФЗ «О социальной защите инвалидов» и Федеральный закон № 419-ФЗ требуют от учреждений культуры обеспечивать доступную среду для всех категорий населения. Люди с ограниченной мобильностью должны иметь возможность свободно посещать такие места [3]. Но на практике выполнить эти требования оказывается сложно. Оборудовать исторические здания физически дорого. Также не хватает специализированных кадров. В таких условиях современные технологии становится важным инструментом, который помогает улучшить доступ к культуре.

Существуют похожие проекты виртуальных музеев. Например, «Виртуальный Русский музей» или *Google Arts & Culture.* Эти проекты демонстрируют высокий уровень визуализации. Но они ориентированы преимущественно на массового пользователя [2].

Функции для людей с ОВЗ представлены слабо. Нет специализированных сценариев навигации для людей с ментальными особенностями. Контент редко дублируется на жестовом языке. Интерфейсы не всегда соответствуют стандартам доступности веб-контента (*WCAG*).

Целью данной работы является разработка и внедрение инклюзивной виртуальной экскурсионной платформы, обеспечивающей равный доступ к объектам культурного наследия для пользователей с нарушениями зрения, слу-

ха, опорно-двигательного аппарата и когнитивными особенностями. Задачи проекта включают разработку модульного виртуального пространства с адаптивными зонами и внедрение мультимедийного сопровождения, учитывающего различные каналы восприятия информации.

Зона 1: Массовый пользователь

Первая комната предназначена для стандартной аудитории, не имеющей специфических ограничений здоровья. Здесь реализован полный спектр визуальных эффектов, высокая детализация окружения и расширенные возможности взаимодействия. Данная зона служит базой для сравнения и позволяет музею сохранять привычный формат для основной массы посетителей, одновременно предлагая альтернативы для других групп.

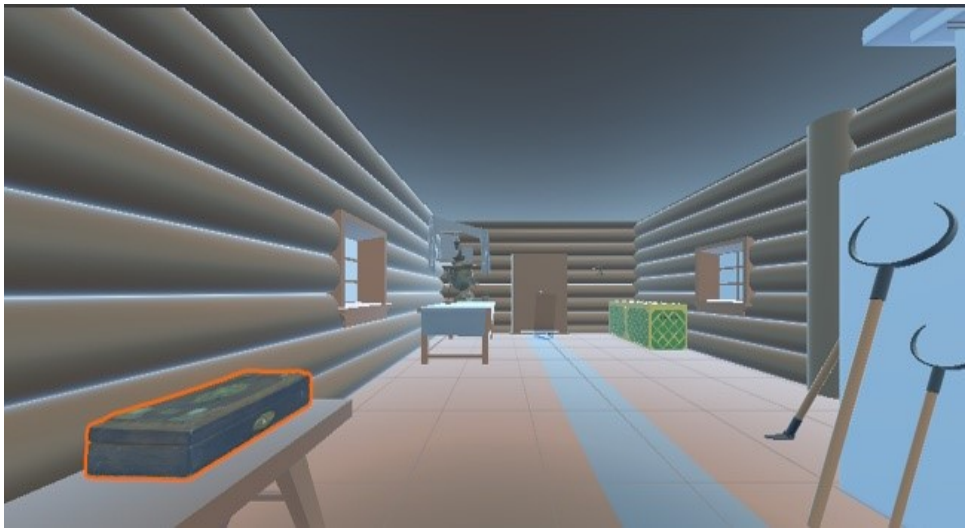


Рис. 1. Зона виртуальной платформы для массового пользователя

Зона 2: Пользователи с нарушениями опорно-двигательного аппарата и когнитивными особенностями

Вторая комната разработана с учетом потребностей людей, для которых важны комфорт навигации и снижение сенсорной нагрузки. Дизайн интерфейса данной зоны характеризуется сглаженными углами элементов управления, что подсознательно воспринимается как более безопасное и мягкое. Для интерфейса выбраны спокойные тона. Агрессивные контрасты исключены. Мерцания тоже не используются. Такие эффекты могут вызвать дискомфорт. Это важно для людей с ментальными особенностями. Также это касается людей с эпилепсией.

Навигация в этой зоне очень плавная. Резкие перепады высот исключены. Быстрые перемещения камеры не применяются. Маршруты сделаны простыми. Так пользоваться платформой комфортно. Это удобно для людей с нарушениями моторики. Им трудно управлять сложными интерфейсами. Также снижается нагрузка на восприятие. Похожие принципы адаптации уже тестировались. Это было в проекте «*VR*-музей «Истоки»». Тот проект помогал школьникам с профориентацией.

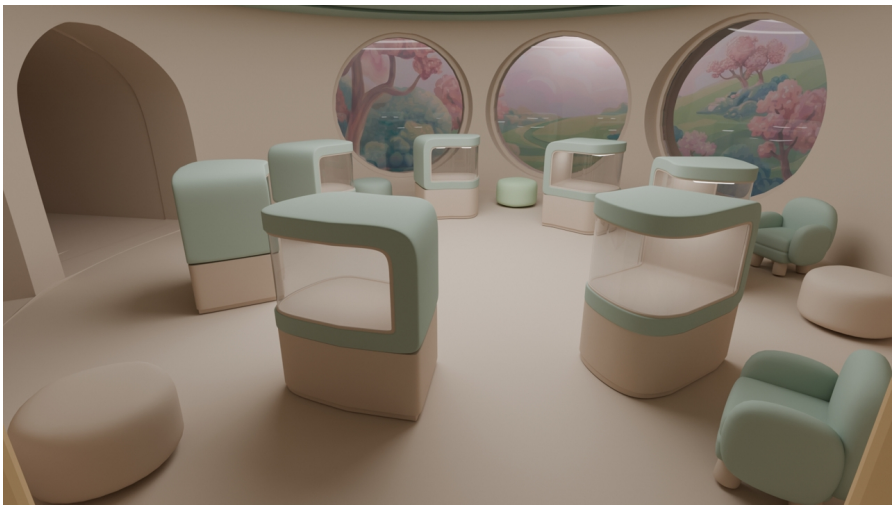


Рис. 2. Зона виртуальной платформы для людей с ОВЗ, не являющихся инвалидами по слуху и (или) по зрению

Зона 3: Пользователи с нарушениями зрения и слуха

Третья комната представляет собой наиболее технологически насыщенную среду. Она адаптирована для сенсорных ограничений. Для слабовидящих пользователей предусмотрен высококонтрастный режим интерфейса. Также предполагается возможность масштабирования шрифтов.



Рис. 3. Примерный интерфейс зоны виртуальной платформы для слабослышащих и слабовидящих

Для слабослышащих и глухих пользователей предусмотрена система субтитров. Навигация также продумана особо. Визуальные ориентиры сделаны крупными. Они имеют высокий контраст.

Важный элемент зоны – система аудиогидов. Звук воспроизводится при взаимодействии с экспонатом. Технически это работает через компонент *AudioSource* в *Unity*. Скрипт отслеживает нажатие на объект. Также фиксируется активация зоны триггера. Затем запускается аудиофайл с описанием. Для незрячих пользователей аудиодорожки особенные. Они содержат не только исто-

рическую справку. Есть подробное описание внешнего вида объекта. Описывается фактура и расположение в пространстве.

Платформа использует комплекс современных технологий. Они обеспечивают создание и визуализацию контента. Также возможна адаптация материалов. Интеграция контента происходит на игровом движке *Unity*. Платформа поддерживает разные устройства. Это ПК, мобильные гаджеты и *VR*-шлемы. Система скриптов на языке *C#* отличается гибкостью [4]. Архитектура приложения модульная. Это позволяет масштабировать проект. Новые выставочные залы добавляются легко. Базовый код переписывать не нужно.

Уникальной функцией платформы, находящейся в стадии активной разработки, является интеграция видео-справочников на жестовом языке для каждого экспоната. В виртуальном пространстве размещен интерактивный маркер. Он находится рядом с объектом. Пользователь активирует маркер. Запускается видеопоток с сурдопереводом.

Это решение закрывает важную нишу. Культурный контент становится доступнее для глухих людей. Текстовые субтитры не всегда удобны. Жестовый язык для них предпочтительнее.

Видео размещается через систему UI-панелей в Unity. Панели поддерживают воспроизведение медиа. Основной процесс экскурсии не прерывается.

Для обеспечения производительности в виртуальной среде без значительной потери детализации все модели обрабатываются в программном обеспечении *Blender*. Основной этап работ заключается в разработке виртуального пространства на игровом движке *Unity*. Гибкость и наличие мощных инструментов для работы с 3Д-графикой данной среды позволяют широко использовать все возможности программы при создании экскурсионной платформы.

Создается VR-пространство нового типа. Оно объединяет культурное и техническое наследие региона. Это повысит интерес молодежи к инженерным специальностям. В то же время интерес к науке тоже возрастет. Современные технологии дают шанс освоить новые компетенции, которые часто требуются в высокотехнологичных сферах.

Создание платформы происходит при поддержке гранта программы «Студенческий стартап». Для коммерческой реализации продукта уже создано юридическое лицо. В рамках гранта планируется предложить подписку образовательным и культурным учреждениям. Потенциальный рынок включает свыше 3000 государственных музеев России и множество организаций, работающих с детьми с ограниченными возможностями здоровья.

Предварительная оценка доходности проекта – около 6 млн рублей в год. Доход будет формироваться за счет продажи лицензий музеям, школам и реабилитационным центрам, а также участия в социальных грантах. Продукт подходит для удаленного доступа и может дополнять физические экспозиции, например, через планшеты на информационных стойках.

Платформу можно масштабировать и внедрять в музеях, учебных заведениях и центрах социальной адаптации по всей России. В дальнейшем ее дополнят виртуальными экскурсиями по историческим городам. Это позволит людям с ограниченными возможностями лучше участвовать в общественной жизни и

способствует сохранению и популяризации историко-культурного наследия страны [4].

Созданная инклюзивная виртуальная платформа представляет собой современный способ содействия социальной интеграции. Виртуальное пространство организовано в три отдельные зоны. Каждая зона подстроена под конкретные запросы посетителей. Для всех категорий пользователей обеспечивается удобство. В систему включены справочные видеоматериалы на жестовом языке. Дополнительно задействованы специализированные аудиогиды. Эти опции выделяют проект среди существующих аналогов. У большинства похожих продуктов подобные функции отсутствуют.

Запуск проекта способствует соблюдению законодательных норм о доступной среде. Культурное наследие фиксируется в цифровом виде. Уровень жизни людей с ограниченными физическими возможностями повышается.

Предусмотрено последующее развитие платформы. Проект распространят на остальные музеи региона.

Участники команды обладают требуемыми знаниями и практикой. Специалисты компетентны в области *VR* и 3Д-моделирования. Они владеют навыками работы с программным обеспечением. Их квалификация подтверждена участием в конкурсных отборах и грантовых программах.

Библиографический список

1. Федеральная служба государственной статистики: офиц. сайт. - URL: https://www.fedstat.ru/indicator/62496 (дата обращения: 10.03.2025).
2. Федеральный закон от 24.11.1995 № 181-ФЗ «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации»: офиц. сайт. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8559/ (дата обращения: 10.03.2025).
3. Федеральный закон от 01.12.2014 № 419-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам социальной защиты инвалидов»: офиц. сайт. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_171577/ (дата обращения: 10.03.2025).
4. ***Кожевяткина, М.А.*** Разработка инклюзивной виртуальной платформы / Зотов С.М., Раскаткин Я.А. // Научные перспективы-2025: материалы Региональной молодежной научно-технической конференции. - Н.Новгород, 2025. С 142-144.
5. ***Кожевяткина, М.А***. Разработка технокультурного VR-пространства «Истоки» / Зотов С.М., Раскаткин Я.А., Шергин В.В. // Промышленность и наука: синергия устойчивого роста: сборник статей по материалам XI Всероссийской научно-практической конференции – Нижний Новогород, 2025. С 350-355.

РАЗРАБОТКА ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

А.Н. Куклин, Ю.А. Гуськова
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрена образовательная платформа для обучения детей с ограниченными возможностями здоровья. Описаны ее функциональные возможности, а также варианты модернизации системы.

Ключевые слова: инклюзивное образование, коррекционная педагогика, цифровые технологии, игровые методики.

Развитие компьютерных технологий значительно повлияло на образовательную сферу. Современные мультимедийные формы представления информации, объединяющие в себе графику, видео, звук и текст постепенно заменяют собой традиционные демонстрационные и иллюстративно-объяснительные формы предоставления информации. В ходе ряда исследований было подтверждено, что компьютеризация (особенно геймификация) образовательного процесса позитивно сказывается на эффективности обучения детей. Дети начинают проявлять инициативу при поиске новой информации, а также лучше усваивают ее [1].

Современные компьютерные технологии также начинают активно использоваться и в коррекционной педагогике. Детям с ограниченными возможностями здоровья (в частности, детям с интеллектуальными нарушениями) нравится интерактивный формат обучения. Детей привлекает красочный интерфейс приложений и звуковое сопровождение действий. Помимо этого, образовательные приложения могут предоставлять очень гибкие инструменты для работы в конкретной области коррекционной педагогики.

Не смотря на все преимущества компьютерных технологий, проблема их нехватки остается актуальной до сих пор. Существующие проекты либо слишком сложные для работы в коррекционных центрах, либо не предоставляют необходимую функциональность. Педагогам в коррекционных центрах необходимо постоянно отслеживать успехи каждого ребенка, что в настоящее время делается вручную. Все записи ведутся в электронных таблицах и поэтому быстро теряют актуальность. Проведенный опрос в арзамасском доме социального обслуживания детей «Маяк» показал, что педагоги и другие специалисты часто сталкиваются с проблемами при работе с данными о воспитанниках.

Зачастую штат сотрудников сильно ограничен, вследствие чего растет нагрузка на каждого педагога, усложняя тем самым оценку возможностей каждого ребенка с максимальной точностью. Из-за отсутствия инструментов, позволяющих автоматически оценивать уровень и динамику развития каждого воспитанника, образовательная программа в коррекционных центрах может не удовлетворять реальным потребностям и возможностям ребенка.

После изучения рынка существующих решений и анализа вышеописанных проблем было принято решение о разработке образовательной платформы, которая бы объединяла в себе множество учебных курсов, а также имела широкий функционал для сотрудников коррекционных центров. Перед разработкой рассматриваемого проекта был проведен ряд консультаций с педагогами-дефектологами и психологами арзамасского дома социального обслуживания детей «Маяк».

Было предложено разработать образовательный модуль «цифровые альбомы», который представляет собой коллекцию альбомов с фотографиями, сделанными в этом центре. Просмотр альбомов является проверенной методикой и оказывает положительный эффект на всестороннем развитии детей с ОВЗ. Благодаря фотографиям дети познают окружающий мир – места, которые они посещали, людей, с которыми они знакомы, и т.д. Любую информацию на экране ребенок может прочитать, прослушать или посмотреть символы Макатон – схематичные изображения для создания ассоциаций. Разработанная система позволяет педагогам самим создавать цифровые альбомы, загружать в них фотографии, а также добавлять информацию о каждой фотографии. На рис. 1 изображен интерфейс формы создания цифрового альбома.

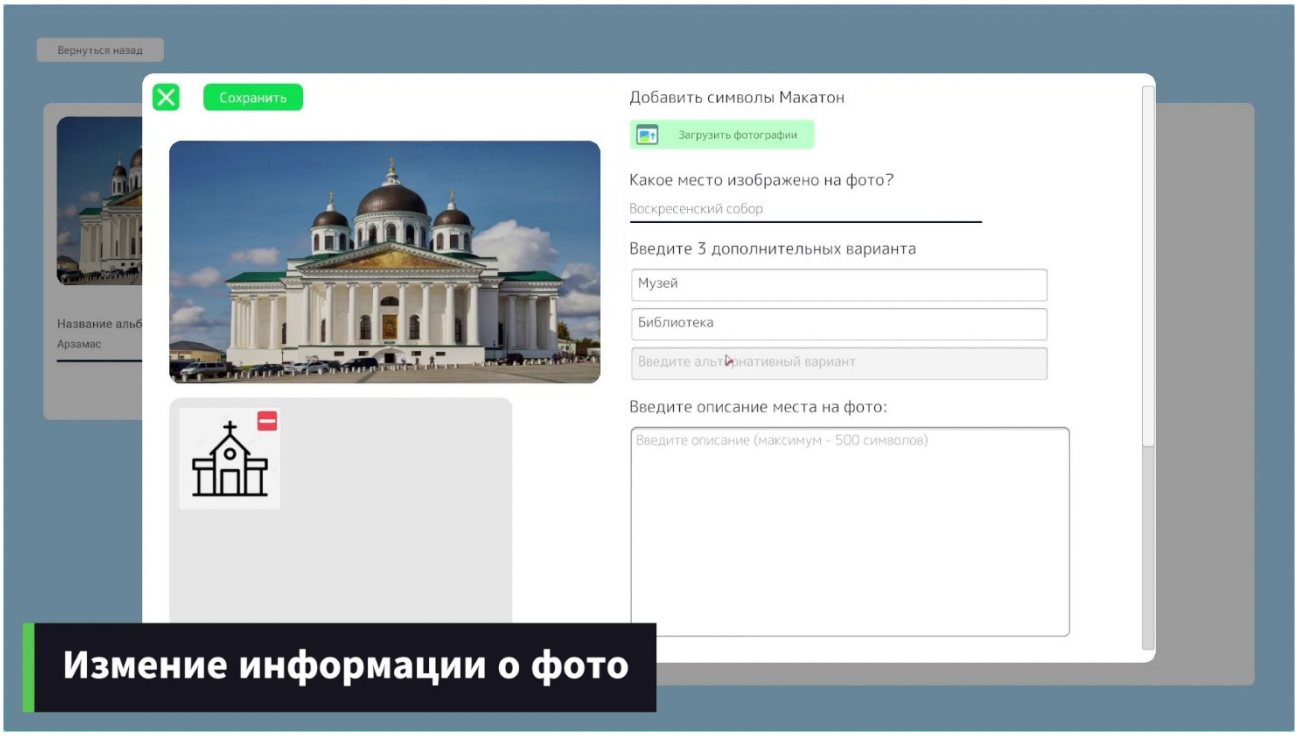


Рис. 1. Интерфейс формы создания цифрового альбома

Во время прохождения уроков собирается статистика – сколько ошибок и правильных ответов было сделано, какие именно темы вызывают затруднения. Статистика учеников хранится в их профилях, доступ к которым имеют педагоги и администратор. Собранная статистика позволяет педагогам формировать отчеты или же вести паспорт воспитанника – карточку, содержащую всю важ-

ную информацию о ребенке, такую как история болезней, его увлечения и динамика развития.

Для удобного взаимодействия пользователей с разрабатываемой системой была разработана система учетных записей. Это необходимо для разграничения ролей пользователей и повышения безопасности личных данных. Всего в приложении предусмотрено три вида профилей – воспитанника, педагога и администратора. Причем, администратор организации может создавать собственные роли и устанавливать им права.

Каждый профиль обладает своим набором возможностей. Профиль воспитанника позволяет просматривать личную информацию, а также проходить образовательные модули.

Профиль педагога позволяет управлять учебным процессом в приложении. Есть возможность формирования и просмотра учебных групп. Помимо этого, данный тип профиля имеет расширенный доступ к статистике и формированию отчетности. Педагог может посмотреть подробную информацию о каждом ребенке, а также его успеваемость. На основе этих данных специалист может принять решение по корректировке учебной программы. Разрабатываемая система позволяет создавать новый учебный материал в учебных модулях. Интерфейс профиля педагога представлен на рис. 2.

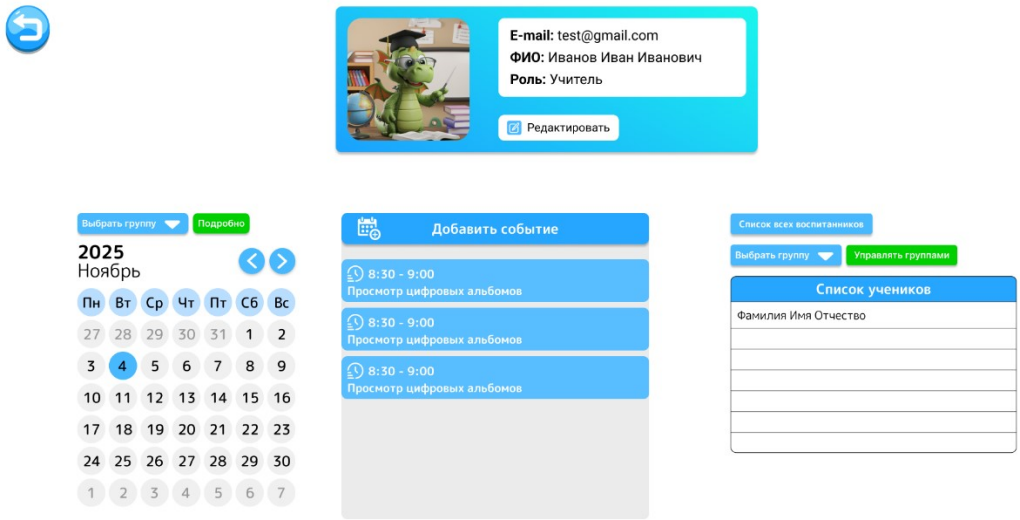


Рис. 2. Интерфейс профиля педагога

Обновленная версия панели администратора позволяет автоматизировать рутинные процессы внутри образовательной организации. Раздел «Пользователи» предназначен для создания и управления учетными записями всех участников – педагогов, воспитанников и других сотрудников. Администратор получает возможность добавлять новых пользователей, изменять их данные, назначать роли и права доступа, что позволяет гибко регулировать возможности взаимодействия с системой. Каждому пользователю можно назначить индивидуальные параметры входа и привязать его к конкретной группе или учебному модулю. Также можно фильтровать пользователей по их роли, ФИО и электронной почте.

Раздел «Группы» предназначен для распределения учеников на учебные группы, а также для управления ими. Администратор может создавать учебные группы, назначать в них педагогов и добавлять детей, формируя состав на основе возраста, уровня развития или образовательной программы. Для каждой группы отображается список участников. Добавлена возможность связывать группы с конкретными учебными модулями, что позволяет легко контролировать выполнение программ и оценивать их эффективность.

В разделе «Отчеты» администратор может формировать отчеты об успеваемости воспитанников, активности педагогов и общей эффективности учебного процесса. Отчеты включают такие параметры, как среднее время выполнения заданий, количество ошибок, посещаемость, динамику развития когнитивных навыков и результаты прохождения викторин. Система автоматически визуализирует данные в виде графиков. Реализована функция генерации индивидуальных отчетов по каждому ребенку, где отображается история его достижений, а также отчетов по группам и по преподавателям. Для удобства предусмотрена возможность экспорта отчетов в формате PDF или Excel, а также отправки их напрямую на электронную почту руководства учреждения.

Реализуется приложение путем объединения двух составляющих – серверной и клиентской частей. Серверная часть разработана с использованием языка программирования JavaScript на платформе Node.js. Взаимодействие с клиентом происходит через REST API – архитектурный стиль взаимодействия компонентов распределенного приложения в сети. Данный подход позволяет реализовать обмен данными с помощью формата JSON [2]. Сервер взаимодействует с базой данных MySQL, получает данные и передает их клиенту. Клиент разрабатывается на движке Unity, который упрощает разработку приложений на C#. Несмотря на необходимость связи с удаленным сервером, приложение может работать локально без подключения к интернету, сохраняя данные на устройстве, а не на сервере. Схема архитектуры образовательной платформы представлена на рис. 3.

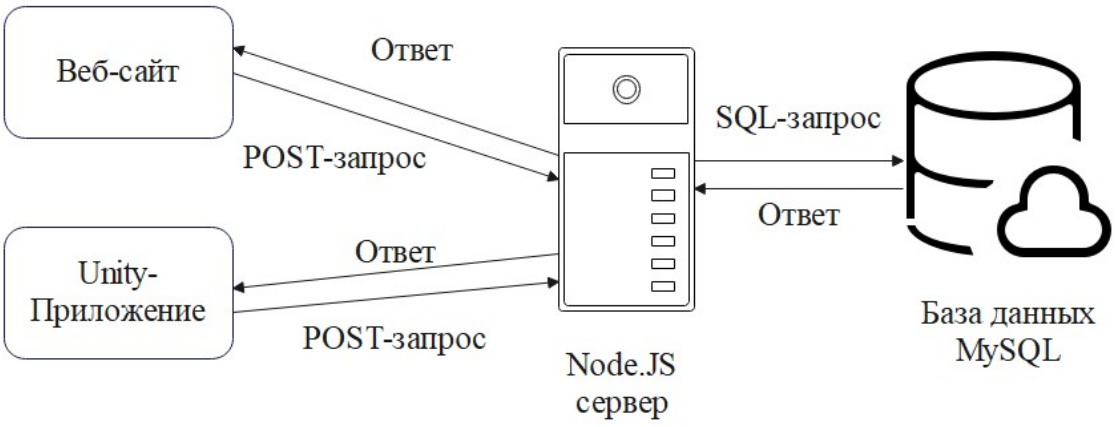


Рис. 3. Схема архитектуры образовательной платформы

Первая рабочая версия уже была разработана и успешно апробирована в ГБУ «Арзамасский ДСОД «Маяк». Сотрудники центра высоко оценили разработанный проект, и было принято решение развивать его дальше, путем расширения функционала панели администратора и системы профилей. Это позволит сотрудникам коррекционных центров работать более эффективно в условиях ограниченности как материальных ресурсов, так и штата сотрудников. Попутно добавляются новые учебные модули, благодаря которым дети с ограниченными возможностями могут получать качественное всестороннее образование.

Библиографический список

1. **Аринова, К.Н.** Роль компьютерных технологий в развитии и обучении детей с нарушениями зрения / К. Н. Аринова, А. С. Кударинова // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2017. – № 4. – С. 11-14.
2. Яндекс практикум [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-rest-api-i-kak-rabotaet/. – (дата обращения: 22.10.2025).

РАЗРАБОТКА ТРАНСПОРТИРУЕМОГО ИНКУБАТОРА ДЛЯ МЛАДЕНЦЕВ

А.М. Кангин
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассмотрен вопрос разработки инкубатора для обеспечения контролируемой тепловой среды во время транспортировки младенцев будь то в помещениях больницы или между медицинскими учреждениями.

Ключевые слова: транспортировка младенцев в помещениях больницы, транспортный инкубатор, автоматическая подачей кислорода, поддержание оптимальной температуры.

Инкубаторы для новорожденных представляют собой высокотехнологичное оборудование, обеспечивающее оптимальные условия для выхаживания недоношенных детей и младенцев в критическом состоянии. Ключевая функция этих устройств заключается в поддержании точного баланса температуры, влажности и кислорода, а также в создании защитного барьера от инфекций, шума и перепадов воздуха.

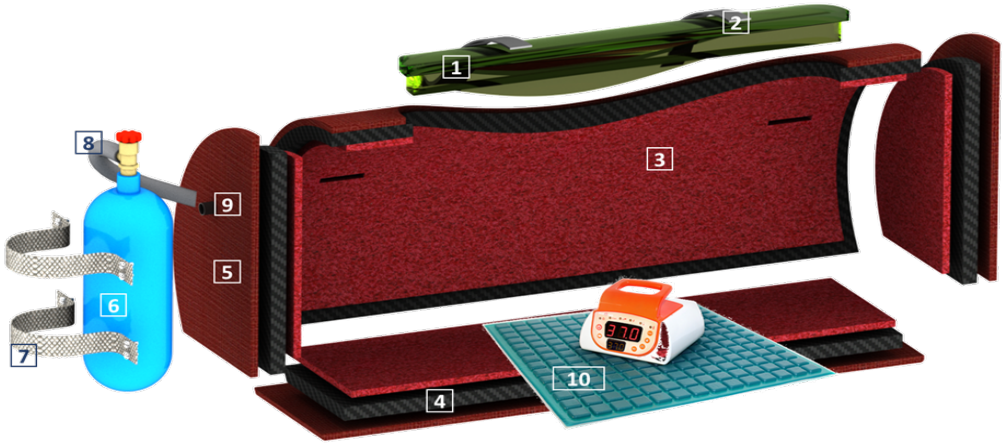
Рынок данного оборудования классифицируется на три основных типа: стационарные (обычные), гибридные и мобильные (транспортные) системы. На сегодняшний день сегмент стандартных инкубаторов удерживает лидерство в сфере неонатологии. Благодаря своей надежности и повсеместному внедрению в медицинских центрах по всему миру, они остаются базовым инструментом для стабилизации состояния новорожденных.

Гибридные инкубаторы сочетают в себе функции закрытых инкубаторов, а лучистые обогреватели открытого типа набирают обороты в отделениях интенсивной терапии интенсивной терапии. Эти системы снижают потребность в переносе хрупких новорожденных между устройствами, обеспечивая термическую стабильность, минимизируя стресс и повышая эффективность рабочего процесса для медицинских работников.

Транспортные инкубаторы предназначены для обеспечения контролируемой тепловой среды для новорожденных во время транспортировки, будь то в помещениях больницы (например, из родильного зала в отделение интенсивной терапии) или между медицинскими учреждениями. Оснащенные аккумуляторными системами и функциями мониторинга, эти инкубаторы обеспечивают безопасность и устойчивость во время транспортировки.

Разработанный транспортный инкубатор для новорожденных представляет собой кувез (неонатальный инкубатор) т.е. приспособление с автоматической подачей кислорода и с поддержанием оптимальной температуры, в которое помещают недоношенного или заболевшего новорожденного при транспортировке его в медицинское учреждение.

Конструкция разработанного транспортного инкубатора для новорожденных приведена на рис. 1.



1– съемная крышка; 2 – ремни крепления крышки; 3 – внутренний слой из пористой резины; 4 – жесткий каркас из ударопрочного углепластика; 5 – наружный слой из пористой резины; 6 – баллон с кислородом; 7 – хомуты крепления баллона; 8 – шланг подачи воздуха; 9 – входной штуцер;9 – система обогрева на гелевой пластине

Рис. 1. Конструкция разработанного транспортного инкубатора для новорожденных

Корпус транспортного инкубатора состоит из жесткого каркаса из ударопрочного пластика *4*, наружный слой которого *5* и внутренний слой *3* выполнены из упругого материала. Прозрачная крышка *1* крепится к корпусу инкубатора двумя ремнями крепления крышки *2*. Баллон с воздухом 6 прикреплен к корпусу эвакуационной люльки двумя хомутами крепления баллона *7*. Баллон с воздухом *6* имеет входной штуцер *8*, к которому прикреплен шланг подачи воздуха *9*, который входит во внутреннюю полость эвакуационной капсулы через отверстие, выполненное в корпусе. Для удержания инкубатора к корпусу прикреплены два ремня для переноски.

При разработке переносного транспортного инкубатора использованы технологии, материалы и особенности конструкции, которые обеспечивают защиту от механических опасностей, сохранение тепла и подачу кислорода в требуемой концентрации во время транспортировки новорожденных весом до 7 кг.

Особенности разработанного переносного транспортного инкубатора для новорожденных:

– несложная облегченная конструкция из углепластика вес 7 кг;

– амортизирующая внутренняя конструкция с мягкими ремнями для фиксации младенца;

– соответствие самым последним стандартам краш-тестов;

– обеспечивает стабильность снабжения кислородом;

– обеспечивает стабильность температуры новорожденного;

– уникальная приспособляемость к размещению в транспорте (машине скорой помощи, вертолете, самолете);

– невысокая стоимость по сравнению со стоимостью стандартного транспортного инкубатора.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫГРУЗКИ ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ 3D-ПРИНТЕРА

В.В. Шергин
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Арзамасский политехнический институт

В статье рассматривается проблема автоматизации постобработки в аддитивном производстве. Представлена разработка трехкоординатного манипулятора для автоматического извлечения готовых изделий из рабочей зоны FDM–принтера. Описана кинематическая схема, проведен динамический расчет и выбор приводов. Результаты моделирования подтверждают соответствие разработанной системы заданным техническим требованиям по производительности и грузоподъемности.

Ключевые слова: *FDM–печать, автоматизация выгрузки, трехлинейный манипулятор, шаговый привод, динамический расчет, 3D–моделирование*

Аддитивные технологии, и, в частности, метод послойного наплавления, в настоящее время активно внедряются в различные отрасли промышленности от машиностроения до медицины [1]. Основными преимуществами FDM – печати являются низкая стоимость оборудования и расходных материалов, простота эксплуатации и возможность изготовления деталей сложной геометрической формы [2]. Однако при организации серийного или мелкосерийного производства с использованием нескольких 3D-принтеров возникает проблема низкой эффективности их использования.

Анализ производственного цикла показывает, что время непосредственной печати изделия составляет лишь часть общего времени занятости оборудования. Значительные простои связаны с выполнением вспомогательных операций: снятие готовой детали вместе с подложкой (платформой) из рабочей камеры, очистка платформы, установка новой подложки для следующего цикла. В большинстве случаев эти операции выполняются вручную оператором, что требует его постоянного присутствия и приводит к простоям оборудования в ночное время и в перерывах между сменами

Целью данной работы является проектирование автоматизированной системы выгрузки на базе трехлинейного манипулятора, способной обслуживать два FDM – принтера и обеспечивать полный цикл замены подложки за время, не превышающее 2 минут

Разрабатываемая автоматизированная система выгрузки предназначена для работы в составе участка, обслуживающего два FDM–принтера с областью построения 256x256x256 мм. На основании анализа производственной необходимости были сформулированы следующие технические требования.

1. Максимальная масса изделия вместе с подложкой не более 1 кг.
2. Полное время цикла (снятие готового изделия с подложкой и установка чистой подложки) не более 120 секунд.
3. Электрический, на базе шаговых двигателей (обеспечение точности позиционирования от 0,1 до 0,2 мм при минимальной стоимости).
4. Количество обслуживаемых принтеров – 2 единицы.

5. Режим работы – автоматический, с возможностью интеграции в общую систему управления участком.

Анализ компоновки оборудования показал, что наиболее рациональной является декартова система координат с последовательным расположением осей [3]. Для минимизации инерционных масс и обеспечения жесткости конструкции была предложена кинематическая схема с перемещением по трем линейным координатам:

- ось X – горизонтальная продольная. Перемещает всю вертикальную стойку вдоль линии расположения принтеров;
- ось Z – вертикальная. Обеспечивает подъем и опускание захватного устройства до уровня платформы принтера;
- ось Y – горизонтальная поперечная. Реализует задвигание и выдвигание захвата непосредственно в рабочую зону принтера.

Принцип работы системы заключается в следующем: манипулятор по оси X позиционируется напротив принтера, ось Z опускает захват на уровень стола, ось Y выдвигается, фиксирует подложку и извлекает ее. Затем, после перемещения в зону хранения или накопителя, цикл повторяется в обратном порядке для установки чистой подложки.

С помощью программного обеспечения КОМПАС–3D создана параметрическая 3D–модель (рис. 1), позволившая оценить массогабаритные характеристики и выполнить проверку собираемости узлов.

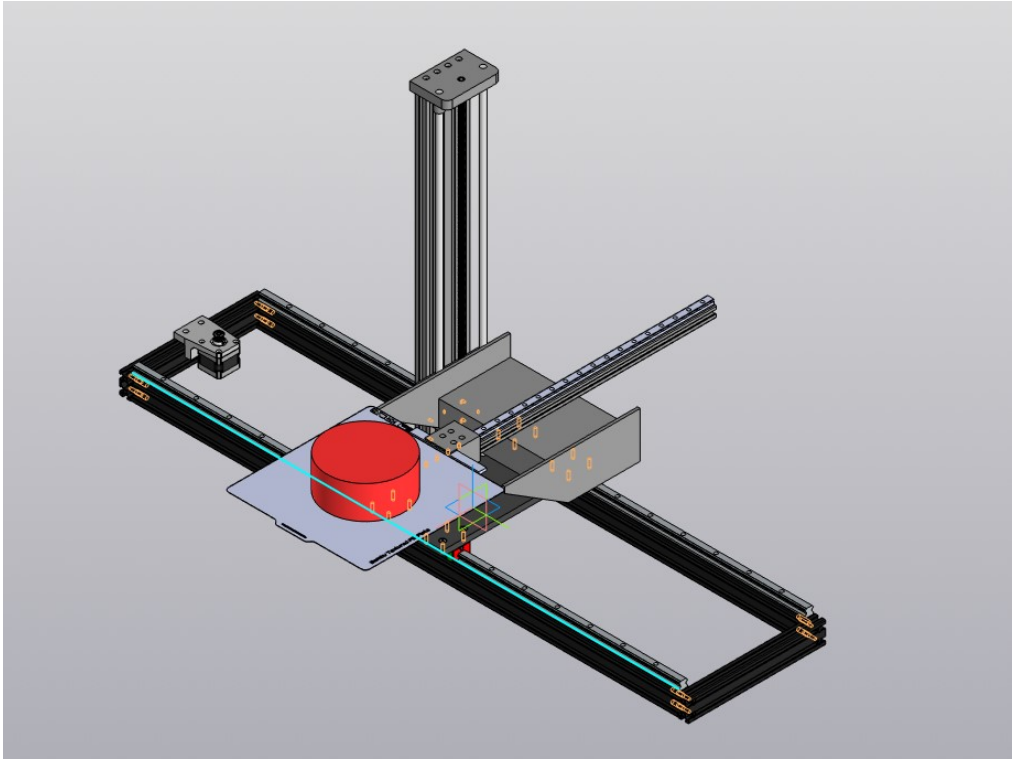


Рис.1. Параметрическая 3D-модель манипулятора

Ключевым этапом проектирования являлся расчет требуемых моментов на валах двигателей. С помощью инструментов CAD-системы были определены массовые характеристики подвижных узлов:

- масса узла оси Y (с захватом и полезной нагрузкой) m_y= 4,7 кг;
- масса узла, перемещаемого по оси Z (включая всю конструкцию оси Y) m_z= 9,0 кг;
- масса узла оси X – m_x =10,5 кг

Для расчета были приняты следующие параметры движения: линейная скорость V_{max}= 0,2 м/с (для обеспечения цикла в 120 с), ускорение а= 0,5 м/с. Привод осуществляется по осям X и Y через зубчато–ременную передачу (радиус шкива $r_ш$= 0,01 м), по оси Z – через винтовую передачу (шаг винта P= 0,002 м).

Требуемый момент двигателя определялся как сумма момента инерционных сил, момента сил трения и, для вертикальной оси, момента сил гравитации. Результаты расчета сведены в табл.1.

Таблица 1

Результаты динамического расчета

Ось	Масса узла, кг	Скорость макс., м/с	Требуемый момент, Н·м	Выбранный двигатель	Момент удержания, Н·м	Запас прочности
X	10,5	0,2	0,089	Nema 17	0,48	5,4
Y	4,7	0,1	0,040	Nema 17	0,30	7,5
Z	9,0	0,02	0,035	Nema 23	0,48	13,7

Для подтверждения выполнения требования по времени цикла была составлена временная диаграмма перемещений на максимальные расстояния (с учетом разгона и торможения). Расчетное время одного полуцикла (снятие подложки) составило:

$$T = t_x+t_z+t_y+t_{захв} = 5,1 + 40 + 10,4 + 2 = 57,5 \text{ с.}$$

С учетом обратного хода для установки подложки и перемещения между принтерами полное время цикла оценивается в 110-115 секунд, что полностью удовлетворяет техническому заданию

В ходе выполнения работы была разработана конструкция трехлинейного манипулятора для автоматизации процесса выгрузки готовых изделий из FDM-принтеров.

Предложенная кинематическая схема и компоновка устройства обеспечивают принципиальную возможность обслуживания двух принтеров и выполнения полного цикла замены подложки. Созданная трехмерная модель позволяет визуализировать конструкцию и подтверждает собираемость основных узлов. Выполненные динамические и прочностные расчеты показали работоспособность механической части системы.

Вместе с тем, необходимо отметить, что в рамках данной работы основное внимание уделялось проектированию механической составляющей. Представленная конструкция требует дальнейшей доработки в части программного обеспечения и электронной компонентной базы. Для полноценного функционирования системы необходимо разработать алгоритмы управления движением, реализовать систему датчиков обратной связи (концевые выключатели, датчики положения), а также создать интерфейс взаимодействия с контроллерами FDM-принтеров. Решение этих задач позволит перейти от механической модели к полнофункциональному автоматизированному комплексу, готовому к эксплуатации.

Библиографический список

1. ***Зленко, М.А.*** Аддитивные технологии в машиностроении / М. А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
2. ***Шишковский, И.В.*** Основы аддитивных технологий высокого разрешения / И.В. Шишковский. – СПб.: Питер, 2020. – 400 с.
3. ***Черпаков, Б.И.*** Основы робототехники: учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / Б.И. Черпаков.; – М.: Академия, 2014. – 256 с.