

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

Автоматизация, телекоммуникации, информационные технологии и программное обеспечение 2025 (ATITS 2025)

Материалы международной
научно-практической конференции

ЯЛТА
28 – 31 октября 2025 г.

Симферополь 2025

Автоматизация, телекоммуникации, информационные технологии и программное обеспечение 2025 (ATITS 2025): материалы международной научно-практической конференции (28-31 октября 2025 г.) / отв. редактор В.В. Дядичев. – Симферополь: ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», 2025. – 122 с.

Редакционная коллегия

Менюк Сергей Григорьевич, кандидат экономических наук, доцент, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»;

Мельник Анастасия Юрьевна, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»;

Пояркова Ирина Владимировна, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского».

Настоящий сборник составлен по итогам Международной научно-практической конференции «Автоматизация, телекоммуникации, информационные технологии и программное обеспечение 2025» (ATITS 2025), состоявшейся в г. Ялта 28-31 октября 2025 г. Материалы предназначены для научных и педагогических работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов с целью применения в научно-исследовательской и педагогической деятельности.

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законодательства об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов.

При перепечатке материалов статей международной научно-практической конференции ссылка на материалы статей обязательна

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1 Автоматизация технологических процессов и производств (в машиностроении, нефтегазовой отрасли, металлургии, энергетике и др.)	5
<i>Гришкевич И.А., Комаров А.Г.</i> Разработка механизмов для автомата по приему контейнеров для самовзятого биоматериала	5
<i>Толоконский А.О., Меньюк Д.С.</i> Совершенствование процессов пуска наладки автоматических регуляторов АСУ ТП энергоблока АЭС с использованием имитационного моделирования	9
<i>Халадзян Н.В., Маргарян С.М., Комаров А.Г., Гришкевич И.А.</i> Концепция создания программно-аппаратного комплекса для проведения анализа на энтеробиоз	13
Секция 4 Оборудование и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики	18
<i>Степанов С.Т.</i> Использование смартфонов как инструмента для измерения физических величин (скорость движения, частота колебаний)	18
<i>Палоник А.А.</i> Построение систем мониторинга качества воздуха с использованием дешевых газовых сенсоров	23
<i>Южанина А.К.</i> Использование микроконтроллеров (Arduino, ESP32) для построения простых измерительных систем	28
<i>Пасюта А.В.</i> Обзор современных сенсоров для измерения биометрических параметров (пульс, кислород в крови, шагомер)	33
<i>Кожичкин В.М.</i> Разработка цифрового термометра с функцией передачи данных через Bluetooth	39
Секция 7 Математическое моделирование технологических процессов и технических систем	42
<i>Скринникова А.В., Киричевский Р.В.</i> Построение модели управления динамическим объектом с использованием регрессии гауссовских процессов	42
<i>Сараев П.В.</i> Математическое ремоделирование и его приложение к задачам управления многоэтапными процессами	46
Секция 10 Телекоммуникации и связь	50
<i>Савельев М.А., Бредихина Е.В., Колбая К.Ч., Тарасов М.В.</i> Расширение возможностей по адаптивному управлению скоростью манипуляции в параллельных высокоскоростных модах декаметрового радиосвязи	50
Секция 11 Интеллектуальные и цифровые технологии и системы	56
<i>Коновалова В.С., Ваганов Н.А., Спиридонов Е.М., Раджабов С.З.</i> Получение данных о скорости кислотной коррозии стали с помощью чат-ботов	56
<i>Мойдунов Т.Т., Сагымбаев А.А., Саримсаков А.А., Матисаков Ж.К., Эркинбаева Н.А., Асанова С.О.</i> О цифровом кодексе Кыргызской Республики: цели, структура и перспективы применения	63
Секция 12 Вычислительный интеллект и интеллектуальный анализ данных	70
<i>Kurachkaa K., Xuemei Wang, Huanhai Rena</i> A Python-Implemented Algorithm for Three-Dimensional Reconstruction of the Human Lumbar Spine from DICOM CT Data	70

Секция 15 Информационная безопасность	73
<i>Когос К.Г.</i> О подходе к оценке эффективности средств противодействия утечке информации по скрытым логическим каналам в сетях пакетной передачи данных	73
<i>Кюннер А.П.</i> Разработка модели программного комплекса противодействия кибератакам с применением социальной инженерии	77
Секция 17 Информационные системы и технологии в образовании.....	82
<i>Зиневич С.А.</i> Сравнение точности измерения аналоговых и цифровых мультиметров в учебной практике.....	82
<i>Хусаинов Н.Ш., Балабаева И.Ю., Шкурко А.Н., Кривша В.В., Дроздов С.Н.</i> Применение средств автоматизации проверки программ при подготовке студентов ИТ-направлений: опыт Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета.....	86
Секция 19 Компьютерное моделирование	94
<i>Хусаинов Н.Ш., Шкурко А.Н., Дроздов С.Н., Лутай В.Н.</i> Компьютерное моделирование процессов обработки и визуализации изображений с гидролокатора бокового обзора с синтезированной апертурой в среде MATLAB	94
<i>Клецова Е.И., Коваленко Е.С.</i> Оптимизация автоматического проектирования электрических схем	102
Секция 21 Обработка данных и информационные системы.....	106
<i>Говорков А.С., Токарев Д.О.</i> Принципы организации эффективного взаимодействия между подразделениями в проектной организации с учетом требований СМК.....	106
<i>Фролов К.В., Инаходова Л.М.</i> Применение метода бесконтактного акустического контроля для одновременной диагностики электрооборудования отсека ячейки КРУ 6-10 кВ	112
<i>Фролов К.В., Инаходова Л.М.</i> Разработка методики контроля работоспособности измерительных каналов ИИС непрерывной диагностики КРУ электрических подстанций..	119

Секция 1

**Автоматизация технологических процессов и производств
(в машиностроении, нефтегазовой отрасли, металлургии,
энергетике и др.)**

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ АВТОМАТА ПО ПРИЕМУ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ САМОВЗЯТОГО БИОМАТЕРИАЛА

Гришкевич И.А.¹, Комаров А.Г.²

ГБУЗ города Москвы «Московский научно-практический центр лабораторных исследований Департамента
здравоохранения города Москвы»,
115580, г. Москва, Россия

¹инженер отдела автоматизированных систем управления;
<https://orcid.org/0009-0007-0160-2555>.

²главный внештатный специалист по клинической лабораторной диагностике ДЗМ,
директор ГБУЗ «МНПЦЛИ ДЗМ»; <https://orcid.org/0009-0000-8597-7125/>.

Аннотация. Преаналитический этап продолжает оставаться главным источником ошибок в современной лабораторной диагностике. Несмотря на то, что аналитическая стадия высоко автоматизирована, процессы, которые делаются людьми: взятие, маркировка, транспортировка и учет биоматериала, - приводят к 46 – 70% [1-4] всех лабораторных ошибок, включая потерю образцов и ошибки идентификации пациентов. Это вызывает высокие диагностические и клинические риски, временные задержки и экономические убытки, что делает автоматизацию преаналитики стратегической необходимостью для повышения качества, безопасности и эффективности лабораторной службы.

Ключевые слова: разработка медицинского оборудования; автоматизация; преаналитический этап; лабораторная диагностика; механизмы приёма пробирок; робот-манипулятор; система хранения биоматериалов.

Цель работы

Разработать механизмы для автоматизированной системы приема пробирок для анализов.

Материалы и методы

Разработка программно-аппаратного комплекса для автоматизации приема пробирок проводилась с применением методов инженерного проектирования, 3D-моделирования, программирования.

Аппаратная часть разрабатывалась с использованием средств автоматизированного проектирования. Были спроектированы и изготовлены следующие узлы: захват роботоманипулятора с подъемной осью и для перемещения пробирок; холодильная камера с выдвижными полками на основе зубчатых реек и шаговых двигателей; модуль приема пробирок с тремя отверстиями, заслонками с серводвигателем и направляющими; этикетировщик (Godex gtl100) с доработкой для работы с пробирками диаметром до 25 мм для наклейки этикетки со штрих-кодом.

Методы испытаний включали функциональное тестирование отдельных модулей, проверку механической надежности, интеграционное тестирование совместной работы компонентов и имитацию рабочих сценариев приема пробирок.

Результаты

В результате выполнения работы были разработаны и реализованы механизмы для программно-аппаратного комплекса приема пробирок.

Разработаны и изготовлены: модуль приема с тремя каналами для разных типов пробирок, оснащенный заслонками на сервоприводах и направляющими; подъемная ось для робота-манипулятора, обеспечивающая доступ к зонам приема, этикетирования и хранения; холодильная камера с тремя выдвижными полками, вмещающая до 12 штативов для пробирок; модифицированный этикетировщик для нанесения штрихкодов на пробирки диаметром до 25 мм.

Программная часть реализована на языках C++ и Python и включает систему управления механизмами и технологическими процессами (СУМЭЧ) для низкоуровневого управления приводами и обработки сигналов датчиков.

Описание объекта разработки

Объектом исследования и разработки является механизмы для программно-аппаратного комплекса, предназначенного для автоматизации операций приема первичных пробирок с биологическими образцами. Этот комплекс предназначен для приема трех видов КСБМ (Контейнер для самовзятого биоматериала). Фотография с видами КСБМ на Рисунке 1.



Рисунок 1. Виды КСБМ.

Автомат приема пробирок состоит из робота-манипулятора с контроллером и захватом для КСБМ, отсека для приема КСБМ, холодильника с выдвижными полками для хранения пробирок в штативах, принтера этикеток, контроллера, главного компьютера, сканера QR-кода, сенсорного экрана, принтера памяток и каркаса.

Автомат приема работает по следующему алгоритму:

Пациент сканирует код с направления\приложения\полиса ОМС, далее он выбирает какое КСБМ он хочет сдать и в автомате приема открывается соответствующий отсек для приема КСБМ. Если необходимо, то пациент выбирает какую КСБМ он сдает следующей, открывается нужный отсек и так далее, пока он не сдаст все КСБМ.

После сдачи одной КСБМ робот-манипулятор производит распечатку и приклеивание стикера со штрихкодом автоматически посредством этикетировщика, после чего робот-манипулятор перемещает КСБМ в камеру хранения.

Модуль приема пробирок устроен следующим образом: в пластине из оргстекла 3 отверстия под каждый из трех типов пробирок. С задней стороны отверстия крышки с электромагнитами. Снизу под отверстиями расположены направляющие, по которым скатываются пробирки. Для того, чтобы пробирки не вылетали, установлены ограничивающие заслонки.

Когда пациент выбрал КСБМ, которую он будет загружать, советующий сервопривод открывает заслонку. Далее пациент загружает пробирку в нужное отверстие, и она скатывается по направляющим вниз. После чего пробирку забирает робот-манипулятор.

3-Д модель модуля пробирок показана на рисунке 2.



Рисунок 2. Модуль приема 3х типов пробирок.

Подъемная ось для робота-манипулятора состоит из основы алюминиевого профиля, на которой закреплен шаговый двигатель, вращающий винт ШВП и подвижного кабель-канала для провода. Подвижная каретка поставлена на рельсовую направляющую.

Робот-манипулятор установлен на подъемной оси для доступа устройству приёма пробирок, этикетировщику и полочкам.

У этикетировщика максимальный диаметр пробирки, на которую он может наклеить этикетку, составляет 16 мм. Диаметр пробирки П32 составляет 25 мм. Для того чтобы этикетировщик смог наносить этикетку со штрихкодом на П32 была поставлена планка с двумя подшипниками вместо детали аппарата, удаление которой не влияет на работоспособность.

Камера хранения представляет собой холодильник с тремя выдвижными полочками (рисунок 3) внутри. В полочку помещается 4 штатива для пробирок, всего вмещается 12 штативов. Обеспечивает компактное хранение пробирок с анализами.



3. Выдвижные полочки под штативы.

Программная часть состоит из системы управления механизмами и технологическими процессами (СУМЭЧ).

Это специализированное программное обеспечение, разработанное на языке C++. Обеспечивает низкоуровневое управление приводами, обработку сигналов с датчиков, мониторинг статуса аппаратных модулей в реальном времени.

Результаты.

В результате выполнения работы был разработан и реализован все механизмы для программно-аппаратного комплекса приема пробирок.

Разработаны и изготовлены:

- Модуль приема с тремя каналами для разных типов пробирок, оснащенный электромагнитными заслонками и направляющими.
- Подъемная ось для робота-манипулятора, обеспечивающая доступ к зонам приема, этикетирования и хранения.
- Холодильная камера с тремя выдвижными полками, вмещающая до 12 штативов для пробирок.
- Модифицированный этикетировщик для нанесения штрихкодов на пробирки диаметром до 25 мм.

Программное обеспечение включает систему управления механизмами и технологическими процессами, обеспечивающую управление аппаратными модулями в реальном времени.

Проведены испытания всех узлов аппарата приема, подтвердившие их работоспособность и соответствие техническим требованиям.

Закключение.

В ходе выполнения научно-исследовательской работы была достигнута поставленная цель – разработаны и реализованы механизмы для программно-аппаратного комплекса для автоматизации приёма пробирок на преаналитическом этапе лабораторной диагностики.

Практическая значимость работы заключается в том, что данный автомат снизит долю ручного труда, уменьшит до минимума ошибки идентификации и маркировки, сократит время обработки биоматериалов и улучшит условия их хранения. Внедрение комплекса позволит повысить точность, скорость и экономическую эффективность преаналитического этапа.

На следующем этапе работы планируется адаптировать систему для работы с новыми типами расходных материалов и биологических образцов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Работа выполнена за счет средств гранта Правительства Москвы 0603-10/23 «Разработка программно-аппаратного комплекса (ПАК) по автоматизированной выдаче контейнеров для самовзятого биоматериала и их приему. (ПАК-Лабомат)».

Список литературы

1. Шень Н.П., Пышминцева Н.П., Пашаев А.Н., Минин А.С., Цирятьева С.Б., Витик А.А., Калиниченко А.П. Пути оптимизации преаналитического этапа лабораторной диагностики в интенсивной терапии и медицине катастроф // Клиническая лабораторная диагностика. 2019. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-optimizatsii-preanaliticheskogo-etapa-laboratornoy-diagnostiki-v-intensivnoy-terapii-i-meditsine-katastrof> (дата обращения: 02.09.2025).
2. Da Rin G. Pre-analytical workstations: a tool for reducing laboratory errors //Clinicachimicaacta. – 2009. – Т. 404. – №. 1. – С. 68-74.
3. Da Rin G. PRE-ANALYTICAL WORKSTATIONS AS A TOOL FOR REDUCING LABORATORY ERRORS //Journal of Medical Biochemistry. – 2010. – Т. 29. – №. 4.
4. Ebubekir B., Nurinnisa O., Nurcan K.B. Automation in the clinical laboratory: integration of several analytical and intralaboratory pre-and post-analytical systems //Turkish Journal of Biochemistry. – 2017. – Т. 42. – №. 1. – С. 1-13.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПУСКОНАЛАДКИ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ АСУ ТП ЭНЕРГОБЛОКА АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

Толоконский А.О., Менюк Д.С.

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ
Москва, Россия

Аннотация. Пусконаладка нового энергоблока представляет собой комплексную научно-техническую и инженерную проблему, характеризующуюся высокой степенью сложности и многогранности. Ключевые особенности данной задачи связаны с необходимостью подготовки и опытной проверки значительного номенклатуры технологического оборудования, ответственного за выполнение основных процессов в режиме штатной эксплуатации. Параллельно осуществляется наладка широкого спектра сложных систем, устройств специальной автоматики и контрольно-измерительных приборов, что является обязательным условием для обеспечения соответствия строгим нормативным требованиям и стандартам безопасности атомных электростанций.

В рамках общего процесса пусконаладки особое место занимает этап настройки автоматизированных систем управления (АСУ), являющийся одним из критически важных для последующей надежной и эффективной работы энергоблока.

В настоящем исследовании предлагается метод, направленный на оптимизацию процедуры настройки регуляторов в составе АСУ. Методология основана на использовании данных, генерируемых аналитическим тренажером. Указанный тренажер разрабатывается индивидуально для конкретного энергоблока, что позволяет адекватно учитывать его уникальные проектные и эксплуатационные характеристики.

Введение

Строительство и ввод в эксплуатацию энергоблока АЭС представляют собой сложный многоэтапный процесс, в котором значительную роль играют работы по изготовлению и приемке систем автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП) [1]. Особую актуальность приобретает верификация параметров настройки автоматических регуляторов с их последующей корректировкой [2]. Существенным фактором, осложняющим процесс наладки, являются частые изменения в проектной документации на этапе пусконаладочных работ, что приводит к необходимости выполнения дополнительных регулировок и увеличению сроков ввода энергоблока в эксплуатацию. В этих условиях применение современных методов математического моделирования становится ключевым инструментом оптимизации процесса настройки систем автоматического управления.

Цель работы

Целью данной работы является демонстрация эффективности использования математического моделирования для решения задач корректировки параметров автоматических регуляторов АСУ ТП на примере контура регулирования давления в напорном коллекторе насосов подачи исходной воды водоподготовительной установки энергоблока №1 Белорусской АЭС. В рамках работы предполагается:

- Проанализировать проблемы настройки автоматических регуляторов при внесении изменений в проектную документацию;
- Показать возможность идентификации неустойчивых режимов работы систем автоматического управления с использованием моделирования;
- Продемонстрировать практическую эффективность корректировки параметров регуляторов на основе математической модели.

Важным фактором, осложняющим процедуру наладки, является внесение изменений в проектную документацию на этапе пусконаладочных работ. Данное обстоятельство обуславливает необходимость выполнения дополнительных регулировок систем автоматического управления, что, в свою очередь, ложится на персонал специализированных наладочных организаций, таких как АО «Атомтехэнерго» и его филиалы. Как отмечал экс-генеральный директор АО «Атомтехэнерго», указанный фактор является одной из ключевых причин, приводящих к увеличению сроков ввода энергоблока в промышленную эксплуатацию.

Следует отметить, что задача автоматизации настройки регуляторов при вводе в эксплуатацию сложных технических систем является предметом научных изысканий на протяжении десятилетий. Одним из фундаментальных трудов в данной области является работа В. Я. Ротача [3].

Для подтверждения тезиса о необходимости повторной корректировки параметров автоматических регуляторов [4] целесообразно обратиться к конкретному примеру. Таким примером может служить ревизия схем АСУ ТП в части системы контроля и управления водоподготовительной установкой (СКУ ВП) энергоблока № 1 Белорусской АЭС, актуальная на 7 сентября 2019 года — период проведения на указанном объекте активной фазы пусконаладочных работ. Основной тракт водоподготовительной установки на данном блоке обеспечивает механическую фильтрацию (включая ультрафильтрацию), обессоливание предочищенной воды методом обратного осмоса (две ступени) и ионообменную очистку полученного пермеата.

На рисунке 1 представлены переходные характеристики модели контура регулирования давления в напорном коллекторе насосов исходной воды, подаваемой на группу подогревателей. Поддержание заданного давления в указанном коллекторе является критически важным для обеспечения регламентных условий проведения последующих технологических процессов — корректировки водородного показателя (pH) и коагуляции в системе предварительной очистки воды перед её подачей на установки ультрафильтрации [5].

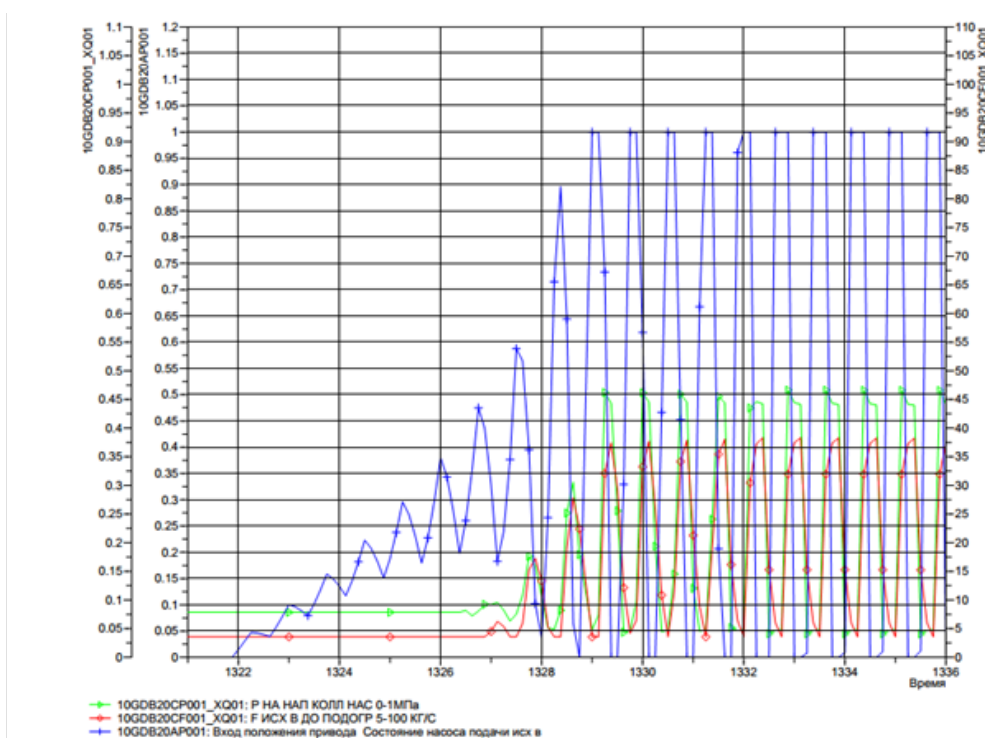


Рисунок 1. Тренды работы модели контура регулирования давления в напорном коллекторе насосов подачи исходной воды в интегрированной среде «ЭНИКАД».

Данный регулятор давления функционирует в качестве ведущего (мастер-регулятора) по отношению к регулятору частоты вращения насосных агрегатов, реализующему подчинённое управление через преобразователь частоты [6].

Моделирование указанной системы управления и физических процессов было выполнено в интегрированной среде «ЭНИКАД». Данная платформа находит применение, в частности, для разработки полнофункциональных тренажёров, предназначенных для подготовки оперативного персонала энергоблоков АЭС [7]. Помимо этого, система «ЭНИКАД» используется в качестве инструмента для автоматизированного тестирования проектов АСУ ТП [8], реализуемых на технологических платформах ТПТС-ЕМ/НТ/СБ, что подтверждается опытом их внедрения на объектах, аналогичных Ленинградской АЭС-2.

Анализ переходных процессов, представленных на рисунке 1, свидетельствует о том, что номинальные параметры настройки ведомого регулятора частоты вращения вала насоса подачи исходной воды на группу подогревателей, заданные проектной документацией, не обеспечивают устойчивости данного контура регулирования. Следствием этого является возникновение в системе незатухающих автоколебаний [9].

Для решения указанной проблемы был применён метод корректировки параметров регулятора с использованием математической модели, реализованной в рамках тренажёра водоподготовительной установки энергоблока № 1 Белорусской АЭС. В частности, устойчивая работа контура была достигнута за счёт уменьшения коэффициента пропорциональности в алгоритме регулирования [10]. Результаты моделирования скорректированной системы, подтверждающие её устойчивость, приведены на рисунке 2.

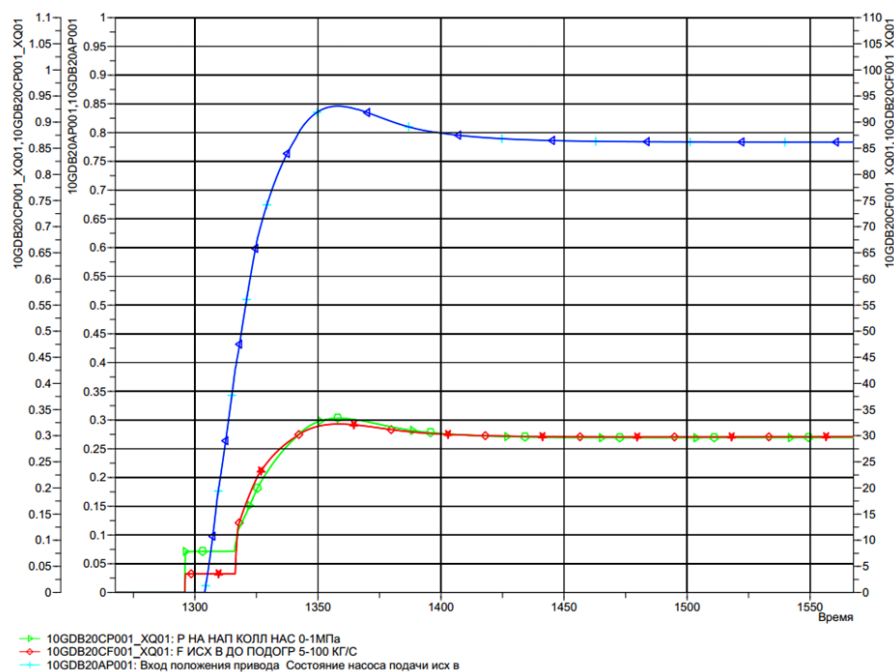


Рисунок 2. Тренды работы модели контура регулирования давления в напорном коллекторе насосов подачи исходной воды в интегрированной среде «ЭНИКАД» после подстройки регулятора частоты вращения вала насоса.

Использование методов математического моделирования представляется целесообразным и необходимым при решении подобных задач ввода в эксплуатацию энергоблоков АЭС. Уникальный статус атомных энергоблоков как объектов повышенной ядерной опасности и капиталоемкости обуславливает высокие требования к безопасности и экономической эффективности их сооружения. Математическое моделирование позволяет минимизировать временные и финансовые издержки, связанные с настройкой систем управления на реальном объекте.

Предлагаемый подход демонстрирует высокую эффективность для ускорения разработки и отладки сложных технических систем, для которых прямое экспериментирование сопряжено со значительными затратами или жёсткими ограничениями по безопасности. Следует отметить, что в отличие от многих других сложных систем, каждый энергоблок АЭС, даже в рамках единого проекта, представляет собой уникальный объект, что требует индивидуального подхода к его наладке и подтверждает актуальность применения адаптивных методов, основанных на его цифровой модели.

Выводы

Проведенное исследование подтвердило эффективность применения математического моделирования для решения задач настройки систем автоматического управления технологическими процессами АЭС. На примере контура регулирования давления водоподготовительной установки энергоблока №1 Белорусской АЭС было показано, что:

- Номинальные параметры настройки регуляторов, заданные проектной документацией, могут не обеспечивать устойчивой работы системы;
- Использование интегрированной среды "ЭНИКАД" позволяет выявлять проблемы устойчивости и отрабатывать решения на этапе пусконаладочных работ;
- Корректировка параметров регулятора на основе математической модели позволяет достичь устойчивой работы системы без вмешательства в реальный технологический процесс.

Предлагаемый подход позволяет минимизировать временные и финансовые затраты при наладке систем управления, что особенно актуально в условиях частых изменений проектной документации. Для атомных энергоблоков как объектов повышенной опасности использование математического моделирования представляет собой необходимое условие обеспечения безопасности и экономической эффективности их сооружения и ввода в эксплуатацию.

Список литературы

1. Сааков Э.С. Ввод в эксплуатацию энергоблоков АЭС / Э.С. Сааков, С.И. Рясный. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 496 с.: ил.
2. СТО 1.1.1.03.003.0914-2013. Ввод в эксплуатацию блоков атомных станций с водо-водяными энергетическими реакторами. Порядок выполнения и приемки пусконаладочных работ на АСУ ТП.
3. Ротач В.Я. Автоматизация настройки систем управления / В.Я. Ротач, В.Ф. Кузицин, А.С. Ключев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 272 с., ил.
4. BLR1.E.534.1.0UGB&&.GDB&&.023.EA.0001. Система предварительной очистки исходной воды (GDB). Белорусская АЭС. Блок № 1. Версия 1.
5. Squassoni S. The incredible shrinking nuclear offset to climate change // Bulletin of the atomic scientists. – 2017. – Vol. 73, № 1. – P. 17-26.
6. Сааков Э.С. Ввод в эксплуатацию энергоблоков АЭС / Э.С. Сааков, С.И. Рясный. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 496 с.
7. Ротач В.Я. Расчёт настройки реальных ПИД-регуляторов // Теплоэнергетика. – 1993. - № 10. – С. 31-35.
8. Ротач В.Я. Автоматизация настройки систем управления / В.Я. Ротач, В.Ф. Кузицин, А.С. Ключев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 272 с.
9. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 606 с.
10. Густав Олссон, Джангуидо Пиани. Цифровые системы автоматизации и управления / Густав Олссон. – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА НА ЭНТЕРОБИОЗ

Халаджян Н.В., Маргарян С.М., Комаров А.Г., Гришкевич И.А.

Московский научно-практический центр лабораторных исследований
Департамента здравоохранения города Москвы
Москва, Россия

Аннотация. Энтеробиоз, вызываемый гельминтами *Enterobius vermicularis*, остаётся одной из наиболее распространённых паразитарных инвазий человека и представляет значимую проблему для системы общественного здоровья. Основным методом диагностики энтеробиоза является микроскопическое исследование соскоба с перианальной области, направленное на выявление яиц возбудителя. Обычно это исследование выполняет ручную врач.

Цель работы: В данной работе мы предлагаем концепцию автоматизации процесса проведения анализа на энтеробиоз.

Ключевые слова: энтеробиоз, автоматизация, набор Рабиновича.

Основная часть

Энтеробиоз является одной из самых распространённых паразитарных инфекций в мире, поражающей преимущественно детей и подростков, и представляет собой серьёзную медицинскую и эпидемиологическую проблему [1]. Зачастую заболевание остаётся недиагностированным вследствие отсутствия выраженных клинических проявлений или их лёгкой степени [1]. Паразит легко передается в детских коллективах и семьях, что способствует высокой распространённости заболевания. По данным ВОЗ, энтеробиоз остаётся серьёзной проблемой общественного здравоохранения во многих странах, включая Россию и другие страны [2]. Заболевание характеризуется затяжным течением и широким спектром клинических проявлений, которое снижает качество жизни и может вызывать осложнения при отсутствии адекватной диагностики и терапии [3].

Диагностика энтеробиоза может проводиться несколькими методами. Среди существующих методов особое место занимает тест Рабиновича (cellophanetapetest, или Scotchtapetest), при котором соскоб берётся с помощью шпателя с липкой лентой, которую затем исследуют под микроскопом на наличие характерных яиц остриц. Главными преимуществами теста Рабиновича являются: высокая чувствительность, простота выполнения и неинвазивность, что делает его на данный момент золотым стандартом в диагностике энтеробиоза [4].

В России диагностика проводится при использовании набора Рабиновича (НР), который представляет собой колбу длиной 92,5 мм и диаметром 32 мм с завинчивающейся крышкой, внутри которой находится прозрачная пластина размером 78×20×1,5 мм, оснащённая клеевым слоем на площади 20×25 мм (Рисунок 1).

Микроскопический анализ полученных образцов отличается большой трудоёмкостью, требует подготовки квалифицированного персонала и значительных временных затрат. В ГБУЗ «МНПЦЛИ ДЗМ» (Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Московский научно-практический центр лабораторных исследований Департамента здравоохранения города Москвы») ежедневно проводится микроскопическое исследование в среднем нескольких тысяч клинических образцов. В периоды эпидемических подъемов или обострений заболеваемости объем исследований может достигать 50000 образцов в сутки, что предъявляет повышенные требования к скорости, производительности

и эффективности диагностических процедур. Автоматизация процесса, при сохранении высокой достоверности аналитических результатов, существенным образом повысит производительность лаборатории и облегчит труд врача.



Рисунок 1. Набор для взятия проб на энтеробиоз по методу Рабиновича производства ООО «ГЕМ».

Предполагается, что при использовании программно-аппаратного комплекса, основанного на анализе серии снимков рабочей зоны шпателя НР при наличии автоматической системы распаковки НР, загрузки в блок фотофиксации и последующего анализа полученных результатов с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ) можно обеспечить высокую производительность процесса проведения анализа.

Для того, чтобы приступить к разработке инженерного решения по автоматизации исследования на энтеробиоз нужно структурировать все шаги проведения анализа. Проанализировав процесс проведения анализа врачом и с учетом возможностей автоматизации процесса был выработан следующий алгоритм проведения автоматизированного анализа на энтеробиоз:

1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

1.1. Инициализация системы

- Самодиагностика оборудования
- Проверка связи с ЛИС/ЕМИАС
- Загрузка моделей ИИ и калибровочных данных
- Инициализация счетчиков и логов

1.2. Загрузка расходных материалов

- Проверка наличия НР в приемном бункере
- Контроль наполненности контейнеров утилизации
- Проверка чистоты оптических поверхностей

2. ЭТАП РАСПАКОВКИ И ИДЕНТИФИКАЦИИ

2.1. Захват и ориентация НР

1. Ориентирование НР в пространстве
2. Захват НР роботом
3. Сканирование маркировочного кода при вращении НР
4. Связь с ЛИС для привязки кода к пациенту

2.2. Вскрытие и извлечение шпателя

- Отвинчивание/снятие крышки специализированным механизмом
- Аккуратное извлечение шпателя без контакта с клеевым слоем
- Ориентация шпателя клеевым слоем к оптическому модулю

3. ЭТАП ФОТОФИКСАЦИИ

3.1. Многоспектральная съемка

ЦИКЛ СЪЕМКИ ДЛЯ КАЖДОГО ОБРАЗЦА:

1. БЕЛЫЙ СВЕТ, прямое освещение:

- Сверху (отраженный свет)
- Снизу (проходящий свет)
- Разрешение: 10-20 мкм/пиксель

2. УФ освещение (365 нм):

- Для выявления аутофлуоресценции биологических объектов
- Съемка в темном поле

3. ИК освещение (850-940 нм):

- Для выявления живых объектов
- Контрастирование органических структур

4. Наклонное освещение под углом 45°:

- Для создания объемного эффекта
- Выявления рельефа поверхности

3.2. Сканирующая стратегия

Разделение рабочей зоны 20×25 мм на перекрывающиеся сегменты
Последовательная фокусировка на каждом сегменте
Создание панорамного изображения высокого разрешения

4. ЭТАП АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

4.1. Предварительная обработка

- Нормализация освещенности
- Компенсация неравномерности освещения
- Выравнивание и сшивание сегментов
- Удаление артефактов и пыли
- Увеличение контраста целевых объектов

4.2. Детекция объектов с помощью ИИ

МНОГОУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА АНАЛИЗА:

ДЕТЕКТОР ПЕРВОГО УРОВНЯ (высокая чувствительность):

- Быстрое сканирование всего изображения
- Выявление кандидатов на яйца остриц
- Использование легкой нейросетевой модели

КЛАССИФИКАТОР ВТОРОГО УРОВНЯ (высокая точность):

- Анализ каждого кандидата на нескольких снимках
- Проверка морфологических характеристик:
 - * Размер (50-60 мкм в длину, 20-30 мкм в ширину)
 - * Форма (асимметричная, уплощенная с одной стороны)
 - * Оболочка (многослойная, прозрачная)
 - * Содержимое (зародышевые клетки)

КОНТЕКСТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ:

- Расположение объектов относительно друг друга
- Анализ кластеров и скоплений
- Исключение артефактов и пузырьков

4.3. Верификация результатов

Сравнение результатов по разным спектральным каналам

Статистический анализ распределения объектов

Определение жизнеспособности яиц (по ИК-признакам)

5. ЭТАП ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ И ОТЧЕТНОСТИ

5.1. Формирование заключения

- ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ:

≥ 1 типичное яйцо острицы с подтверждением на ≥2 методах съемки

- СОМНИТЕЛЬНЫЙ:

Обнаружены атипичные объекты, требующие проверки врачом

- ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ:

Типичные яйца остриц не обнаружены

5.2. Интеграция с ЛИС

Автоматическая передача результатов в ЕМИАС

Прикрепление изображений-подтверждений для положительных проб

Формирование статистических отчетов

6. ЭТАП УТИЛИЗАЦИИ/АРХИВАЦИИ

6.1. Маршрутизация образцов

ЕСЛИ результат ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ:

- Перемещение шпателя в контейнер утилизации

- Очистка и дезинфекция тракта

ЕСЛИ результат ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ или СОМНИТЕЛЬНЫЙ:

- Перемещение в модуль архивации

- Маркировка и упаковка для передачи врачу.

Для исключения сбоев и повышения надёжности работы необходимо проработать механизмы автоматического контроля ошибок с визуальной и звуковой индикацией, возможностью остановки с последующим возобновлением технологического процесса.

На этапе работ, посвященных отработке технологии получения изображений, одной из ключевых технических задач является оптимизация параметров освещения и съемки, с учётом относительно большого размера исследуемой поверхности (клеевой слой 20×25мм). Необходимо определить оптимальный метод визуализации, сканирование или серийную фотосъемку, обеспечивающую получение информативных изображений за минимально короткое время. Для подбора параметров фотофиксации нужно протестировать различные режимы освещения: в белом, инфракрасном (ИК) и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах, с подачей света сверху, снизу, сбоку и под углом, при варьировании интенсивности и разрешающей способности съемки.

При разработке установки должны быть выполнены условия:

Конструкция установки должна исключать возможность непреднамеренного контакта клеевой зоны шпателя с конструктивными элементами устройства, за исключением специально предусмотренного канала утилизации шпателя.

Устройство должно быть оснащено панелью операторского интерфейса, отображающей следующую информацию:

- общее количество обработанных (отсканированных) проб;

- состояние комплекса: наличие/отсутствие неисправностей.

Формат, размеры панели управления, надписей и транспарантов должны быть определены на этапе эргономического проектирования, с учётом удобства восприятия информации и простоты взаимодействия с устройством.

Оператор должен иметь возможность выполнения следующих действий через панель управления:

- остановка работы комплекса (в том числе аварийная остановка);

- возобновление работы после остановки;

- режим доработки конвейера без забора новых образцов из бункера-накопителя;

- сброс счетчика успешно обработанных проб;

- сброс счетчика неопознанных или ошибочных проб;

- перезагрузка (рестарт) комплекса;
- вызов меню диагностики и сервисных функций (по требованию).

Выводы

В ходе работы сформулировано техническое задание по созданию прототипа установки, определён состав её функциональных модулей, а также алгоритмы работы, обеспечивающие автоматизацию процессов распаковки и подачи шпателей из НР. Разработанный прототип установки обеспечит последовательную автоматическую обработку образцов посредством следующих ключевых функций: идентификация наборов по индивидуальной маркировке, ориентация шпателя клеевым слоем к оптическому модулю, автоматическая распаковка и передача образца для фотофиксации. Разработка алгоритмов обработки ошибок и аварийных остановок позволит обеспечить бесперебойную работу установки с минимальными простоем и повышенной надёжностью.

Благодарности и источники финансирования

Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта Правительства Москвы (Соглашение от 30.05.2023г № 2002-8/23).

Список литературы

1. Leung AKC, Lam JM, Barankin B, Wong AHC, Leong KF, Hon KL. Pinworm (Enterobius Vermicularis) Infestation: An Updated Review. *Curr Pediatr Rev.* 2024 Jan 28. doi: 10.2174/0115733963283507240115112552. Epub ahead of print. PMID: 38288810.
2. Lashaki EK, Mizani A, Hosseini SA, Habibi B, Taherkhani K, Javadi A, Taremiha A, Dodangeh S. Global prevalence of enterobiasis in young children over the past 20 years: a systematic review and meta-analysis. *Osong Public Health Res Perspect.* 2023 Dec;14(6):441-450. doi: 10.24171/j.phrp.2023.0204. Epub 2023 Dec 28. PMID: 38204424; PMCID: PMC10788413.
3. Lashaki EK, Mizani A, Hosseini SA, Habibi B, Taherkhani K, Javadi A, Taremiha A, Dodangeh S. Global prevalence of enterobiasis in young children over the past 20 years: a systematic review and meta-analysis. *Osong Public Health Res Perspect.* 2023 Dec;14(6):441-450. doi: 10.24171/j.phrp.2023.0204. Epub 2023 Dec 28. PMID: 38204424; PMCID: PMC10788413.
4. Leung AKC, Lam JM, Barankin B, Wong AHC, Leong KF, Hon KL. Pinworm (Enterobius Vermicularis) Infestation: An Updated Review. *Curr Pediatr Rev.* 2024 Jan 28. doi: 10.2174/0115733963283507240115112552. Epub ahead of print. PMID: 38288810.

Секция 4

Оборудование и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАРТФОНОВ КАК ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН (СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ, ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ)

Степанов С.Т.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»
Студент физико-технического института, группа АТП-6-о-231

Научный руководитель **Менюк С.Г.**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»
к.э.н., доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования

Аннотация. В данной статье рассматриваются возможности применения современных смартфонов в качестве измерительных приборов для определения различных физических величин. Особое внимание уделяется измерению скорости движения и частоты колебаний с использованием встроенных датчиков: акселерометра, гироскопа, GPS-модуля и магнитометра. Проведен анализ точности измерений, выполненных с помощью смартфонов, в сравнении с традиционными лабораторными приборами. Представлены практические примеры использования мобильных приложений для образовательных и исследовательских целей.

Ключевые слова: смартфон, акселерометр, гироскоп, GPS, измерение скорости, частота колебаний, мобильные датчики, физические эксперименты, образовательные технологии.

Введение

Современные смартфоны представляют собой сложные технологические устройства, оснащенные множеством датчиков и сенсоров, изначально предназначенных для улучшения пользовательского опыта. Однако эти же датчики открывают широкие возможности для использования смартфонов в качестве измерительных инструментов в образовательных и исследовательских целях. За последнее десятилетие качество и точность встроенных датчиков значительно возросли, что позволило использовать смартфоны не только для развлечений и коммуникации, но и для проведения научных экспериментов. Типичный современный смартфон содержит следующие датчики, применимые для физических измерений:

Акселерометр – измеряет ускорение по трем осям;

Гироскоп – определяет угловую скорость и ориентацию;

Магнитометр – измеряет магнитное поле;

GPS-модуль – определяет географические координаты и скорость перемещения;

Барометр – измеряет атмосферное давление;

Датчик освещенности – измеряет интенсивность света;

Микрофон – может использоваться для анализа звуковых колебаний.

Доступность смартфонов и наличие бесплатных или недорогих приложений для работы с датчиками делают их привлекательным инструментом для образовательных учреждений, где зачастую отсутствует возможность приобретения дорогостоящего лабораторного оборудования. Более того, использование знакомого устройства повышает

мотивацию учащихся к изучению физики и способствует развитию навыков работы с современными технологиями [1-6].

Целью данного исследования является анализ возможностей применения смартфонов для измерения таких физических величин, как скорость движения и частота колебаний, а также оценка точности получаемых результатов в сравнении с традиционными методами измерения.

Материалы и методы

Для проведения экспериментов были использованы смартфоны различных производителей с операционными системами Android и iOS:

- SamsungGalaxy S21 (Android 13)
- iPhone 13 Pro (iOS 16)
- XiaomiMi 11 (Android 12)

Для работы с датчиками применялись следующие мобильные приложения:

- Phyphox (Physical Phone Experiments) — бесплатное приложение, разработанное RWTH Aachen University;
- Physics Toolbox Sensor Suite — набор инструментов для работы с датчиками;
- Sensor Kinetics — приложение для визуализации данных датчиков;
- Встроенные приложения для GPS-навигации.

Измерение скорости движения осуществлялось с использованием двух основных методов:

Метод 1: GPS-навигация: GPS-модуль смартфона регистрирует изменение координат во времени, вычисляя скорость перемещения. Эксперименты проводились в условиях движения автомобиля по прямолинейному участку дороги. Данные со смартфона сравнивались с показаниями штатного спидометра автомобиля.

Метод 2: Интегрирование данных акселерометра: при известном начальном положении и использовании данных акселерометра можно вычислить скорость путем интегрирования ускорения по времени. Этот метод применялся для измерения скорости на коротких участках при измерениях равноускоренном движении.

Для измерения частоты колебаний использовались следующие подходы:

Метод 1: Акселерометр: смартфон закреплялся на колеблющемся объекте (математический маятник, пружинный маятник), и акселерометр регистрировал изменение ускорения во времени. Частота колебаний определялась методом Фурье-анализа с использованием приложения Phyphox.

Метод 2: Гироскоп: для измерения частоты вращательных колебаний (например, крутильный маятник) использовались данные гироскопа, регистрирующего угловую скорость.

Метод 3: Акустический анализ: микрофон смартфона применялся для регистрации звуковых колебаний, а встроенные алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ) позволяли определить частотный спектр звука [7-15].

Все полученные данные экспортировались в формате CSV и обрабатывались с использованием программных пакетов Microsoft Excel и Python (библиотеки NumPy, SciPy, Matplotlib). Для каждого типа измерений проводилось не менее 10 повторных экспериментов с последующим статистическим анализом результатов.

Результаты и обсуждение

Эксперименты по измерению скорости движения автомобиля с использованием GPS показали высокую степень согласованности с показаниями штатного спидометра. При движении со скоростями от 30 до 100 км/ч относительная погрешность составила от 2% до 5%. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты эксперимента по измерению скорости

Скорость по спидометру (км/ч)	Скорость по GPS (км/ч)	Абсолютная погрешность (км/ч)	Относительная погрешность (%)
30	29.2	0.8	2.7
50	48.5	1.5	3.0
70	68.1	1.9	2.7
90	86.8	3.2	3.6
100	95.5	4.5	4.5

Основные факторы, влияющие на точность GPS-измерений:

Качество приема сигнала от спутников (в городских условиях с высокими зданиями точность снижается). Скорость обновления данных GPS (обычно 1 Гц).

Измерение скорости путем интегрирования данных акселерометра показало менее стабильные результаты из-за накопления ошибок при интегрировании. Этот метод оказался более эффективным для коротких интервалов времени (до 5-10 секунд) и при наличии четко выраженного начального и конечного состояния покоя. При сбрасывании смартфона с высоты 2 метра в свободном падении теоретическая конечная скорость составляет $v = \sqrt{2gh} \approx 6.26$ м/с. Измерения с помощью акселерометра дали значения в диапазоне 5.8-6.5 м/с, что соответствует погрешности около 7-10%.

Для математического маятника длиной $L = 1$ м теоретическая частота колебаний составляет: $f = 1/(2\pi) \times \sqrt{g/L} \approx 0.498$ Гц (период $T \approx 2.01$ с). Измерения с использованием акселерометра смартфона, закрепленного на маятнике, дали следующие результаты:

Средняя измеренная частота: 0.502 ± 0.008 Гц;

Относительная погрешность: менее 1%;

Приложение Rhyphox автоматически выполняет БПФ-анализ данных акселерометра и строит амплитудно-частотный спектр, что позволяет точно определить частоту даже при наличии шумов.

Для пружинного маятника с массой $m = 200$ г и коэффициентом жесткости $k = 20$ Н/м теоретическая частота: $f = 1/(2\pi) \times \sqrt{k/m} \approx 1.59$ Гц

Измерения показали:

Средняя измеренная частота: 1.62 ± 0.05 Гц;

Относительная погрешность: около 2%.

Микрофон смартфона успешно применялся для измерения частоты звуковых колебаний. При использовании камертона с частотой 440 Гц (нота ля первой октавы) смартфон зарегистрировал частоту 438-442 Гц, что соответствует точности профессиональных тюнеров. Анализ гармонических колебаний струн различных музыкальных инструментов показал, что смартфон способен различать частоты с разрешением около 1 Гц в диапазоне от 20 Гц до 10 кГц.

Преимущества использования смартфонов:

Доступность и распространенность устройств

Наличие множества датчиков в одном устройстве

Возможность мгновенной визуализации данных

Простота экспорта данных для дальнейшей обработки

Мотивирующий фактор для учащихся

Низкая стоимость по сравнению с лабораторным оборудованием

Ограничения и недостатки:

- Относительно низкая частота дискретизации датчиков (обычно 100-200 Гц)
- Наличие шумов и дрейфа показаний
- Зависимость точности от модели смартфона
- Необходимость калибровки датчиков
- Ограничения в экстремальных условиях (высокие ускорения, температуры)
- Проблемы с надежным креплением смартфона к исследуемым объектам

Сравнение с традиционными методами

Сравнение результатов, полученных с помощью смартфонов, с данными профессионального лабораторного оборудования показало, что для большинства базовых физических экспериментов точность смартфонов является достаточной. Например, при измерении периода колебаний математического маятника отклонения от данных фотворота (± 0.001 с) составили менее 3%.

Однако для высокоточных измерений или исследований, требующих высокой частоты дискретизации (>1 кГц), необходимо использовать специализированное оборудование.

Основные полученные результаты исследования следующие:

1. GPS-модули смартфонов обеспечивают измерение скорости движения с точностью 2-5%, что достаточно для большинства образовательных целей и базовых исследований.
2. Акселерометры смартфонов позволяют измерять частоту механических колебаний с точностью до 1-2% для частот в диапазоне 0.1-10 Гц.
3. Микрофоны смартфонов эффективно регистрируют звуковые колебания в диапазоне 20 Гц - 10 кГц с разрешением около 1 Гц, что сопоставимо с профессиональными акустическими анализаторами начального уровня.
4. Использование специализированных приложений, таких как Phyphox, значительно расширяет возможности смартфонов благодаря встроенным алгоритмам обработки сигналов и удобной визуализации данных.
5. Основные ограничения связаны с частотой дискретизации датчиков (обычно до 200 Гц) и наличием шумов, что ограничивает применение смартфонов для высокоточных и высокочастотных измерений.
6. Смартфоны могут служить эффективной альтернативой традиционному лабораторному оборудованию в образовательных учреждениях, где бюджет на приобретение специализированных приборов ограничен.

Перспективы дальнейших исследований включают разработку методик для более широкого спектра физических экспериментов, создание образовательных программ с использованием смартфонов, а также изучение возможностей применения машинного обучения для улучшения точности измерений и фильтрации шумов.

Выводы

Проведенное исследование демонстрирует, что современные смартфоны представляют собой эффективный и доступный инструмент для измерения различных физических величин, включая скорость движения и частоту колебаний, а также могут служить доступной и эффективной альтернативой дорогостоящему лабораторному оборудованию для проведения базовых физических экспериментов.

Список литературы

1. Стасенко А.Л. Использование смартфона при изучении колебательных процессов // Физика в школе. 2017. № 5. С. 45-52.
2. Без Е.С., Александров Д.А., Попов И.А. Современные мобильные устройства как средство проведения лабораторного эксперимента по физике // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. С. 367-374.
3. Майер В.В., Вараксина Е.И. Смартфон как универсальный измерительный комплекс в физическом практикуме // Физическое образование в вузах. 2018. Т. 24, № 2. С. 85-98.
4. Королев М.Ю., Федорова Н.Б. Применение мобильных устройств при изучении механических колебаний // Физика в школе. 2019. № 3. С. 28-35.
5. Иванов А.И., Кириллов В.М. Использование датчиков смартфона для измерения ускорения свободного падения // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2018. № 4. С. 112-118.
6. Соколова Е.А. Смартфон как цифровая лаборатория на уроках физики // Информатика и образование. 2020. № 7. С. 52-59.
7. Хорошавин С.А. Физический эксперимент в средней школе с использованием мобильных устройств // Физика в школе. 2016. № 6. С. 40-47.
8. Ланина И.Я., Кузнецова Н.Е. Использование мобильных технологий в демонстрационном физическом эксперименте // Наука и школа. 2017. № 5. С. 143-149.

9. Казанцев С.Я., Андреев В.А. Датчики смартфона в лабораторном практикуме по механике // Учебная физика. 2019. № 2. С. 23-31.
10. Phyrphox - Физические эксперименты с телефоном [Электронный ресурс]. URL: <https://phyrphox.org> (дата обращения: 10.10.2025).
11. Беспалов П.И., Котов В.А. Применение GPS-навигации для изучения кинематики движения // Физическое образование в вузах. 2018. Т. 24, № 1. С. 56-64.
12. Толстик А.М., Петров С.В. Акустический анализ с помощью микрофона смартфона: возможности и ограничения // Журнал технической физики. 2020. Т. 90, № 8. С. 1287-1293.
13. Смирнов А.В. Цифровые технологии в физическом эксперименте: методическое пособие. М.: Просвещение, 2019. 156 с.
14. Разумовский В.Г., Майер В.В. Физика в школе. Научный метод познания и обучение. М.: Владос, 2018. 463 с.
15. Мякишев Г.Я. Современные методы измерения физических величин в учебном эксперименте // Физика в школе. 2017. № 1. С. 3-12.

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕШЕВЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ

Палоник А.А.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»
Студентка физико-технического института, группа АТП-б-о-231

Научный руководитель **Дядичев В.В.**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»
д.т.н., профессор, профессор кафедры компьютерной инженерии и моделирования

Аннотация. В статье рассматриваются принципы построения комплексных систем мониторинга качества воздуха на основе современных газовых сенсоров. Проанализированы ключевые типы датчиков (CO_2 , PM, температура и влажность, формальдегид), их практическая значимость, технологические особенности и экономическая целесообразность применения в бытовых и промышленных условиях. Особое внимание уделено выбору оптимального набора датчиков для различных сценариев использования.

Ключевые слова: Качество воздуха, газовые сенсоры, мониторинг, CO_2 , формальдегид, твердые частицы, системы вентиляции, умные здания, здоровье человека.

Введение

Качество воздуха в помещениях стало критически важным фактором для обеспечения здоровой и продуктивной среды. Современный человек проводит около 80–90% своего времени в помещениях, что значительно увеличивает риск воздействия вредных загрязнителей. По данным Всемирной организации здравоохранения, загрязнение воздуха стало причиной преждевременной смерти 4,2 миллиона человек во всем мире в 2019 году. Эти тревожные цифры являются необходимостью внедрения эффективных систем мониторинга, способных своевременно обнаруживать опасные концентрации вредных веществ.

Проблема контроля качества воздуха требует комплексного подхода, учитывающего множество параметров – от уровня углекислого газа до концентрации токсичных летучих соединений [1]. Современные технологии предлагают разнообразные решения для мониторинга этих параметров, однако выбор оптимального набора датчиков остается нетривиальной задачей, требующей учета технических характеристик, стоимости и практической целесообразности [2,8].

В данной статье проводится системный анализ различных типов газовых сенсоров, оценивается их практическая значимость для бытового и промышленного применения, а также формулируются рекомендации по построению экономически эффективных систем мониторинга качества воздуха [3,9].

Материалы и методы

Для построения комплексных систем мониторинга качества воздуха используются различные типы сенсоров, основанные на разных физико-химических принципах действия. Методология выбора и интеграции этих датчиков должна учитывать их технические характеристики, условия эксплуатации и задачи конкретного объекта [4-6]. При этом важнейшим аспектом является разработка единой платформы для сбора, обработки и визуализации данных со всех датчиков, обеспечивающей согласованную работу системы в реальном времени.

Основные типы датчиков и принципы их работы

Датчики углекислого газа (CO_2) используют метод недисперсионного инфракрасного поглощения (NDIR). Современные NDIR-датчики с двухволновой технологией способны

компенсировать эффекты старения и устойчивы к загрязнению, обеспечивая точные измерения в долгосрочной перспективе [2]. Эти датчики измеряют концентрацию CO₂ в диапазоне обычно от 0 до 5000 ppm, что позволяет эффективно контролировать эффективность вентиляции в помещениях с большим количеством людей.

Датчики твердых частиц (PM_{2.5}, PM₁₀) работают на основе лазерных оптических технологий, основанных на принципе рассеяния света. Когда частицы проходят через лазерный луч, фотодетектор регистрирует интенсивность рассеянного света, что позволяет определить концентрацию и размер частиц [6]. Такие датчики эффективно обнаруживают пыль, дым и другие аэрозоли, представляющие опасность для дыхательной системы [5].

Датчики формальдегида и летучих органических соединений (ЛОС) часто используют полупроводниковые элементы из оксида металла, которые изменяют электрическое сопротивление при контакте с молекулами органических соединений. Передовые модели датчиков качества воздуха способны обнаруживать TVOC и формальдегид с разрешением до 10 частей на миллиард [7].

Датчики температуры и влажности являются обязательным компонентом комплексных систем мониторинга, поскольку эти параметры напрямую влияют на комфорт и безопасность среды. Высокая влажность способствует образованию плесени, а слишком сухой воздух может раздражать дыхательные пути [5].

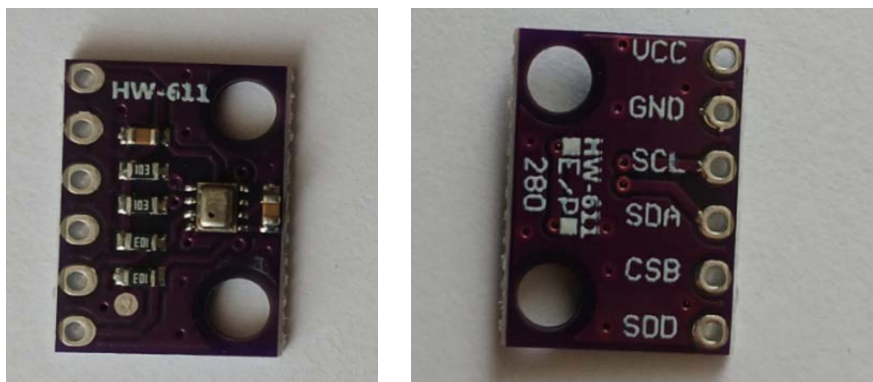


Рисунок 1. Датчик давления и температуры GY-BMP280.

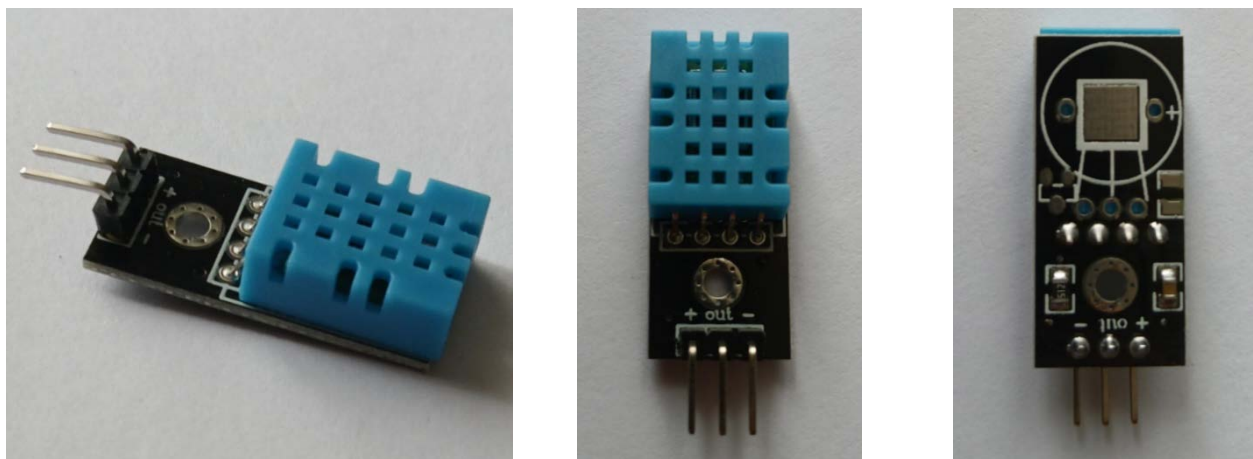


Рисунок 2. Датчик температуры и влажности DHT11.

Для интеграции датчиков в единую систему используются различные протоколы связи, включая BACnet MS/TP, Modbus RTU, MP-Bus, а также беспроводные технологии такие как WiFi и LoRaWan [1]. Это обеспечивает совместимость с системами управления зданиями и позволяет осуществлять централизованный мониторинг и контроль [8,9].

Обсуждение и результаты

В данном разделе представлен детальный анализ ключевых аспектов построения систем мониторинга качества воздуха, основанный на изучении современных сенсорных технологий. Рассматриваются основные типы датчиков, их технические характеристики, практическая значимость и экономическая целесообразность применения. Особое внимание уделяется сравнительному анализу датчиков CO₂, твердых частиц, формальдегида, температуры и влажности, а также радиационных дозиметров, с выделением их функциональных возможностей, технологий измерения и областей применения [2]. Дополнительно исследуются вспомогательные датчики загрязнения воздуха и многофункциональные решения, позволяющие создать комплексную систему мониторинга [4].

Ключевые датчики для систем мониторинга и их практическая значимость

Таблица 1. Сравнительные характеристики основных типов датчиков для мониторинга качества воздуха.

Тип датчика	Измеряемые параметры	Технология измерения	Практическая значимость	Примерная стоимость
CO ₂	Концентрация углекислого газа (0-5000 ppm)	NDIR (недисперсионный инфракрасный)	Контроль эффективности и вентиляции, предотвращение снижения когнитивных функций	Средняя, профессиональные модели имеют высокую стоимость
Твердые частицы (PM)	PM _{2.5} , PM ₁₀ (0-500 мкг/м ³)	Лазерное рассеяние	Обнаружение опасных аэрозолей, пыли, дыма	Средняя-высокая
Формальдегид и ЛОС	Концентрация летучих органических соединений	Полупроводниковые (оксид металла)	Выявление токсичных выделений от отделочных материалов	Средняя
Температура и влажность	С, % относительно влажности	Электронные	Обеспечение комфортного микроклимата, предотвращение плесени	Низкая
Радиационный дозиметр	Уровень радиации	Сцинтилляционные счетчики	Обеспечение радиационной безопасности	Высокая

Повышенный уровень CO₂ в помещении является основной причиной усталости, дискомфорта и снижения концентрации. Исследования показывают, что уровень CO₂ выше 1000 ppm приводит к значительному снижению когнитивных способностей [10]. В учебных помещениях это может приводить к трудностям концентрации внимания, нарушению процесса принятия решений и ухудшению навыков решения проблем. Датчики CO₂ позволяют автоматизировать системы вентиляции, обеспечивая поддержание оптимального уровня углекислого газа в диапазоне 400-1000 ppm [11].

Твердые частицы PM_{2.5} особенно опасны, так как могут проникать глубоко в лёгкие и даже попадать в кровоток. Источниками PM в помещениях могут быть загрязнение с улицы,

дым, пыль, строительные материалы и приготовление пищи без вытяжки. Мониторинг датчиками уровня РМ позволяет своевременно принимать меры — от усиленной уборки помещений до улучшения систем фильтрации воздуха [5].

Параметры влажности не являются загрязнителями напрямую, но значительно влияют на комфорт и безопасность среды. Высокая влажность (более 60%) способствует образованию плесени, а слишком сухой воздух (менее 30%) может раздражать дыхательные пути. Поддержание оптимальной влажности в диапазоне 30-50% и температуры 18-22°C создает здоровый микроклимат и предотвращает многие проблемы со здоровьем [3].

В отличие от других сенсоров, бытовые датчики радиации не имеют широкого практического применения в стандартных системах мониторинга качества воздуха. Их стоимость значительно выше других типов датчиков, а необходимость в непрерывном мониторинге радиации в большинстве регионов отсутствует. Специализированные промышленные дозиметры применяются на объектах с потенциальным радиационным риском — АЭС, медицинских учреждениях с рентгеновским оборудованием, исследовательских лабораториях. Для бытовых условий приобретение таких датчиков экономически нецелесообразно.

Формальдегид представляет особую опасность для помещений, так как выделяется из распространенных отделочных материалов — ДСП, ОСП, ламината, красок и мебели. Это вещество может вызывать головные боли, раздражение глаз и дыхательных путей, а при длительном воздействии — более серьезные проблемы со здоровьем. Датчики формальдегида входят в состав многофункциональных сенсоров качества воздуха, таких как AQW, который измеряет содержание пыли (PM2.5), формальдегида, углекислого газа (CO₂), температуры и влажности [7].

Помимо основных рассмотренных типов, в комплексных системах мониторинга могут использоваться дополнительные датчики.

Датчики угарного газа (CO) обычно работают на электрохимическом принципе и немедленно предупреждают о протечке CO, что критически важно для безопасности в помещениях с газовым оборудованием.

Датчики озона обнаруживают этот токсичный газ, который образуется в результате реакции оксидов азота с летучими органическими соединениями.

Комбинированные датчики, такие как многофункциональный датчик RFTM-PS-CO₂-W, который одновременно измеряет параметры пыли, влажности, температуры и содержания CO₂ в воздухе.

Диапазон цен на датчики качества воздуха значительно варьируется в зависимости от точности, надежности и набора измеряемых параметров. На рынке представлены как простые бытовые модели, так и профессиональные промышленные решения [8].

Экономическая целесообразность установки таких систем определяется потенциальными потерями от плохого качества воздуха — снижением продуктивности сотрудников, увеличением заболеваемости, рисками для безопасности. Исследования показывают, что оптимальное качество воздуха в офисах и учебных заведениях может повысить продуктивность на 5-10%, что многократно окупает затраты на систему мониторинга [4].

Выводы

Ключевым выводом проведенного анализа является необходимость комплексного подхода к построению систем мониторинга качества воздуха, основанного на интеграции современных газовых сенсоров. Для жилых и офисных помещений оптимальным решением становится базовый набор датчиков, включающий контроль CO₂ для управления вентиляцией, мониторинг взвешенных частиц PM_{2.5}/PM₁₀, измерение температуры и влажности для обеспечения комфортного микроклимата, а также детектирование формальдегида и летучих органических соединений [1]. Такой комплекс позволяет

эффективно отслеживать основные параметры, влияющие на здоровье и продуктивность людей, при этом оставаясь экономически доступным решением.

Для промышленных предприятий требования к системам мониторинга существенно расширяются. Здесь необходимы специализированные датчики горючих газов, обеспечивающие взрывобезопасность, высокоточные сенсоры для контроля токсичных выбросов, а также расширенный мониторинг всех параметров воздушной среды. Особое значение приобретает надежность оборудования, его взрывозащищенное исполнение и способность работать в сложных производственных условиях. Эти системы должны не просто фиксировать данные, но и интегрироваться в общую структуру управления предприятием.

Современные газовые системы мониторинга демонстрируют переход от простых сигнализаторов к интеллектуальным комплексам, способным на автоматическое управление инженерными системами зданий. Поддержка промышленных протоколов связи таких как Modbus, ВАСnet и LoRaWAN позволяет создавать единые сети контроля, где данные с датчиков преобразуются в управляющие команды для систем вентиляции, отопления и аварийного оповещения [6]. Это создает замкнутый цикл управления качеством воздушной среды.

Внедрение таких систем мониторинга становится экономически целесообразной инвестицией в здоровье, безопасность и продуктивность. Дальнейшее развитие сенсорных технологий, снижение их стоимости и повышение доступности открывают перспективы для массового применения комплексных решений по контролю качества воздуха в самых различных сферах - от жилых помещений до крупных промышленных комплексов [9].

Список литературы

1. Российская Федерация. Федеральный закон от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха». – М., 1999 г.
2. ГОСТ 17.2.1.04-77 Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения. // В сб. «Охрана природы. Атмосфера». – М., ИПК Издательство стандартов, 2000.
3. Тихонова, И.О. Экологический мониторинг атмосферы: Учебное пособие / И.О. Тихонова, Н.Е. Кручинина, В.В. Тарасов. – М.: Форум, 2017. – 78 с.
4. Дмитренко, В.П. Экологический мониторинг техносферы: Учебное пособие / В.П. Дмитренко, Е.В. Сотникова, А.В. Черняев. – СПб.: Лань, 2014. – 368 с.
5. Вартанов, А.З. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг / А.З. Вартанов, А.Д. Рубан, В.Л. Шкуратник. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2010. – 640 с.
6. Привалов, В.Е. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы: Учебное пособие / В.Е. Привалов, А.Э. Фотиади, В.Г. Шеманин. – СПб.: Лань, 2013. – 288 с.
7. Какарека, С. В. Формальдегид в атмосферном воздухе городов / С. В. Какарека // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2012. – № 5. – С. 82–89.
8. The best air quality monitors you can buy in 2025. – HouseFresh. <https://housefresh.com/air-quality-monitors/>
9. Air Sensor Toolbox. – U.S. Environmental Protection Agency (EPA). <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox>
10. The New York Times Wirecutter: The Best Home Air Quality Monitor. <https://www.nytimes.com/wirecutter/reviews/best-home-air-quality-monitor/>
11. The best air quality monitors you can buy in 2025 // HouseFresh. – URL: <https://housefresh.com/air-quality-monitors/>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ (ARDUINO, ESP32) ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОСТЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Южанина А.К.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И.Вернадского»
студентка физико-технического института, группа АТП-6-о-231

Научный руководитель **Дядичев В.В.**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И.Вернадского»
д.т.н., профессор, профессор кафедры компьютерной инженерии и моделирования

Аннотация. В статье рассматриваются возможности использования популярных микроконтроллеров Arduino и ESP32 для создания простых и доступных измерительных систем. Описываются основные компоненты, технологии подключения датчиков и интерфейсы обмена данными, а также приводятся практические примеры реализации таких систем. Особое внимание уделяется преимуществам ESP32, благодаря встроенным беспроводным модулям, и расширенным возможностям для удалённого мониторинга. Статья предназначена для начинающих разработчиков и специалистов, заинтересованных в создании недорогих и эффективных решений для сбора и обработки измерительных данных.

Ключевые слова: микроконтроллеры, Arduino, ESP32, измерительные системы, датчики, сенсоры, сбор данных, беспроводная передача, удалённый мониторинг, простые измерительные устройства, протоколы связи, автоматизация, электроника.

Введение

Современное развитие электроники и информационных технологий всё больше способствует автоматизации и усовершенствованию систем измерения параметров окружающей среды и технологических процессов. Простые и доступные измерительные системы находят широкое применение в научных исследованиях, промышленности, сельском хозяйстве, бытовых и образовательных проектах. Они позволяют не только получать точные данные, но и автоматизировать контроль за состоянием различных параметров, что повышает эффективность и безопасность.

Одним из ключевых элементов таких систем являются микроконтроллеры – компактные устройства, способные обрабатывать сигналы, управлять датчиками и обеспечивать связь с другими системами или компьютерами. Среди популярных решений выделяются платформы Arduino и ESP32, объединяющие простоту использования, доступность и расширенные возможности. Arduino хорошо зарекомендовала себя в образовательных целях и прототипировании, а ESP32 – благодаря встроенным модулям беспроводной связи и высокой производительности – становится всё более популярной для решений, требующих удалённого мониторинга и передачи данных.

Цель данной статьи – рассмотреть основные подходы и методы использования этих микроконтроллеров для построения простых измерительных систем, продемонстрировать их преимущества и возможности, а также помочь начинающим инженерам и любителям электроники самостоятельно создавать эффективные и недорогие устройства для измерения параметров окружающей среды и технологических процессов.

Материалы и методы

Для реализации простых измерительных систем использовались следующие основные компоненты [4-5,13]:

Микроконтроллеры: Arduino Uno и ESP32 DevKit v1. , датчики и сенсоры:

1. Температурные датчики (например, DS18B20),
2. Аналоговые датчики (например, датчики напряжения и силы тока через шунты),
3. Датчики влажности и влажности воздуха (например, DHT11),

Преобразователи и модули: АЦП (аналогово-цифровые преобразователи) встроенные в микроконтроллеры, модули беспроводной связи (Wi-Fi встроенный в ESP32), питание (батареи, стабилизаторы напряжения, блоки питания 5В/3.3В), дополнительные компоненты (резисторы, диоды, кабели, макетные платы, разъемы).

Arduino — это платформа с открытым исходным кодом, предназначенная для быстрого прототипирования и обучения электронике [12]. Наиболее популярные модели включают Arduino Uno, Arduino Mega и другие. К особенностям относятся: простота использования, богатая экосистема библиотек, широкое сообщество поддержки. Arduino идеально подходит для образовательных целей, простых проектов автоматизации и прототипирования, а также для использования в условиях ограниченного бюджета.



Рисунок 1. MyPads Arduino Uno R3 ATmega328P.

ESP32 — это мощный микроконтроллер с встроенными возможностями беспроводной связи, что делает его популярным в IoT-проектах. К особенностям относятся: высокая вычислительная мощность, многофункциональность, возможность работы с беспроводными интерфейсами, поддержка RTOS. ESP32 рекомендуется для разработки проектов, требующих удаленного мониторинга, передачи данных и обработки сложных задач.



Рисунок 2. ESP32 Tensilica Xtensa dual-core или single-core.

Обсуждение и результаты

Сравнительные возможности и области применения обеих систем представлены на рисунке 3.

В целом, Arduino отлично подходит для обучения и быстрых проектов, тогда как ESP32 — для создания более сложных и многофункциональных систем с возможностями беспроводной связи и высокой производительностью.

Для построения измерительных систем широко применяются различные датчики, позволяющие получать параметры окружающей среды или технических объектов [4]: температурные датчики (DS18B20 — цифровой датчик температуры с высокой точностью и возможностью подключения нескольких датчиков на одной шине, TMP36 — аналоговый датчик температуры, прост в использовании), датчики давления (BMP280 — цифровой датчик барометрического давления и температуры, MPX5700 — аналоговый датчик давления), датчики света (фоторезистор (LDR) — простое устройство для определения освещенности,

TSL2561 – цифровой датчик освещенности с высокой точностью), датчики влажности и влажности воздуха (DHT11 и DHT22 – комбинированные датчики температуры и влажности), другие датчики (гироскопы, акселерометры, магнитометры – для определения движения и ориентации, расширители для измерения тока и напряжения – шунты, делители напряжения).

Характеристика	Arduino	ESP32
Производительность	Низкая – 16 МГц	Высокая – до 240 МГц
Память	До 32 КБ	До 520 КБ SRAM + флэш до 16 МБ
Встроенная беспроводная связь	Нет	Wi-Fi и Bluetooth встроены
Простота использования	Высокая	Требует более глубоких знаний программирования
Области применения	Образование, прототипирование, простые автоматизации	IoT, сложные измерительные системы, удаленный мониторинг

Рисунок 3. Сравнение возможностей и области применения.

Микроконтроллеры используют преобразователи для взаимодействия с аналоговыми сигналами: аналого-цифровые преобразователи (АЦП), которые позволяют преобразовать аналоговые сигналы в цифровой формат для обработки микроконтроллером. Например, встроенные АЦП в Arduino и ESP32 обеспечивают различные разрешения (обычно 10–12 бит). Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), которые используются для вывода аналоговых сигналов из микроконтроллера, например, для управления аналоговыми устройствами или создания аналоговых сигналов. В ESP32 встроены 8- или 10-битные ЦАП.

Для построения простой измерительной системы на базе Arduino для примера возьмём датчик температуры DS18B20, который широко используется благодаря простоте подключения и хорошей точности. Для программирования Arduino для считывания данных используем библиотеку OneWire и DallasTemperature для работы с DS18B20.

Пример кода будет следующий:

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

#define ONE_WIRE_BUS 2 // пин, к которому подключён датчик

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures(); // Запрос температуры
  float temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0); // Получение температуры в градусах Цельсия
  Serial.print("Температура: ");
  Serial.print(temperatureC);
  Serial.println(" °C");
  delay(1000); // задержка 1 секунда
}
```

Визуализация и обработка данных [12] следующая:

Вариант 1: отображение на дисплее- можно подключить, например, ЖК-дисплей I2C (например, SSD1306 или LCD 16x2) и выводить показания прямо на экран.

Вариант 2: передача на ПК- данные выводятся через последовательный порт (Serial). Их можно прочитать с помощью терминальной программы (например, Arduino IDE Serial Monitor) или обработать в сторонних приложениях (например, LabVIEW, Processing, Python).

Пример использования Python для чтения данных:

```
import serial

ser = serial.Serial('COM3', 9600)

while True:
    line = ser.readline().decode('utf-8').strip()
    print(line)
```

Этот пример показывает, как легко создать простую измерительную систему, считывать параметры и выводить их для дальнейшей обработки и визуализации.

Для построения простой измерительной системы на базе ESP32 [4-11] обеспечивается использование встроенных возможностей Wi-Fi и Bluetooth. ESP32 оснащён мощными модулями Wi-Fi и Bluetooth (BLE), что позволяет создавать беспроводные системы сбора и передачи данных без внешних модулей. Wi-Fi обеспечивает подключение к интернету для обмена данными с сервером или облаком. Bluetooth (BLE) подходит для локальных соединений с мобильными устройствами или ПК. ESP32 позволяет реализовать различные протоколы передачи данных. Это даёт возможность реализовать удалённый мониторинг, хранение данных в облаке (например, Thingspeak, AWS, Google Cloud) и создание веб-интерфейсов для просмотра данных.

Были реализованы практические примеры [12-13]: мониторинг температуры и влажности с датчиками DHT22 или BME280, с передачей данных на облачный сервер для отображения в реальном времени. Измерение уровня воды с ультразвуковыми или ёмкостными датчиками, с автоматической системой оповещений и удалённым контролем. Системы сбора данных для удалённых объектов, например, метеостанции, системы автоматического полива, удалённое управление оборудованием.

Выводы

Построение измерительной системы на базе ESP32 – это эффективное решение для создания беспроводных, многофункциональных и масштабируемых устройств сбора данных. Благодаря встроенным модулям Wi-Fi и Bluetooth, а также богатому набору периферийных интерфейсов, ESP32 позволяет реализовать широкий спектр проектов – от мониторинга температуры и влажности до удалённого контроля уровня воды и автоматизации сельского хозяйства. Возможность передачи данных в облако и интеграции с современными протоколами делает эти системы удобными, гибкими и перспективными. Постоянное обучение и практика помогут создавать всё более сложные и эффективные измерительные системы, расширяя возможности IoT и автоматизации.

Список литературы

1. Сомов А. С., Лыжин И. Г. Методическое пособие «Разработка умных устройств на базе Arduino» / Сомов А. С., Лыжин И. Г. – М: Сколковский институт науки и технологий, 2020. – 80 с.
2. Росляков А. В., Ваняшин С. В., Гребешков А. Ю. Интернет вещей: учебное пособие / А. В. Росляков,

- С.В. Ваняшин, А. Ю. Гребешков. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 200 с.
3. Колетвинов Д. С., Мельникова А. А., Борзилов К. В. Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2020. – № 3 (293). – С. 157-159. – URL: <https://moluch.ru/archive/293/66452/> (дата обращения: 19.01.2024).
 4. ESP32 Series Datasheet. Version 4.4. Espressif Systems. [Электронный ресурс]: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
 5. Руководство по микроконтроллеру ESP32 [Электронный ресурс]: <https://randomnerdtutorials.com/projects-esp32/> (дата обращения: 20.12.2023)
 6. Лазарев Ю.Ф. Начала программирования в среде MATLAB: учебное пособие. – К.: НТУУ "КПИ", 2003. – 424 с.
 7. Васильев А. Н. MATLAB. Самоучитель. Практический подход. – 2-е изд. – СПб.: Наука и Техника, 2015. – 448 с.
 8. Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК // Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
 9. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2003. – 608 с.
 10. Потемкин В. Г. Система инженерных и научных расчетов MATLAB 5.x: В 2-х т. / Том 1. – Москва: Диалог-МИФИ, 1999. – 364 с.
 11. Educational project. Basic mathematical operations library in C language [Электронный ресурс]: <https://github.com/sashaulu/math.h> (дата обращения: 25.12.2023)
 12. Arduino API [Электронный ресурс]: <https://docs.arduino.cc/learn/programming/reference/> (дата обращения: 16.01.2024)
 13. Иванов И. И., Соловьев Г. И., Фролов В. Я. Электротехника и основы электроники: учебник для вузов / Иванов И. И., Соловьев Г. И., Фролов В. Я. – М.: Лань, 2021. – 736 с.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СЕНСОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ (ПУЛЬС, КИСЛОРОД В КРОВИ, ШАГОМЕР)

Пасюта А.В.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»
Студент физико-технического института, группа АТП-6-о-231

Научный руководитель Меньюк С.Г.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»
к.э.н., доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования

Аннотация. Современные сенсорные технологии активно внедряются в носимые устройства, применяемые для мониторинга состояния человека. Измерение биометрических параметров – частоты сердечных сокращений, насыщения крови кислородом (SpO_2) и физической активности – стало основой как для медицинской диагностики, так и для повседневного контроля здоровья.

В работе рассмотрены основные принципы функционирования оптических и инерциальных сенсоров, проведено их сравнение по точности, энергоэффективности и области применения. Проанализированы современные тенденции интеграции сенсоров в мультисенсорные системы, а также использование алгоритмов обработки сигналов и искусственного интеллекта для повышения достоверности данных.

Сформулированы направления дальнейшего развития технологий, включая миниатюризацию, гибкость сенсорных структур, повышение автономности и расширение функциональных возможностей носимых систем.

Ключевые слова: биометрические сенсоры, фотоплетизмография, SpO_2 , акселерометр, носимые устройства, мультисенсорные системы, искусственный интеллект, IoT.

Введение

Интенсивное развитие носимой электроники привело к созданию компактных интеллектуальных систем, способных непрерывно отслеживать физиологические параметры человека. Фитнес-браслеты, умные часы, медицинские трекеры и умные ткани стали неотъемлемой частью как бытовых, так и профессиональных систем контроля здоровья.

В основе работы этих устройств лежат сенсоры, преобразующие физиологические сигналы в электрические. От их характеристик – чувствительности, стабильности и энергоэффективности – напрямую зависит достоверность получаемых данных.

Сенсорные технологии охватывают широкий спектр физических принципов: оптические, инерциальные, пьезоэлектрические, температурные и электрофизиологические. Наиболее активно развиваются сенсоры, измеряющие частоту сердечных сокращений, уровень насыщения крови кислородом (SpO_2) и параметры движения человека.

Интерес к этим направлениям обусловлен не только их прикладным значением, но и возможностью интеграции в более сложные системы мониторинга, работающие на основе искусственного интеллекта и Интернета вещей (IoT).

Несмотря на существенные успехи, остаются проблемы, связанные с точностью измерений при движении пользователя, помехами от внешнего освещения, изменением температуры и индивидуальными особенностями кожи. Кроме того, существует необходимость снижения энергопотребления и миниатюризации сенсорных модулей при сохранении их функциональности.

Целью настоящей работы является проведение анализа современных сенсорных технологий, применяемых для измерения биометрических параметров человека, выявление

их особенностей, преимуществ и ограничений, а также определение перспективных направлений дальнейшего развития.

Постановка проблемы

Постоянное наблюдение за состоянием организма человека имеет решающее значение в профилактической медицине, спорте и системах удалённого мониторинга пациентов. Точность и надёжность сенсоров становятся определяющими параметрами эффективности таких систем. Большинство существующих устройств сталкиваются с рядом трудностей: низкой точностью при активных движениях, артефактами измерений, ограниченным временем автономной работы и зависимостью от внешних условий.

Кроме того, увеличение числа контролируемых параметров требует интеграции нескольких сенсоров в одном устройстве, что создаёт дополнительные сложности по части энергоуправления и термостабильности. Необходимость объединения высокой точности, компактности и низкого энергопотребления делает задачу разработки сенсорных систем комплексной и междисциплинарной.

Анализ последних достижений и публикаций

Научные и инженерные исследования последних лет направлены на совершенствование оптических и инерциальных сенсоров, а также на разработку новых гибких и биосовместимых материалов.

Так, фотоплетизмографические (PPG) сенсоры продолжают оставаться основным инструментом измерения пульса и SpO₂. Они просты по конструкции и относительно недороги, что делает их оптимальными для массовых носимых устройств.

Использование гибких подложек и органических полупроводников в конструкции сенсоров позволило значительно снизить погрешности измерений и повысить комфорт при длительном ношении устройств. Такие материалы обеспечивают лучшую адаптацию сенсора к поверхности кожи и устойчивость к внешним воздействиям [1].

Одновременно активно развивается направление инерциальных сенсоров – акселерометров и гироскопов, которые применяются для подсчёта шагов, анализа типа физической активности и оценки параметров движения пользователя. Комбинация данных от различных сенсоров позволяет формировать более полную картину физиологического состояния человека.

В последние годы активно внедряются мультисенсорные системы, объединяющие оптические, механические и температурные сенсоры. Такие устройства не только измеряют биометрические параметры, но и осуществляют интеллектуальную обработку сигналов, включая фильтрацию шумов и адаптивную калибровку.

Цель и задачи исследования

Цель работы заключается в систематизации и анализе современных сенсоров, применяемых для измерения биометрических параметров человека, а также в определении тенденций их технологического развития.

Задачи исследования включают:

1. Классификацию сенсоров по принципу действия и области применения;
2. Описание физических основ измерения пульса, SpO₂ и параметров движения;
3. Сравнение характеристик наиболее распространённых сенсорных решений;
4. Определение направлений совершенствования сенсорных технологий с учётом тенденций миниатюризации и интеллектуальной обработки данных.

Основной материал исследования

Сенсоры для измерения пульса. Одним из наиболее распространённых способов измерения частоты сердечных сокращений является фотоплетизмография (PPG). Принцип

работы основан на регистрации изменений интенсивности света, проходящего или отражённого от тканей в зависимости от кровенаполнения сосудов (рисунок 1).

Обычно используются светодиоды зелёного, красного или инфракрасного спектра и фотоприёмники, чувствительные к изменению отражённого потока.

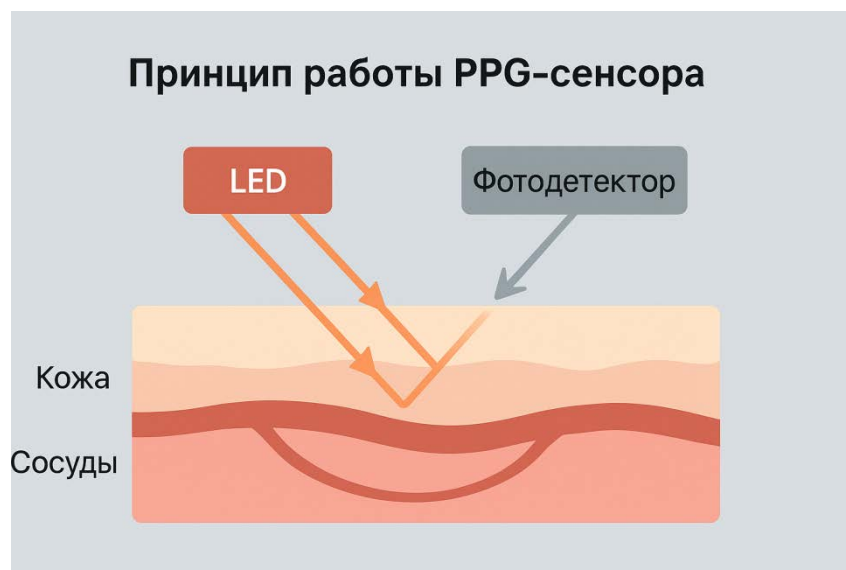


Рисунок 1. Принцип работы PPG-сенсора.

Основные достоинства PPG-сенсоров – простота конструкции и низкое энергопотребление. К недостаткам относятся высокая чувствительность к движениям и необходимости фильтрации сигналов.

Современные микросхемы, такие как Maxim MAX30102, AFE4404 (TexasInstruments) и Si1144 (SiliconLabs), обеспечивают интеграцию оптической и электронной части, позволяя получать стабильные данные при минимальном энергопотреблении.

Сенсоры кислорода в крови. Измерение уровня насыщения крови кислородом (SpO_2) основано на различиях в поглощении света молекулами оксигемоглобина и дезоксигемоглобина. Для анализа используются световые источники в красном (около 660 нм) и инфракрасном (около 940 нм) диапазонах. Соотношение отражённого или прошедшего излучения позволяет вычислить процент насыщения крови кислородом. В современных сенсорах применяются многоволновые источники света и автоматическая калибровка, что повышает точность измерений при изменении цвета кожи, температуры или плотности прилегания устройства. Алгоритмы цифровой фильтрации и компенсации движений обеспечивают стабильность данных даже при активных действиях пользователя.

Перспективное направление развития связано с использованием гибких и биосовместимых материалов — органических фотодетекторов, наноструктурированных покрытий и тонкоплёночных подложек. Эти решения позволяют создавать миниатюрные сенсорные элементы, интегрируемые в текстиль, пластыри и носимые устройства. Развитие таких технологий открывает возможности для непрерывного мониторинга SpO_2 и других параметров в режиме реального времени, что особенно важно для систем телемедицины, реабилитации и наблюдения за пациентами вне клинических условий [2].

Инерциальные сенсоры и шагомеры. Для измерения количества шагов и оценки физической активности применяются акселерометры и гироскопы. Они регистрируют линейные и угловые ускорения, позволяя определить тип движения, темп, наклон тела и осанку.

Систематизация информации о технических параметрах и особенностях различных типов сенсоров показывает, что каждый вид устройств обладает своими преимуществами и ограничениями, определяющими область их применения (рисунок 2).

Сравнительные характеристики биометрических сенсоров

Тип сенсора	Измеряемый параметр	Точность	Энергопотребление	Примеры чипов
PPG	Пульс, SpO ₂	±2 %	Низкое	MAX30102
ИК-оптический	SpO ₂	±1 %	Среднее	Si1144
Акселерометр	Шаги, движение	±3 %	Низкое	BMA456
Мультисенсор	Комплексный мониторинг	±1-2 %	Среднее	Apple S9

Рисунок 2. Сравнительные характеристики биометрических сенсоров.

Оптические сенсоры, использующие методы фотоплетизмографии и инфракрасного излучения, обеспечивают высокую точность при измерении пульса и уровня насыщения крови кислородом, однако чувствительны к внешним условиям – освещённости, температуре и плотности контакта с кожей.

Инерциальные сенсоры, основанные на измерении ускорений и угловых скоростей, отличаются низким энергопотреблением и устойчивостью к механическим воздействиям, что делает их оптимальными для задач оценки физической активности и подсчёта шагов. Наиболее перспективным направлением развития является создание мультисенсорных систем, которые объединяют преимущества разных технологий и обеспечивают более полное и достоверное представление о состоянии организма пользователя.

Инерциальные сенсоры часто работают совместно с PPG для коррекции ошибок, вызванных движением руки во время измерения пульса [3].

Интеграция сенсоров и тенденции развития. Современные носимые устройства представляют собой комплексные системы, в состав которых входят несколько типов сенсоров, микроконтроллер, беспроводной модуль передачи данных и автономный источник питания.

Взаимодействие этих компонентов позволяет устройству выполнять сбор, предварительную обработку и передачу биометрической информации в реальном времени. На рисунке 3 показана архитектура такой системы: данные от сенсорного модуля поступают к микроконтроллеру, где осуществляется их фильтрация и первичный анализ, после чего информация передаётся по беспроводному каналу связи (Bluetooth, Wi-Fi) на внешнее устройство или в облачную платформу для дальнейшей аналитики.

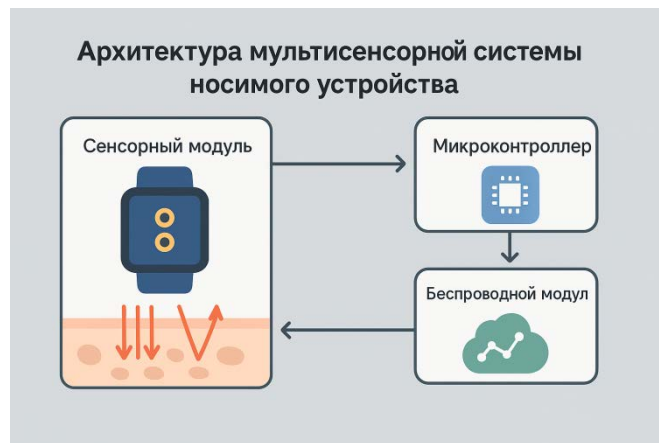


Рисунок 3. Архитектура мультисенсорной системы носимого устройства.

Подобная структура обеспечивает надёжность передачи данных, возможность синхронизации с мобильными приложениями и работу с алгоритмами машинного обучения, которые выполняют интеллектуальную интерпретацию результатов.

Интеграция различных типов сенсоров в единую систему делает возможным комплексный анализ состояния организма, а также адаптацию работы устройства под индивидуальные особенности пользователя. Такой подход формирует основу для развития персонализированных технологий мониторинга здоровья и является ключевым направлением совершенствования носимых электронных систем.

Эволюция точности и энергоэффективности. В период с 2015 по 2025 годы средняя погрешность измерения пульса в потребительских устройствах снизилась с 7–8% до 1–2%, что стало возможным благодаря совершенствованию схем освещения, использованию многочастотных источников света, улучшению оптических фильтров и внедрению нейросетевых алгоритмов анализа данных (рисунок 4).



Рисунок 4. Снижение погрешности измерения пульса у носимых устройств (2015–2025 гг.).

Существенную роль сыграло развитие интегрированных микросхем обработки сигналов, компенсирующих артефакты движения и внешние шумы, а также переход к гибким подложкам, обеспечивающим стабильный контакт сенсора с кожей.

Наряду с этим значительно повысилась энергоэффективность сенсорных систем: применение светодиодов с адаптивной мощностью, интеллектуальных контроллеров питания и оптимизированных программных алгоритмов позволило увеличить время автономной работы без потери точности измерений. Внедрение технологий периферийной обработки данных сократило объём передаваемой информации и снизило нагрузку на батарею, что

обеспечило возможность длительного и непрерывного мониторинга биометрических параметров в реальных условиях эксплуатации [4].

Выводы

Сравнительные характеристики различных типов биометрических сенсоров показывают, что каждое решение обладает своими преимуществами и ограничениями. Оптические сенсоры обеспечивают высокую точность при измерении пульса и насыщения крови кислородом, но требуют оптимальных условий освещения и плотного прилегания к коже.

Инерциальные сенсоры отличаются низким энергопотреблением и устойчивостью к внешним воздействиям, однако предоставляют ограниченный набор данных. Объединение нескольких типов сенсоров в единую систему позволяет компенсировать недостатки отдельных технологий и повысить достоверность результатов, что определяет направление дальнейшего развития носимых устройств.

Список литературы

1. Иванов А.В., Петров С.К. Биотехнические системы и технологии мониторинга здоровья. – М.: Техносфера, 2023.
2. Сидоров К.А., Васильев И.П. Алгоритмы обработки сигналов оптической плетизмографии в условиях артефактов движения // Даталогия. – 2024. – № 2(15). – С. 45-55.
3. ГОСТ Р 58888-2020. Средства измерения физиологических параметров человека. Общие технические требования и методы испытаний.
4. Нестеров В.М., Козлова Л.Н. Тенденции развития носимых сенсоров на основе MEMS-технологий // Сенсорные системы. – 2023. – Т. 37, № 4. – С. 12-20.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ТЕРМОМЕТРА С ФУНКЦИЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ЧЕРЕЗ BLUETOOTH

Кожичкин В.М.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»
Студент физико-технического института, группа АТП-б-о-231

Научный руководитель **Дядичев В.В.**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»
д.т.н., профессор, профессор кафедры компьютерной инженерии и моделирования

Аннотация. В статье рассматриваются принципы построения и практической реализации цифрового термометра с функцией беспроводной передачи данных через Bluetooth Low Energy (BLE). Проанализированы ключевые компоненты системы: датчик температуры, микроконтроллер, BLE-модуль и мобильное приложение. Особое внимание уделено выбору оптимальной элементной базы, разработке алгоритмов работы и оценке экономической целесообразности решения для применения в системах умного дома, телемедицине и промышленном мониторинге.

Ключевые слова: Цифровой термометр, Bluetooth Low Energy (BLE), микроконтроллер, удаленный мониторинг, умный дом, телемедицина, датчик температуры, беспроводная связь.

Введение

Контроль температуры является одной из наиболее распространенных измерительных задач в быту, медицине и промышленности. Традиционные цифровые термометры, хотя и обладают высокой точностью, имеют существенный недостаток — они предоставляют данные только в момент непосредственного контакта, что затрудняет непрерывный мониторинг и сбор статистики [1-5]. Современные тенденции в области Интернета вещей (IoT) и повсеместного распространения смартфонов открывают новые возможности для создания интеллектуальных измерительных устройств.

Интеграция технологии Bluetooth Low Energy (BLE) в измерительные приборы позволяет создавать экономичные и компактные устройства, способные в реальном времени передавать данные на мобильные устройства или централизованные системы сбора информации [6-7]. Это особенно актуально для задач дистанционного наблюдения за состоянием пациентов, контроля температурного режима в системах хранения продукции и обеспечения комфортного микроклимата в умных зданиях.

Целью данной работы является разработка структурной и функциональной схем цифрового термометра с беспроводным интерфейсом, а также анализ ключевых аспектов его практической реализации.

Материалы и методы

Методология разработки включает этапы схемотехнического проектирования, прототипирования, написания и отладки firmware, а также тестирования системы на точность и стабильность связи.

Упрощенная структурная схема устройства представлена ниже:

Датчик Температуры > Микроконтроллер > BLE-Модуль
| |
Источник Питания Дисплей (опционально)

Для построения цифрового термометра с Bluetooth-интерфейсом применяется модульный принцип.

Обсуждение и результаты

Основными компонентами системы являются:

1. Датчик температуры. Выбор пал на цифровой датчик DS18B20 или аналоговый TMP36 в сочетании с АЦП микроконтроллера. Для медицинских применений высокой точности рассматривается специализированный датчик MAX30205, соответствующий стандарту ASTM E1112 для клинических термометров.

2. Микроконтроллер (МК). В качестве центрального управляющего устройства используется недорогой и энергоэффективный МК семейства ARM Cortex-M (например, STM32L0) или ESP32. Последний обладает встроенным модулем Bluetooth, что упрощает конструкцию.

3. Модуль Bluetooth Low Energy (BLE). Если МК не имеет встроенного BLE, используется внешний модуль, например HC-08 или HM-10.

4. Источник питания. Система питается от литиевого аккумулятора с возможностью подзарядки по USB или от батареи типа «таблетка» для компактных носимых устройств.

5. Программное обеспечение. Прошивка для МК разрабатывается в среде STM32CubeIDE или Arduino IDE. Для приема и отображения данных на стороне пользователя создается мобильное приложение для OS Android/iOS или используется универсальное BLE-приложение-сканер.

Принцип работы заключается в следующем:

1. Датчик температуры измеряет текущее значение и преобразует его в цифровой сигнал (или аналоговый, который затем оцифровывается АЦП МК).

2. Микроконтроллер обрабатывает полученные данные, выполняя калибровку и фильтрацию для уменьшения погрешности.

3. Обработанное значение температуры выводится на встроенный дисплей (если он предусмотрен) и упаковывается в специальный пакет данных.

4. Через интерфейс UART (или интегрированный стек BLE) пакет передается на BLE-модуль.

5. BLE-модуль осуществляет широкополосную передачу данных в соответствии со стандартным сервисом «Health Thermometer» (HTS) профиля GATT или по пользовательскому сервису.

6. Мобильное устройство (смартфон, планшет), находящееся в радиусе действия (~10 м), обнаруживает устройство, подключается к нему и считывает передаваемые данные. Приложение интерпретирует пакет, отображает текущую температуру, строит графики изменения во времени и может сохранять историю измерений.

Разработанная концепция цифрового термометра позволяет создать устройство, обладающее рядом преимуществ по сравнению с традиционными решениями:

Непрерывный мониторинг: возможность удаленного снятия показаний в реальном времени без необходимости физического присутствия.

Накопление данных: ведение журнала измерений для последующего анализа, что критически важно в медицинских и промышленных приложениях.

Энергоэффективность: использование BLE-технологии и режимов сна микроконтроллера обеспечивает длительную автономную работу от компактного источника питания.

Универсальность: устройство может быть легко адаптировано для различных сценариев использования — от бытового измерения температуры тела до интеграции в сложные системы мониторинга климата.

Себестоимость изготовления прототипа устройства, основанного на МК STM32 и модуле HC-08, составляет approximately 300-500 рублей при мелкосерийном производстве. Использование более интегрированных решений, таких как ESP32, позволяет снизить стоимость и габариты. На рынке коммерческие аналоги стоят от 1500 рублей и выше, что

делает самостоятельную разработку или мелкосерийное производство экономически выгодным, особенно при необходимости кастомизации под конкретные нужды [8].

Выводы

В ходе работы была разработана концепция и структурная схема цифрового термометра с функцией передачи данных по Bluetooth Low Energy. Показано, что использование современной элементной базы позволяет создать недорогое, энергоэффективное и многофункциональное устройство. Ключевыми преимуществами предложенного решения являются возможность дистанционного и непрерывного мониторинга, простота интеграции с мобильными платформами и низкая стоимость эксплуатации. Данная разработка имеет широкую область применения: от умного дома и персональной телемедицины до систем контроля условий хранения на складах и в логистике. Дальнейшее развитие проекта может быть связано с увеличением количества измеряемых параметров (например, влажность воздуха), использованием альтернативных протоколов связи (LoRaWAN для увеличения дальности), а также с разработкой облачной платформы для агрегации данных с множества устройств.

Список литературы

1. ГОСТ R 8.903-2015 Государственная система обеспечения единства измерений. Термометры медицинские цифровые. Методы испытаний.
2. Аналоговые полупроводниковые датчики температуры и микросхемы для обработки их сигналов / В.И. Лавренюк, А.А. Соловьев // Компоненты и технологии. – 2018. – № 6. – С. 12-17.
3. Микроконтроллеры STM32. Полное руководство для начинающих / Д.Н. Мамичев. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 412 с.
4. Проектирование встраиваемых систем на основе Bluetooth Low Energy / С.В. Глухов, Е.А. Костин // Современная электроника. – 2021. – № 5. – С. 44-49.
5. The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey / A. Al-Fuqaha et al. // IEEE Access. – 2015. – Vol. 3. – P. 678–708.
6. Bluetooth SIG. GATT Specification Supplement. – <https://www.bluetooth.com/specifications/gatt/>
7. Getting Started with Bluetooth Low Energy: Tools and Techniques for Low-Power Networking / K. Townsend, C. Cuff, A. Davidson, R. Davidson. – O'Reilly Media, 2021. – 320 p.
8. Обзор рынка носимых медицинских устройств 2023 // Research and Markets. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/wearable-medical-devices-market>

Секция 7

Математическое моделирование технологических процессов и технических систем

УДК 519.22:519.711.3:517.977

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГРЕССИИ ГАУССОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

Скринникова А.В.¹, Киричевский Р.В.²

¹ФГБОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет»
к.т.н., доцент кафедры фундаментальной математики

²ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»
доцент, к.т.н., доцент кафедры аварийно-спасательных работ

Аннотация. В работе сделан небольшой обзор последних публикаций, в которых для моделирования динамических процессов и систем были применены непараметрические методы; также представлен алгоритм адаптивного управления нелинейным динамическим тестовым объектом с прогнозирующей моделью на основе гауссовских процессов.

Ключевые слова: нелинейные динамические процессы, непараметрические методы, ошибка управления.

Актуальность и постановка проблемы

В теории автоматического управления сформировался широкий класс систем, в которых используются алгоритмы идентификации и адаптации моделей контролируемого процесса. Исследуемые объекты как в технических и инженерных системах, так и в экономических, медицинских и других имеют стохастическую природу, трудно формализуемы и подвержены влиянию многих факторов. Применение классических подходов к синтезу систем управления в этом случае не дает желаемых результатов. Поэтому поиск гибких моделей и алгоритмов управления сложными динамическими объектами является актуальной задачей, которая представляет интерес в теоретическом и прикладном аспектах.

Методы исследования

Центральное место среди всех моделей и методов занимают непараметрические методы. Установлено [1], что применение непараметрических подходов в моделировании позволяет: 1) в полном объеме использовать информацию, содержащуюся в элементах обучающей выборки; 2) прогнозировать будущие значения без привязки к фиксированной функции; 3) находить ложные (ошибочные) точки; 4) восстанавливать утраченные или пропущенные значения в данных. Поэтому непараметрические методы моделирования находят все большее применение для прогнозирования и/или управления поведением сложных технических систем или технологических процессов [2], например, типа «осушитель–вентилятор–помещение», где из-за сложности физических процессов невозможно построить подробную математическую модель, адекватно описывающую процесс в каждой подсистеме[3].

Среди непараметрических моделей и методов обработки данных распространение получили ядерная регрессия, регрессия гауссовскими процессами (GP), скрытые марковские модели с бесконечным числом состояний[1; 2; 4-6]. Так, в [5] исследовались процессы образования коллоидных растворов с использованием GP (с одним и несколькими выходами). В итоге было отдано предпочтение GP с несколькими выходами (точность

прогноза достигала от 0,99 до 1). В исследовании [4] прогнозирование гидродинамического поведения наножидкостей оказалось более точным на основе модели регрессии GP в сравнении с другими использованными моделями. Таким образом, регрессия GP – это удобный инструмент решения широкого спектра задач по анализу, прогнозированию и управлению различными процессами.

Прогнозирование поведения динамического объекта с использованием многошаговой регрессии гауссовскими процессами

Предполагаем, что неизвестная зависимость порождена гауссовским полем с неизвестной ковариационной функцией:

$$f(x) \sim GP(m(x), k(x, x')),$$

где $f(x)$ является реализацией GP с функцией математического ожидания $m(x)$ и функцией ковариации $k(x, x')$. В рамках такой модели задача прогнозирования сводится к оценке неизвестных параметров $\lambda = (\lambda_0, \dots, \lambda_n)$ функции ковариации по имеющемуся набору данных с помощью максимизации функции правдоподобия [1]:

$$\log(p(y | X)) \rightarrow \max_{\lambda}.$$

То есть решение определяется на множестве функций с заданным распределением. Это позволяет выявлять различные закономерности в данных, автоматически настраивать сложность модели и оценивать неопределенность в прогнозе.

Задача многошагового прогнозирования заключается в оценке будущих выходов по прошлым входным и выходным значениям. Для выполнения прогноза, окно выборки каждый раз смещается на одну позицию. Проводится расчет предполагаемого выходного значения, которое затем используется при построении новой регрессионной модели и поиска следующего значения.

Для исследования степени влияния выборки тестовых точек на прогнозирующие свойства модели рассмотрены три способа выборки: равномерный, случайный с нормальным распределением и равнопеременный. По результатам моделирования видно, что при малых значениях шума лучший прогноз дает равнопеременная выборка (рисунок 1). При значительном уровне шума наблюдается обратный эффект, поскольку модель улавливает шумовую составляющую в конце интервала, где плотность выборки точек выше.

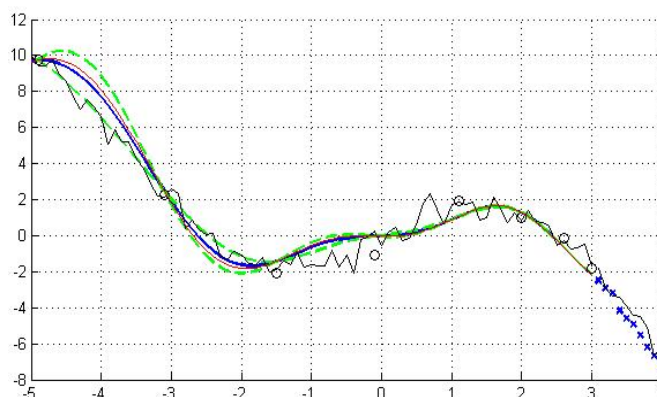


Рисунок 1. Прогноз тестовой функции с шумом, где маркером '+' отмечены точки прогнозируемых значений, маркером 'o' – выборка данных.

Результаты исследования

В среде Matlab был построен алгоритм управления, состоящий из следующих шагов:

1. на вход математической модели объекта подается вектор начальных значений, по которым рассчитывается выход на горизонте прогноза и ошибка;
2. используя модифицированный алгоритм Хука-Дживса оптимизации целевой функции и вектора желаемых значений выхода, проводится настройка входной переменной согласно заданной целевой функции. Оптимизация выполняется с учетом тех ограничений, которые накладываются на переменные;
3. из найденной оптимальной последовательности входных значений на вход подается только первое, после чего вычисления повторяются.

Тестовый нелинейный динамический объект задан выражением:

$$y(t) = (y(t-1) \cdot y(t-2) \cdot (y(t-1) + 0,1)) / (1 + y^2(t-1) + y^2(t-2)) + u(t-1).$$

Цель управления состоит в том, чтобы выбрать такой управляющий сигнал $u(k)$, при котором выходное значение объекта $y(k)$ ближе всего к заданному значению $y_r(k)$:

$$J_c(\Delta u) = \frac{1}{n} \sum_{n=N1}^{N2} (y_r(k+n) - y_p(k+n))^2 + \frac{1}{n} \sum_{n=1}^{Nu} \lambda(n) \cdot \Delta u^2(k+n),$$

где λ – весовой коэффициент (ограничивает изменение величины Δu на каждом шаге алгоритма оптимизации).

На рисунке 2 представлен график управления тестовым объектом. Сначала наблюдается существенное расхождение между желаемым выходом (пунктирная линия) и действительным. Это объясняется тем, что на начальной стадии управления необходимо некоторое время для накопления выборки. По мере роста объема данных, ошибка уменьшается. На величину ошибки управления заметно влияет ширина окна горизонта прогноза. Добавление новых точек прогноза улучшает качество управления и одновременно с этим, увеличивает время расчетов.

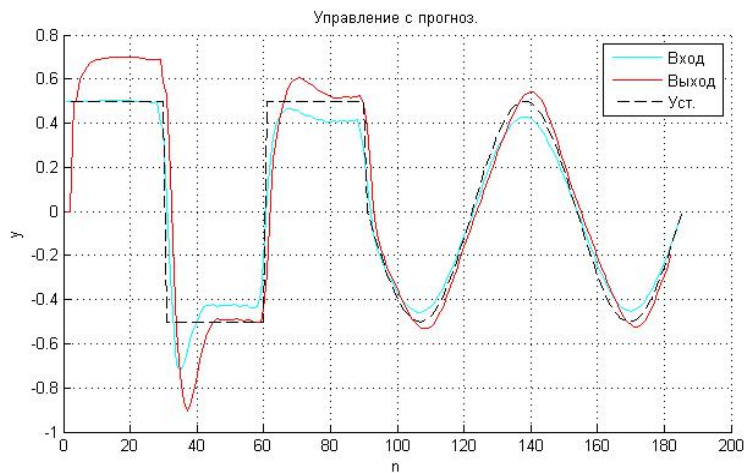


Рисунок 2. Управление динамическим объектом.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

В работе представлена модель управления динамическим объектом, реализующая

алгоритм регрессии на основе гауссовских процессов. Она имеет высокие адаптивные свойства и учитывает ограничения по управлению.

Анализ полученных в ходе моделирования результатов позволяет выделить два направления, требующих детальной проработки и дальнейших исследований: расширение модели на случай «многомерный вход-многомерный выход» и адаптивная настройка горизонта прогноза для улучшения вычислительных возможностей алгоритма.

Список литературы

1. Хардле В. Прикладная непараметрическая регрессия; [пер. с англ.]. М.: Мир, 1993. 349 с.
2. Van Haren M. Gaussian Processes for Advanced Motion Control. IEEJ Journal of Industry Applications. 2022. DOI:10.1541/IEEJJA.21011492.
3. Киричевский Р.В., Скринникова А.В., Киричевский А.Р. Технологии осушения воздуха в зданиях: актуальность, обзор, перспективы / Материалы пула НПК. Материалы VI МНПК, IX МНПК и VI МНПК. Керчь, 2025. С. 567-571.
4. Xinyu Dai [at all]. Using Gaussian Process Regression (GPR) models with the Matérn covariance function to predict the dynamic viscosity and torque of SiO / Engineering Applications of Artificial Intelligence, No122. Pp. 106-107. DOI:10.1016/j.engappai.2023.106107.
5. Rohan Batra, Yogesh M. Joshi, Sachin Shanbhag. Navigating Small Datasets with Machine Learning: Gaussian Process Modeling for Colloidal Gelation / Langmuir, No41 (32), 2025. Pp. 21232-21242. DOI: 10.1021/acs.langmuir.5c00754.
6. Чжан Е.А., Кемпф Д.А. Модификация непараметрического алгоритма моделирования и дуального управления многомерными процессами в условиях неопределенности / Вестник Воронежского государственного технического университета. Т. 16. № 3. 2020. С. 7-13. DOI 10.25987/VSTU.2020.16.3.001.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ РЕМОДЕЛИРОВАНИЕ И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЕ К ЗАДАЧАМ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЭТАПНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Сараев П.В.

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»
д.т.н., доцент, профессор кафедры автоматизированных систем управления

Аннотация. В работе описаны идея и цель математического ремоделирования. Представлена нотация для формального описания задачи математического ремоделирования. Введено понятие сложности моделей. Показана целесообразность решения задач управления многоэтапными процессами на основе применения подхода ремоделирования. Представлен обобщённый алгоритм для сквозного управления сложными процессами.

Ключевые слова: математическое ремоделирование, машинное обучение, нотация, управление.

Введение

Математическое ремоделирование представляет собой подход, при котором происходит преобразование одного класса моделей в другой [1, 2]. В отличие от классической постановки задачи машинного обучения, в данном случае предполагается известной некоторая модель. Ремоделирование может считаться обобщением подходов, используемых в математике, таких как: линейаризация, построение разностных схем для дифференциальных уравнений и их систем, а с другой, представлять собой обобщение метода регуляризации А.Н.Тихонова для решения некорректно поставленных задач [3]. Близким подходом к ремоделированию является понятие суррогатного моделирования, которое предназначено для перехода от моделей систем, основанным на физическом представлении о протекающих процессах, но расчёт по которым занимает длительное время, к другим, формальным (суррогатным) моделям, но время работы применения которых существенно меньше [4, 5]. В отличие от суррогатного ремоделирование позволяет достигать и других целей, кроме снижения времени расчётов, например, делает возможным принципиальное решение некоторых задач. В связи с тем, что процедура построения новой модели на основе известной производится в общем случае на основе генерации множества данных на основе известной модели, то этот процесс может считаться активным экспериментом, в отличие от пассивного, когда множество данных уже полагается известным.

К таким задачам может относиться, например, задача сквозного управления сложными многоэтапными производствами. Примером такого процесса может выступать металлургический, в котором обработка продукции производится на нескольких переделах причём в каждом переделе возможно использование различных агрегатов. В этом случае для каждого агрегата, даже предназначенных для выполнения схожих задач, существует своя математическая либо некоторая алгоритмическая модель, часто представляемая в виде чёрного ящика. Сквозное управление подразумевает подбор технологических параметров производства на разных этапах с целью достижения определённых характеристик продукции на конечном этапе. В этом случае ремоделирование позволяет привести все модели к единой форме, например, к виду нейросетевых или нейро-нечётких, и дальнейшее применение алгоритмов управления. Унификация моделей в данном случае является тем самым мотивирующим фактором, которые приводит к необходимости трансформации моделей.

Целью данной работы является формализация описаний математического ремоделирования, определение соответствующей нотации, а также приложение этой нотации для описания процесса управления многоэтапными процессами.

Нотация процесса математического ремоделирования

Пусть f – некоторая известная модель, в частности,

$$f: X \in R^n \rightarrow R,$$

где X – пространство изменения входных величин. Исходя из каких принципов получена модель f , для нас не является важным. Обозначим через $M = \{M_i\}$ множество различных классов моделей, в качестве которых могут выступать такие: графовые модели; обыкновенные дифференциальные уравнения и их системы; дифференциальные уравнения в частных производных и их системы; разностные схемы; простейшие линейные по параметрам модели; линейные по параметрам полиномиальные модели; линейные по параметрам тригонометрические модели; нейронные сети прямого распространения; нейро-нечеткие модели, а также другие классы математических моделей. Для некоторой модели f класс, к которому она принадлежит, будем также обозначать как M_f .

Пусть g представляет собой модель другого класса M_g , к которому необходимо преобразовать модель f . Этот класс назовём ремоделирующим. Класс M_g может представлять некоторую структуру моделей, зависящих от множества параметров. Преобразование модели f в модель g , т.е. процесс математического ремоделирования, это поиск преобразования (алгоритма) $T: M_f \rightarrow M_g$. Обозначим через $\{X, Y\}$ множество данных (датасет в терминах машинного обучения), который получается на основе модели f и используется для идентификации g . Если M_f является классом нелинейных по параметрам моделей, а M_g представляет линейные по параметрам модели, то соответствующее преобразование T это линеаризация моделей. Допустимо, чтобы $M_f = M_g = M$, т.е. классы могут быть одинаковыми. В этом случае ремоделирование может иметь цель получение модели с меньшим числом параметров.

Обозначим через $C(f)$ оценку сложности модели $f: C: f \rightarrow R_+$, где $R_+ = [0; +\infty]$. Такая оценка должна представлять какую-либо меру качества или эффективности применения модели f . Эта оценка может быть формализована различными способами. Если эффективность применения модели g выше эффективности модели f , то этому должно соответствовать следующее соотношение сложностей моделей: $C(g) < C(f)$. Таким образом, можно постановить, что целью математического ремоделирования является упрощение, т.е. снижение сложности модели $C(\cdot)$ при переходе к новой. Предлагаются следующие варианты оценивания сложности моделей:

- принципиальная возможность решения задачи $C_p(\cdot)$ – принимает значение 0, если решение возможно, и $+\infty$, если нет;
- количество параметров в структуре модели $C_n(\cdot)$;
- норма вектора параметров $C_{pn}(\cdot)$;
- среднее время вычисления значения функции $C_t(\cdot)$;-- для входного вектора x ;
- объем памяти, отводимый на хранение параметров функции, $C_v(\cdot)$.

Применение оценки $C_{pn}(\cdot)$ является по сути задачей регуляризации исходной модели в контексте подхода, предложенного А.Н. Тихоновым. Получаемая модель g в этом случае будет являться параметрическим функционалом и дополняться членом регуляризации. Оценка $C_t(\cdot)$ означает, что применение исходной модели f затрачивает много времени для расчёта выхода по сравнению с g . Эта мотивация выступает в подходе суррогатного моделирования.

Обозначим степень упрощения моделей как $\Delta C(f, g) = C(f) - C(g)$. В ремоделировании мало простого выполнения условия $\Delta C(f, g) \geq 0$, целесообразнее достижение определённого уровня упрощения модели для порогов абсолютном выражении $\theta_C > 0$ или в относительном $k_C > 0$. Связь между этими значениями такова: $\theta_C = k_C \cdot C(f)$.

Так же, как и регуляризация, ремоделирование обычно задач приводит к снижению качества модели. Пусть определена ошибка модели как $\mathcal{E}: f \rightarrow R_+$, которая может

рассчитываться на основе некоторого тестового множества данных $\{X, Y\}_T$. Ухудшение качества модели означает, что $\varepsilon(g) > \varepsilon(f)$. Обозначим изменение точности через $\Delta\varepsilon(f, g) = \varepsilon(f) - \varepsilon(g) \leq 0$. Пусть задан допуск на возможное снижение качества моделей в абсолютном $\theta_\varepsilon > 0$ или относительном виде $k_\varepsilon > 0$. Они естественным образом связаны: $\theta_\varepsilon = k_\varepsilon \cdot \varepsilon(f)$.

Таким образом, можем формализовать задачу математического ремоделирования в следующей форме:

$$C(g)_{g \in M_g, \Delta C(f, g) \geq \theta_C, -\Delta\varepsilon(f, g) \leq \theta_\varepsilon} \rightarrow \min.$$

Получается, что при такой постановке реализуется идея метода регуляризации – достижение компромисса между повышением эффективности (снижением сложности) модели и снижением качества модели.

Сквозное управление многоэтапными процессами

Рассмотрим оценку $C_p(\cdot)$. Если она для f равна $+\infty$, то имеющаяся модель f не может в принципе быть использована для решения поставленной задачи. Например, если решается задача сквозного управления многоэтапными процессами, наличие для агрегатов множества моделей, каждая из которых представлена в своём классе, может не обеспечить решение этой задачи. В то же время, после преобразования всех моделей к единому классу может позволить справиться с этой задачей.

Если, например, рассматривается металлургическое производство, то получение продукции производится путём обработки исходных материалов в конечную продукцию через крупные технологические этапы, называемые переделами. В частности, для получения листового проката первым в ходе первого передела получается чугун, в ходе второго – сталь, а в ходе третьего – листовой прокат. При этом на каждом переделе продукция проходит несколько стадий обработки. Каждая технологическая обработка производится на агрегатах, которые могут иметь свою специфику. Фактически, для каждого агрегата имеется некоторая математическая или алгоритмическая модель, которая опирается на свой математический аппарат: дифференциальные или разностные уравнения в обычных или частных производных или разностях и их системы, статистические, логические модели, модели в виде «чёрных ящиков», представленные в виде программ для вычислительных систем. Решение задачи сквозного управления может быть возможно путём математического ремоделирования при унификации моделей. В качестве единого ремоделирующего класса, к которому преобразуются имеющиеся модели агрегатов, выступают нейросетевые или нейронечёткие модели (если требуется интерпретация зависимостей).

Обобщённый алгоритм решения задачи управления многоэтапными процессами может быть представлен в следующем виде:

1. Выбор ремоделирующего класса моделей M_g .
2. Решение комплекса задач для каждого агрегата A :
 - 2.1) определение допустимой погрешности снижения точности модели при её трансформации: $\theta_\varepsilon(A)$;
 - 2.2) генерация обучающего множества данных $\{X, Y\}_A$ на основе модели этого агрегата f_A ; выделение из него тестового множества;
 - 2.3) построение ремоделирующей модели $g(A)$ таким образом, чтобы допустимая погрешность на тестовом множестве не превышала $\theta_\varepsilon(A)$.
3. Решение задачи сквозного управления на основе решения множества обратных задач. Пример построения алгоритма решения подобных задач на основе нейронных сетей описан в [6].

Заключение

В данной работе представлено описание математического ремоделированию. Введена нотация для представления процедуры трансформации моделей. Введённые понятия

позволили формализовать постановку задачи ремоделирования. Показано, что математическое ремоделирование в некотором смысле может рассматриваться как обобщение ряда подходов, известных в математике: линейризации моделей, регуляризации, суррогатного моделирования. Показано основное преимущество ремоделирования, связанное с возможностью решения задач управления сложными многоэтапными процессами, при котором имеющиеся модели агрегатов представляются в унифицированном виде. Представлен обобщённый алгоритм для решения задачи сквозного управления.

Финансирование

Исследование выполняется за счет гранта РНФ № 24-21-00474 «Разработка и исследование методов и автоматизированной системы ремоделирования систем машинного обучения в анализе больших данных», <https://rscf.ru/project/24-21-00474>.

Список литературы

1. Блюмин С.Л., Барышев В.Г., Коцарь С.Л., Поляков Б.А. Применение несимметричного ортогонального планирования при исследовании процессов прокатки // Первая Всесоюзная научно-техническая конференция «Применение ЭВМ в металлургии». – М.: МИСиС, 1973. – С. 118-119.
2. Сараев П.В., Блюмин С.Л., Галкин А.В. Нейросетевое и нейро-нечеткое ремоделирование в управлении металлургическими процессами // Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство». ТОМ II. – Старый Оскол: СТИ МИСИС, 2016. – С. 102-105.
3. Тихонов А. Н. О некорректных задачах линейной алгебры и устойчивом методе их решения // Доклады Академии наук СССР. – 1965. – Т. 163, N 3. – С. 591-594.
4. Burnaev E., Grihon S. Construction of the metamodels in support of stiffened panel optimization // Math. Methods in Reliability: Proc. Int. Conf. M.: CPI, 2009. – P. 124-128.
5. Huang C., Radi B., Hani A.E. Uncertainty analysis of deep drawing using surrogate model based probabilistic method // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. Vol. 86, Iss. 9. – P. 3229-3240.
6. Сараев П.В. Многошаговое оптимальное нейросетевое управление // Проблемы управления, 2008. – №5. – С. 14-18.

**РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПО АДАПТИВНОМУ
УПРАВЛЕНИЮ СКОРОСТЬЮ МАНИПУЛЯЦИИ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ
ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МОДЕМАХ ДЕКАМЕТРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ**

Савельев М.А.¹, Бредихина Е.В.², Колбая К.Ч.², Тарасов М.В.¹

¹Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина

²ВУНЦ ВВС «ВВА» им. проф.Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж)

Аннотация. Работа направлена на обоснование технических решений по обеспечению устойчиво высоких скоростей передачи информации в системах автоматизированной декаметровый радиосвязи, функционирующих в условиях многолучевости, при больших значениях доплеровского сдвига частоты принимаемого сигнала при связи с летательными аппаратами с применением параллельных высокоскоростных модемов с OFDM с возможностью адаптации по скорости передачи.

Ключевые слова: автоматизированная декаметровый радиосвязь, параллельные высокоскоростные модемы с OFDM, эффект многолучевого распространения радиоволн, доплеровский сдвиг частоты, адаптация по скорости передачи.

Введение

Интенсивное развитие информационных технологий предъявляет повышенные требования к беспроводным средствам связи и коммуникаций по передачи данных на большие расстояния. При этом особое внимание уделяется декаметровому (ДКМ) диапазону с ионосферным распространением радиоволн, в котором относительно высокие скорости передачи информации до 9,6 кбит/с обеспечиваются применением параллельных модемов с технологией OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing).

Проведенный анализ характеристик параллельных высокоскоростных модемов отечественных и зарубежных фирм, применяемых для связи в ДКМ диапазоне с помехоустойчивым кодированием, показывает большую зависимость скорости передачи информации от уровня и интенсивности замираний амплитуды принимаемых радиосигналов, а также от величины доплеровского сдвига рабочей частоты в канале связи.

Следует выделить важную особенность автоматизированной ДКМ радиосвязи – высокий уровень и динамичность межстанционных помех, прежде всего, из-за невозможности строгого распределения рабочих частот для абонентов связи и их адаптивного изменения в зависимости от условий радиосвязи, что приводит к необходимости применения адаптивного помехоустойчивого кодирования. В таблице 1 [1,2] хорошо показана динамика обеспечиваемых информационных скоростей для различных применяемых сигнально-кодовых конструкций (СКК).

Таблица 1. Расчетные информационные скорости (бит/с) для различных СКК.

Тип модуляции	Кодовая скорость			
	1/1	3/4	2/3	1/2
DBPSK	2770	2078	1847	1385
DQPSK	5540	4155	3693	2770
DPSK-8	8310	6232	5540	4155
QAM-16	11080	8310	7387	5540
QAM-32	13850	10388	9234	6925

Основной целью проводимых исследований является обоснование технических решений по обеспечению устойчиво высоких скоростей передачи информации в системах автоматизированной декаметровая радиосвязи, особенно с высокоскоростными летательными аппаратами.

Материалы и методы

В настоящей работе проведен анализ наиболее современных публикаций (статей и диссертационных работ), посвященных исследованиям по обеспечению функционирования параллельных высокоскоростных модемов на основе OFDM. Оценивались применяемые математические модели каналов ДКМ радиосвязи для учета высокой динамики замираний, способы организации временной и частотной синхронизации, способы снижения эффекта многолучевого ионосферного распространения радиоволн.

Обсуждение и результаты

Параллельные высокоскоростные модемы в каналах ДКМ связи обеспечивают их устойчивость, прежде всего, за счет возможности восстановления ряда поднесущих формируемого OFDM-сигнала с помощью канального кодирования.

Однако для широкого внедрения параллельных высокоскоростных OFDM-модемов в автоматизированной ДКМ радиосвязи необходимо решить ряд технических задач [2]: обеспечить относительную стационарность организуемых каналов связи, минимизировать сбои тактовой синхронизации с учетом многоскачковости и эффекта Доплера при связи с высокоскоростными абонентами.

Использование пилот-сигналов в структуре OFDM-сигналов для оценки характеристик канала связи, временных задержек, а также количественной оценки доплеровского сдвига частоты в определенной степени решает данные технические задачи. Однако, пилот-сигналы, не несущие информационной составляющей, могут занимать до 10% от длительности пакета. Это приводит к снижению скорости передачи информации и к увеличению энергетических затрат на организацию высокоскоростной связи.

При адаптивном управлении скоростью передачи информации в цифровом виде с использованием высокоскоростных OFDM модемов осуществляется оперативное изменение частотного сдвига между составляющими формируемого сигнала Δf . В [2] определены требования к интервалу частотного разноса между поднесущими для OFDM-сигнала:

$$f_{Dmax}/0,03 \leq \Delta f \leq 1/4 \tau_{max}, \quad (1)$$

где τ_{max} – максимальная задержка между лучами в многолучевом канале,
 f_{Dmax} – максимальная частота Доплеровского рассеяния.

Анализ значений доплеровского сдвига в каналах ионосферной связи с высокоподвижными абонентами, например, летательными аппаратами при их полете в пределах 2400 км/ч, показывает изменение f_{Dmax} до 60 Гц. При этом значение расстояния между поднесущими Δf в формируемом OFDM сигнале достигает 2000 Гц, что может привести к нарушению соотношения (1) и нарушает устойчивость работы OFDM-модемов.

Задачу адаптивного управления интервалом между поднесущими Δf и соответственно скоростью передачи сообщений можно наглядно представить на основе модели канала цифровой радиосвязи на рисунке 1 [3].

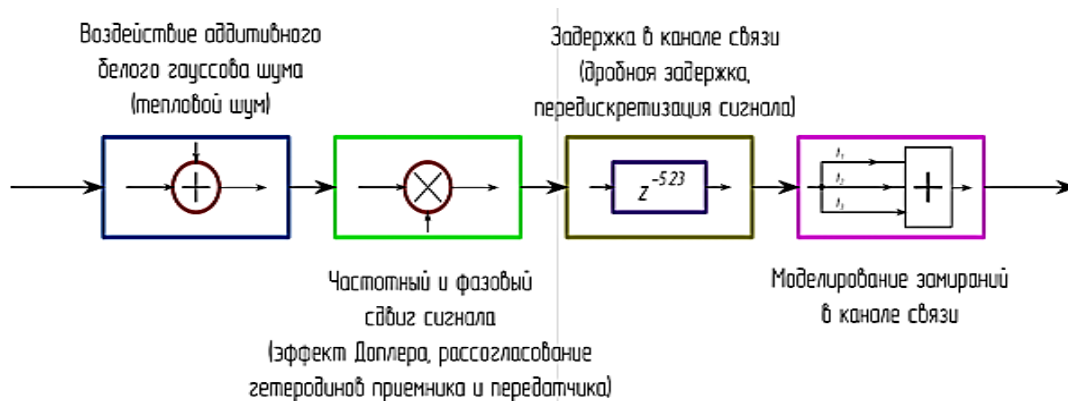


Рисунок 1. Модель канала цифровой радиосвязи.

Для повышения помехоустойчивости OFDM-модемов находит применение частотная синхронизация по минимуму среднеквадратичного отклонения от ближайших точек созвездия [2], которая позволяет использовать все поднесущие в полосе передачи OFDM-сигнала, что приводит к увеличению его суммарной энергии.

Однако OFDM-модем, функционирующий на основе данной синхронизации, устойчив, если частотный сдвиг не превышает половины расстояния между поднесущими Δf , а среднеквадратичное отклонение от ближайших точек созвездия периодически интервалу ортогональности. При увеличении частотного рассогласования с учетом доплеровского сдвига более 40 Гц приводит к нарушению синхронизации.

Представленная модель канала цифровой ДКМ радиосвязи определяет необходимость точного определения закона замираний с целью повышения устойчивости работы высокоскоростных модемов.

На практике наиболее широко применяют двухпараметрические статистические модели ДКМ радиоканалов с замираниями огибающей по законам Райса, Накагами и Рэля [4, 5]. В выше приведенном материале работы для оценки уровня замираний в ДКМ канале связи учитывался только релеевский закон распределения. Реализация однокачкового распространения радиоволн до корреспондента позволяет сузить перечень статистических моделей замираний до двух: Райса, Накагами [4, 5].

Формирование оценки глубины замираний можно осуществить бестестовым способом на длительности элементарной посылки при измерении амплитуды смеси сигнала и помехи на используемых субчастотах в пределах выделенной полосы частот и значения амплитуды шума на неиспользуемых субчастотах (с применением устройства измерителя уровня помех). Искомые параметры моделей плотностей распределений Райса и Накагами измеренной случайной величины определяются на основе нахождения максимумов функции правдоподобия методом наискорейшего спуска: h_0^2 и h_p^2 – координаты максимума функции правдоподобия $L(h_0^2, h_p^2)$ для закона Райса, h_0^2 и m – координаты максимума функции правдоподобия $L(h_0^2, m)$ для закона Накагами.

Выбор модели замираний для текущего состояния радиоканала осуществляется на основе метода отношения правдоподобий: если $L(h_0^2, h_p^2) > L(h_0^2, m)$, то принимается решение в пользу модели замирания по закону Райса, а, если $L(h_0^2, h_p^2) < L(h_0^2, m)$, то принимается решение о большей адекватности модели замираний по закону Накагами.

На основе принятого решения об адекватности закона замираний и определении его параметров формируется текущая оценка значения расстояния между поднесущими Δf в формируемом OFDM сигнале как ограничение сверху.

Отдельно следует рассмотреть вопрос обеспечения временной и частотной синхронизации в работе высокоскоростных OFDM модемов в цифровых системах декаметровый радиосвязи.

Временная синхронизация важна для обеспечения синхронной работы модемов на приемной и передающей сторонах канала связи, например в режиме ППРЧ. Частотная синхронизация важна для компенсации рассинхронизации приемной и передающей аппаратуры из-за нестабильности настройки рабочих частот, а также из-за доплеровского сдвига в канале связи при ионосферном распространении радиоволн и высокой скорости движения объектов связи. Реализуемые в настоящее время алгоритмы частотной синхронизации в работе обеспечивает устойчивую работу, хоть и с потерей в скорости передачи, при частотном сдвиге не более 40 Гц.

Расширение функциональных возможностей высокоскоростных OFDM-модемов системы ДКМ связи особенно при организации связи с высокоскоростными летательными аппаратами обеспечивается внедрением принудительной синхронизацией с использованием как приемников глобальных спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS, так и другого навигационного оборудования, позволяющего определять вектор и величину путевой скорости абонента связи относительно друг друга.

Это позволяет вычислять доплеровский сдвиг рабочей частоты в канале связи и оперативно его компенсировать в системах связи с обратной связью при передаче его значения для компенсации абоненту связи.

На рисунке 2 приведен алгоритм организации автоматизированной ДКМ радиосвязи, который позволяет осуществить принудительную синхронизацию по несущей частоте приемные и передающие устройства адаптивной радиолинии:

1. Вызов (корреспондент А): Передача команды ВЫЗОВ на 7 четных субчастотах (СБЧ) возле выбранной фиксированной частоты (ФЧ). Команда содержит ключевые данные: номер ФЧ/СБЧ приема А, данные местоположения.

2. Сканирование (корреспондент Б): Приемник сканирует четные СБЧ (0,4 с/канал). При обнаружении ВЫЗОВА задерживается на 0,8 с для приема команды. Аппаратура Б переключается на указанную в команде ОСБЧ.

3. Ответ (корреспондент Б): Передача команды ОТВЕТ с номером СБЧ/ФЧ Б и поправкой на доплеровский сдвиг.

4. Подтверждение (корреспондент А): После приема ОТВЕТА передатчик А настраивается на СБЧ Б и отправляет КВИТАНЦИЮ-1 (4 с).

Обмен тремя командами (ВЫЗОВ-ОТВЕТ-КВИТАНЦИЯ-1) формирует дуплексный канал.

5. Режим фазирования: При отсутствии КВИТАНЦИИ-1 в течение 30 с или затяжном фазировании (>2 мин) Б отправляет КВИТАНЦИЮ-2 и переходит в дежурный режим.

6. Ведение связи: При успешном фазировании оба корреспондента переходят в режим связи.

Синхронизация устройств цифровой связи с использованием приемников ГЛОНАСС/GPS позволяет упростить структуру приемника и значительно сократить затраты на синхронизацию приемного устройства.

Для обеспечения высоких скоростей передачи информации с высокоскоростными модемами следует выделить еще одну важную функцию приемников ГЛОНАСС/GPS в составе аппаратуры автоматизированной ДКМ радиосвязи – определение параметров ионосферы (критической и минимально пригодной для связи рабочей частоты) в реальном времени в пассивном режиме [5], которые являются определяющими для формирования односкачковых радиотрасс до абонента связи. Организация односкачковой ионосферной радиотрассы позволяет минимизировать уровень замираний в канале связи, повысить их устойчивость.

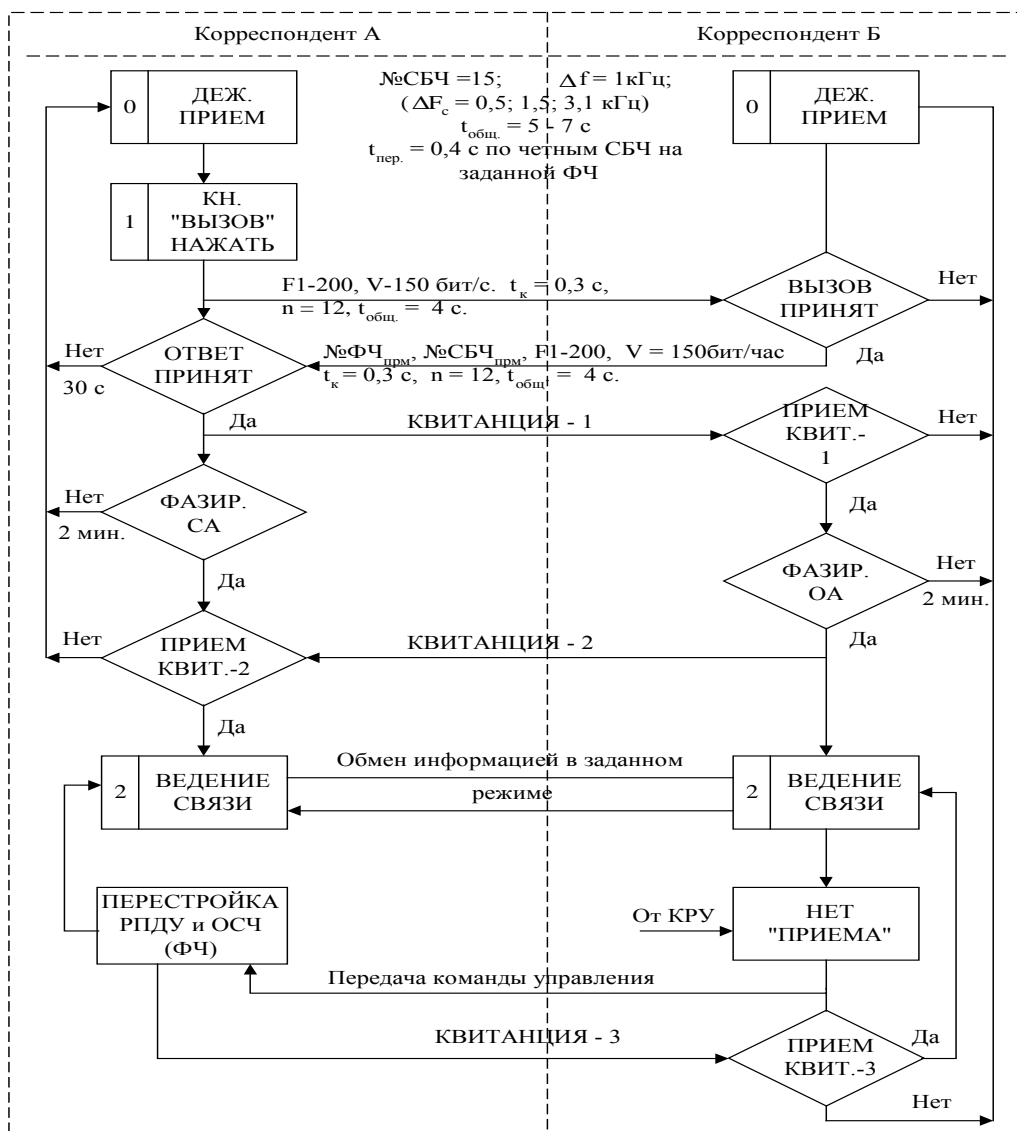


Рисунок 2. Структура алгоритма функционирования автоматизированной частотно-адаптивной радиолинии.

Заключение

Достижение устойчиво высоких скоростей передачи информации до 9,6 кбит/св системах автоматизированной ДКМ радиосвязис применением параллельных высокоскоростных модемов с OFDM возможно при комплексировании с двухчастотными приемниками спутниковых навигационных сигналов ГЛОНАСС/GPS.

Двухчастотные приемники спутниковых навигационных сигналов ГЛОНАСС/GPS позволяют программным способом определять основные параметры ионосферного канала связи (критической и минимально пригодной рабочих частот) в реальном времени в пассивном режиме, которые являются определяющими для формирования односкачковых радиолиний до абонента связи. Организация односкачковой ионосферной радиотрассы позволяет минимизировать уровень замираний в канале связи, повысить устойчивость работы высокоскоростных OFDM модемов.

Формирование оценки глубины замираний в канале связи бестестовым способом на длительности элементарной принимаемой посылки позволяет более точно оценивать максимальную задержку из-за замираний и более точно осуществлять адаптивное управление оптимальным расстоянием между поднесущими в применяемом OFDM сигнале.

Данные приемников ГЛОНАСС/GPS позволяют определять вектор и величину путевой скорости высокоскоростного объекта связи относительно земной поверхности,

вычислять доплеровский сдвиг рабочей частоты в канале связи и оперативно его компенсировать за счет принудительной синхронизации несущей частоты.

Список литературы

1. Бочков И.Г., Доброхотов А.В., Дулькейт И.В., Землянов И.С., Мотин О.В., Хазан В.Л. Исследование влияния характеристик декаметрового канала радиосвязи на скорость передачи данных. Труды 4-го ЦНИИ МО РФ (Научно-исследовательский центр авиационной техники и вооружения, 6 НИУ) вып.110, ч.1, «Эффективность автоматизированных систем управления авиацией, систем связи и РТО». – Ногинск, – 2014 г. – С. 26-33.
2. Землянов И.С. Модемы с ортогональными поднесущими мобильных систем коротковолновой связи с адаптацией к условиям распространения радиоволн// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Омск: АО«Омский научно-исследовательский институт приборостроения». –2016г. – 183 с.
3. Боев Н.М. Синхронизация цифровых систем связи по сигналам спутниковых радионавигационных систем. // Автономные аэрокосмические системы. – Красноярск boev@uav-siberia.com.
4. Смаль М.С. Бестестовые способы оценивания состояния коротковолнового радиоканала в адаптивных радиолиниях // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – С.-П.: Публичное АО «Российский институт мощного радиостроения». 2017г. 147 с.
5. Патент РФ № 2022129155, 10.11.2022. Савельев М.А., Косинов Е.С., Шелковников М.А. Система автоматического управления декаметровой радиосвязью // Патент России №2800643. 2023. Бюл. № 31.

ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ О СКОРОСТИ КИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ С ПОМОЩЬЮ ЧАТ-БОТОВ

Коновалова В.С.¹, Ваганов Н.А.², Спиридонов Е.М.², Раджабов С.З.³

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

¹д.т.н., доцент, профессор кафедры естественных наук и техносферной безопасности

²аспирант

³магистрант

Аннотация. В статье приведены результаты поиска с помощью нескольких распространенных чат-ботов данных о скорости коррозии углеродистой стали в сернокислом растворе. Для поиска использовались разработанные в разных странах чат-боты ChatGPT, Алиса, Mistral, DeepSeek и Genie. Запросы составлялись в текстовой форме. Данные, полученные от чат-ботов, сравнивались с установленными экспериментально при изучении кислотной коррозии сталей при разных температурах. Чат-боты не выдают точных значений, а указывают достаточно широкий интервал значений показателей скорости коррозии, который далек от экспериментального результата. Чат-боты могут указывать источники информации со ссылками, перейдя по которым пользователь может ознакомиться с более подробной информацией и самостоятельно поискать в ней нужные данные. Однако и указанные литературные источники не всегда относятся к объекту поиска, а лишь в общих положениях затрагивают предметную область, поэтому найти в них требуемые данные не получится.

Ключевые слова: поиск данных, нейросетевой поиск, использование нейросетей, генерирование данных чат-ботом, скорость коррозии стали, скорость кислотной коррозии.

Введение

Чат-боты – это виртуальные помощники на основе искусственного интеллекта, которые могут взаимодействовать с пользователями посредством общения на естественном языке. Эти интеллектуальные боты могут отвечать на вопросы, предоставлять информацию и помогать в выполнении различных задач. В контексте научных исследований чат-боты играют важную роль в ускорении производства, предоставляя быстрые и точные ответы на запросы, связанные с наукой. Они могут помочь ученым и исследователям получить доступ к нужной информации, проанализировать экспериментальные данные, составить отчеты и даже помочь в процессе написания работ. Благодаря способности обучаться в процессе взаимодействия с пользователем чат-боты постоянно совершенствуют свои ответы, что делает их ценным ресурсом для научных сообществ.

Чаще всего в научных исследованиях чат-боты применяются для подбора научной литературы [1-3] и при написании статей [4-6]. Чат-боты могут переводить аудио и видео файлы в текст, составлять краткие пересказы содержания. При поиске статей и нормативных документов нейросети часто выдают недостоверную информацию, «придумывая» публикации [7-10]. Использование чат-ботов при подготовке рукописей заключается не только в форматировании и редактировании структуры текста [11-13], но также в интерпретации данных и генерировании результатов исследований [14-16], что считается неэтичным и не допускается многими редакциями.

Используются нейросети и в научных исследованиях. Инструменты на основе ИИ дают представление об эффективности методов предотвращения коррозии и помогают исследователям определить наиболее эффективные ингибиторы. Анализируя данные,

проводя импедансные тесты и используя микроскопические методы, чат-боты помогают оценить и выбрать оптимальные ингибиторы, способствуя развитию исследований в области борьбы с коррозией [17]. Чат-боты можно использовать для подбора средств и методов защиты от коррозии [18, 19].

Чат-боты с искусственным интеллектом могут упростить этот процесс, представляя данные в табличной форме, создавая графики и визуализируя результаты. С помощью чат-ботов с искусственным интеллектом исследователи могут более эффективно выполнять задачи по анализу данных, сосредоточившись на извлечении значимой информации. Автоматизируя визуализацию данных и делая ее более доступной, эти инструменты улучшают понимание и интерпретацию результатов экспериментов. ИИ-помощники предоставляют исследователям инструменты для создания значимых визуализаций, будь то построение орбиталей молекул, представление кинетики реакций или отображение других научных данных.

Очевидно, что существует необходимость повышения осведомленности и уровня подготовки в области использования технологий искусственного интеллекта в научных исследованиях. Поскольку искусственный интеллект продолжает революционизировать различные отрасли исследователям крайне важно лучше понимать возможности и ограничения чат-ботов с искусственным интеллектом.

Материалы и методы

В данной работе мы попробуем с помощью чат-ботов найти с какой скоростью растворяется сталь марки Ст3 в 0,1 н растворе серной кислоты при 50 °С. Мы проводили экспериментальные исследования по изучению кислотной коррозии сталей при разных температурах, в ходе которых определялись показатели скорости коррозии. Так, для стали марки Ст3 значение показателя изменения массы в 0,1 н растворе серной кислоты при 50 °С составляет 46 г/(м²·ч), а глубинный показатель скорости коррозии равен 56 мм/год [20].

Для исследования выбраны чат-боты ChatGPT-5 (США), Алиса (Россия), Mistral (Франция), DeepSeek (Китай) и Genie (Великобритания). У каждого чат-бота своя область поиска в Интернете, поэтому мы расширили охват, используя нейросетевые продукты из разных стран. Отдельно хочется сказать про Алису, которая была интегрирована в Яндекс-браузер в качестве голосового помощника, а затем встроена в поисковую систему Яндекса. Работая с сервисами Яндекса для поиска и обработки информации, пользователи задействуют эту нейросеть.

Результаты

При поиске данных о скорости коррозии стали марки Ст3 в 0,1 н растворе серной кислоты при 50 °С с помощью чат-ботов получены следующие результаты:

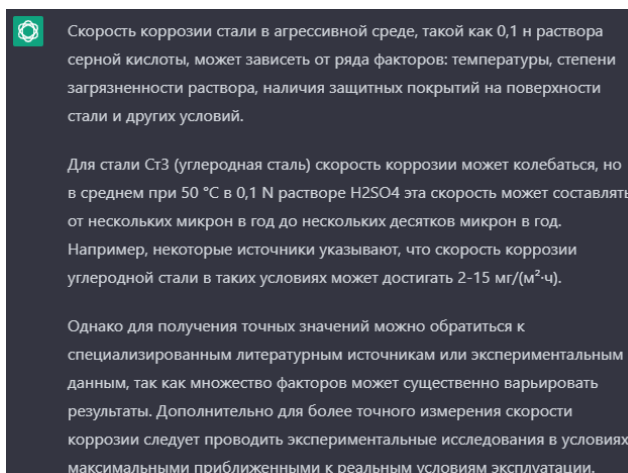


Рисунок 1. Ответ ChatGPT.

В предоставленном источнике нет точных численных значений скорости растворения стали Ст3 в 0,1 N растворе серной кислоты при 50°C. Однако есть общая информация о характере процесса:

1. Скорость коррозии увеличивается с повышением температуры
2. При концентрации H₂SO₄ около 50-60% скорость коррозии достигает максимальных значений
3. При концентрации 70% скорость коррозии снижается до минимума

Для получения точного значения скорости растворения при указанных условиях (0,1 N, 50°C) необходимо провести прямые экспериментальные измерения, так как в источнике приведены только общие закономерности процесса в более широком диапазоне концентраций (5-90%) и температур (25, 40, 60, 80°C).

Рисунок 2. Ответ Алисы.

Worked for 2.5s

К сожалению, я не смог найти точное значение скорости растворения стали Ст3 в 0,1 N растворе серной кислоты при 50 градусах Цельсия. Однако, я могу предложить следующее:

Скорость коррозии стали в растворе серной кислоты увеличивается с повышением температуры. Например, при температурах 25, 60 и 80 °C скорость коррозии составляет 17,2, 117 и 366 г/(м²·ч) соответственно ¹.

а)

Sources

1 monographies.ru

Научная электронная библиотека

В фоновом растворе серной кислоты с повышением температуры скорость коррозии систематически возрастает и составляет 17,2; 117 и 366 г/(м²·ч) при 25, 60 и 80 °C.

б)

Рисунок 3. Ответ Mistral.

Скорость растворения стали марки Ст3 в 0,1 n растворе серной кислоты при 50 °C зависит от множества факторов, включая состав стали, концентрацию кислоты, температуру, наличие ингибиторов коррозии и условий перемешивания.

Ориентировочные данные:

- Для углеродистых сталей (включая Ст3) в разбавленной серной кислоте скорость коррозии может составлять **0,1–1 мм/год** при комнатной температуре.
- При **50 °C** скорость увеличивается примерно в **2–5 раз** из-за ускорения химической реакции.
- В **0,1 n H₂SO₄** (≈0,05 M) растворение умеренное, но выше, чем в более слабых кислотах.

Уточнение:

Точные данные требуют экспериментального определения или поиска специализированных справочников по коррозии (например, "Коррозия и защита металлов" или ASTM стандарты).

Если вам нужен точный расчёт, укажите:

- Состав стали Ст3 (содержание углерода, примесей).
- Наличие аэрации раствора.
- Время экспозиции.

Рисунок 4. Ответ DeepSeek.

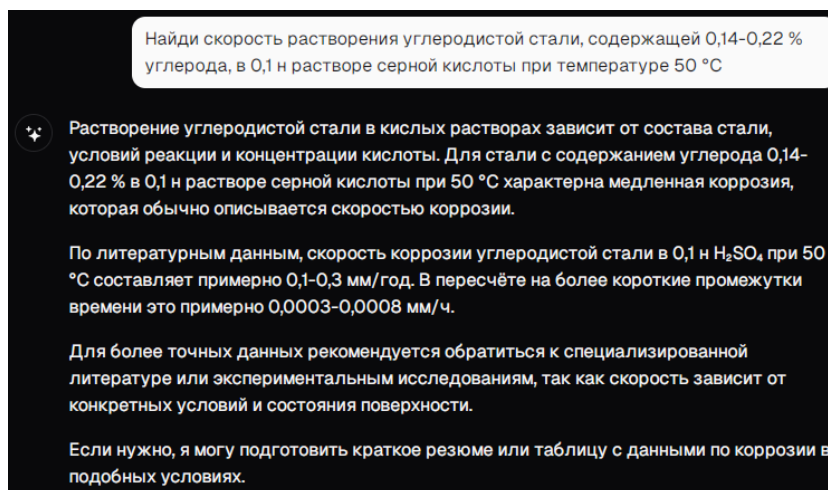


Скорость коррозии стали Ст3 в 0,1 N растворе серной кислоты при 50 градусах Цельсия обычно составляет около 0,2–0,5 мм/год, в зависимости от конкретных условий. Однако, для получения точного значения лучше обратиться к специфическим экспериментальным данным, так как различные факторы, такие как состояние поверхности, наличие загрязняющих веществ, и характеристики самой стали, могут существенно повлиять на скорость коррозии. Если вам требуется более детальная информация, вы можете ознакомиться с научными статьями или отчетами по коррозии, в которых проводились исследования, касающиеся данного вопроса.

Рисунок 5. Ответ Genie.

В ответах чат-ботов нет четких значений показателей скорости коррозии стали, в лучшем случае приводят достаточно широкие интервалы. Чат-бот Mistral выдал значения скорости коррозии стали для нескольких температур, среди которых нет заданных 50 °С. Согласно указанному источнику (рисунок 3-б), данные авторами статьи «Тюрина М.В., Анфилов К.Л., Авдеев Я.Г. Усиление защитного действия азотсодержащих ингибиторов коррозии стали в серной кислоте добавками катионов меди (II) // Химия в нехимическом вузе: материалы третьей Всероссийской конференции (Москва, 10–12.09.2015 г.). – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – С. 160-163.» получены при исследовании коррозии стали в 2 М растворе серной кислоты. Несмотря на то, что Mistral является разработкой французской компании, поиск проведен по русскоязычной научной литературе. Следовательно, чат-боты при поиске информации ориентируются на регион проживания пользователя, распознавая язык текста запроса и/или отслеживая местоположение через браузер или приложение.

Мы предположили, что нейросети могли не понять марку стали Ст3, поэтому для расширения поиска в запросе указали, что сталь углеродистая, содержит 0,14-0,22 % углерода. Результат получился следующим:



Найди скорость растворения углеродистой стали, содержащей 0,14-0,22 % углерода, в 0,1 н растворе серной кислоты при температуре 50 °С

✦ Растворение углеродистой стали в кислых растворах зависит от состава стали, условий реакции и концентрации кислоты. Для стали с содержанием углерода 0,14-0,22 % в 0,1 н растворе серной кислоты при 50 °С характерна медленная коррозия, которая обычно описывается скоростью коррозии.

По литературным данным, скорость коррозии углеродистой стали в 0,1 н H₂SO₄ при 50 °С составляет примерно 0,1-0,3 мм/год. В пересчёте на более короткие промежутки времени это примерно 0,0003-0,0008 мм/ч.

Для более точных данных рекомендуется обратиться к специализированной литературе или экспериментальным исследованиям, так как скорость зависит от конкретных условий и состояния поверхности.

Если нужно, я могу подготовить краткое резюме или таблицу с данными по коррозии в подобных условиях.

Рисунок 6. Ответ ChatGPT.

Исходные данные:

- Концентрация раствора H_2SO_4 : 0,1 н
- Температура: 50°C
- Содержание углерода в стали: 0,14-0,22%

Расчет скорости растворения:

Для стали марки Ст3 (0,14-0,22% С) базовая скорость коррозии в 0,1 н растворе H_2SO_4 составляет **70,37 единиц**.

Влияние температуры:

При повышении температуры на каждые 10°C скорость анодного растворения увеличивается в среднем в **2,3 раза**.

Механизм процесса:

Коррозия протекает по электрохимическому механизму с образованием гальванических пар «железо-углерод». Чем больше содержание углерода, тем больше таких пар, и тем быстрее протекает процесс растворения.

Особенности процесса:

- Энергия активации процесса коррозии находится в интервале **37,7-87,9 кДж/моль**
- При повышенном содержании углерода коррозионные процессы начинаются позже, но после их начала растворение происходит быстрее
- Защитные пленки при повышенной температуре разрушаются, что ускоряет процесс коррозии

Важно отметить:

Для точного определения скорости растворения при конкретной температуре необходимо провести экспериментальные измерения, так как приведенные данные являются ориентировочными.

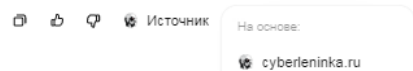


Рисунок 7. Ответ Алисы.

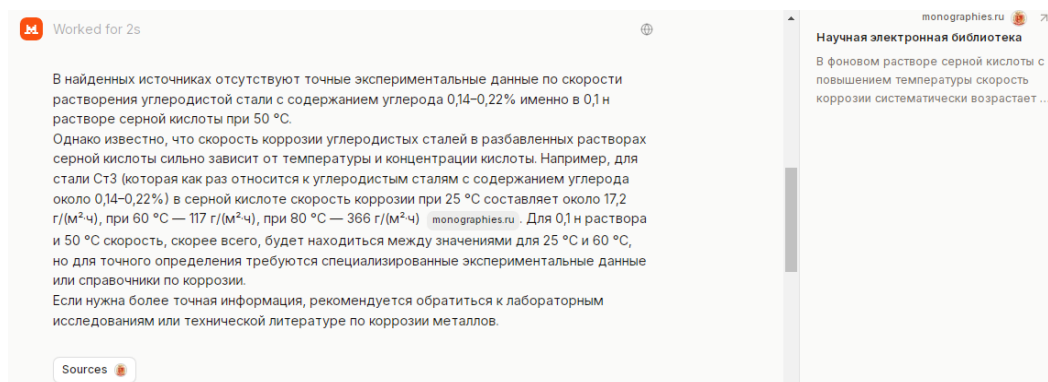


Рисунок 8. Ответ Mistral.

Скорость растворения углеродистой стали в растворе серной кислоты зависит от множества факторов, таких как состав стали, концентрация кислоты, температура, наличие ингибиторов коррозии и других условий.

Для стали с содержанием углерода **0,14–0,22%** в **0,1 н H_2SO_4** при **50°C** можно ориентироваться на следующие данные:

- **Скорость коррозии (растворения)** может составлять **0,5–2 мм/год** (в зависимости от структуры стали и условий).
- В более агрессивных средах (например, при повышении концентрации кислоты или температуры) скорость может увеличиваться.

Если вам нужны точные экспериментальные данные, рекомендуется обратиться к специализированным исследованиям по коррозии металлов или провести лабораторные испытания.

Хотите уточнить какие-либо параметры?

Рисунок 9. Ответ DeepSeek.

Скорость растворения стали с содержанием углерода 0,14-0,22% в 0,1н растворе серной кислоты при температуре 50°C можно оценить на основе имеющихся данных о коррозии в подобных условиях.

Основные факторы, влияющие на скорость коррозии:

- **Температура:** Повышение температуры приводит к росту скорости анодного растворения. По исследованиям, каждое повышение температуры на 10°C увеличивает скорость коррозии примерно в 2,3 раза.
- **Содержание углерода:** Чем выше содержание углерода, тем больше энергия активации процесса коррозии, что может замедлять начало коррозионных процессов. Однако, после начала коррозии сталь с более высоким содержанием углерода растворяется быстрее.

Оценка скорости растворения:

Для углеродистой стали в 0,1н растворе серной кислоты можно ожидать примерно такие значения:

- **Скорость коррозии** в условиях с низким до умеренного содержанием углерода (например, 0,14-0,22%) может колебаться в пределах **0,1 - 0,2 мм/год** при 50°C, основываясь на средних данных о коррозии углеродистой стали в кислых средах.

Практические данные:

Исследования показывают, что в 0,1н растворе серной кислоты при 50°C можно ожидать **потерю массы** от стальных образцов в диапазоне от 0,1 до 0,2 г/(м²·час), что соответствует порядку величины 0,1-0,2 мм в год.

Заключение:

Если вам нужны более точные данные, стоит провести эксперименты, так как на практике скорость коррозии может варьироваться в зависимости от условий (чистота кислоты, состояние металлической поверхности и т.д.).



10. Ответ Genie.

При таком варианте запроса ответы по-прежнему содержат в основном интервалы значений показателей скорости коррозии стали. Ответ Алисы содержит данные из статьи одного из авторов с результатами исследования кислотной коррозии сталей [20]. В ответе Mistral те же данные, что и при предыдущем запросе (рисунок 3) с указанием того же источника. Чат-бот Genie в этом случае привел большое количество источников, среди которых та же статья с экспериментальными данными [20], на которую ссылалась Алиса, а также РД РТМ 26-07-225-79 Конструкционные материалы для деталей трубопроводной арматуры, работающей в средах химической промышленности; Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования: учебное пособие/ М.И. Жарский [и др.]. – Минск: Выш. шк., 2012. – 303 с.; Гарост А.И. Курс лекций «Защита металлов от коррозии». – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2018. – 122 с.; Тезисы докладов к научно-техническому семинару «Коррозионная стойкость новых сталей и сплавов и ускоренные методы их контроля на межкристаллитную коррозию». – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1978. – 88 с.; Березовская В.В., Березовский А.В. Коррозионно-стойкие стали и сплавы: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2019. – 244 с.; Радин М.А., Михайлова И.С., Луканина Т.Л. Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии. Учебное пособие. – СПб.: СПбГТУРП, 2014. – 210 с.

Несмотря на то, что чат-боты зачастую не могут дать четкого ответа при поиске экспериментальных данных, они указывают источники данных, при ознакомлении с которыми пользователь может найти требуемую информацию или близко связанную с ней.

Заключение

Очевидно, что у чат-ботов с искусственным интеллектом есть определенные ограничения. Они не могут выдавать результаты без участия исследователей. Они не могут

заменить идеи, опыт, суждения и индивидуальность исследователей. В конечном счете, несмотря на высокий уровень интеллекта чат-ботов с искусственным интеллектом, они могут работать только на основе инструкций, полученных от операторов-людей. Таким образом, ответственность за результаты лежит исключительно на операторах-людях или исследователях. Чат-боты с искусственным интеллектом могут служить только помощниками исследователей.

Список литературы

1. Jee H. Emergence of artificial intelligence chatbots in scientific research // *Journal of Exercise Rehabilitation*. – 2023. – Vol. 19. – No. 3. – Pp. 139-140.
2. Labadze L., Grigolia M., Machaidze L. Role of AI chatbots in education: systematic literature review // *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. – 2023. – Vol. 20. – Article no. 56.
3. Kacena M.A., Plotkin L.I., Fehrenbacher J.C. The Use of Artificial Intelligence in Writing Scientific Review Articles // *Current Osteoporosis Reports*. – 2024. – Vol. 22. – Pp. 115-121.
4. Salvagno M., Taccone F.S., Gerli A.G. Can artificial intelligence help for scientific writing? // *Critical Care*. – 2023. – Vol. 27. – Article no. 75.
5. Костиникова О.А. Проблема распознавания научных текстов, созданных с использованием ИИ чат-ботов в современных исследованиях // *Russian Linguistic Bulletin*. – 2024. – №8 (56). – 3 с.
6. Stokel-Walker C. Chatbot Invasion // *Scientific American Magazine*. – 2024. – Vol. 331. – No. 1. – 16 p.
7. Румянцева В.Е. Особенности подбора нормативной документации по пожарной безопасности строительных материалов с помощью нейросетей / В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, Н.А. Ваганов // *Современные проблемы гражданской защиты*. – 2025. – № 1 (54). – С. 145-153.
8. Коновалова В.С. Использование нейросетей для подбора нормативной документации об экологической и пожарной безопасности строительных материалов / В.С. Коновалова, Н.А. Ваганов // *Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований: сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. – С. 380-386.
9. Ананченко И.В., Агаркова А.А., Фоминых П.А. Neural network errors: mechanisms of reality distortion in automated document analysis // *Материалы XVII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум»*. – Москва: МГУ, 2025. – 10 с.
10. Xu W., Agrawal S., Briakou E., Martindale M.J., Carpuat M. Understanding and Detecting Hallucinations in Neural Machine Translation via Model Introspection // *Transactions of the Association for Computational Linguistics*. – 2023. – Vol. 11. – Pp. 546-564.
11. Зашихина И.М. Подготовка научной статьи: справится ли ChatGPT? // *Высшее образование в России*. – 2023. – Т. 32. – № 8-9. – С. 24-47.
12. Melnyk Yu.B., Pypenko I.S. The legitimacy of artificial intelligence and the role of ChatBots in scientific publications // *International Journal of Science Annals*. – 2023. – Vol. 6. – No.1. – Pp. 5-10.
13. ChatGPT: five priorities for research Conversational AI is a game-changer for science. Here’s how to respond / E.A.M. van Dis, J. Bollen, W. Zuidema, R. van Rooij, C.L. Bockting // *Nature*. – 2023. – Vol. 614. – Pp. 224-226.
14. Vishniac E.T. Editorial: On the Use of Chatbots in Writing Scientific Manuscripts // *Bulletin of the AAS*. – 2023. – Vol. 55. – Issue 1.
15. Cotton D.R.E., Cotton P.A., Shipway J.R. Chatting and cheating: Ensuring academic integrity in the era of ChatGPT // *Innovations in Education and Teaching International*. – 2023. – Vol. 61. – Issue 2. – Pp. 228-239.
16. Zielinski C., Winker M., Aggarwal R., Ferris L., Heinemann M., Lapeña J.F., Pai S., Ing E., Citrome L., Alam M., Voight M., Habibzadeh F. Chatbots, Generative AI, and Scholarly Manuscripts: WAME Recommendations on Chatbots and Generative Artificial Intelligence in Relation to Scholarly Publications // *Philippine Journal of Otolaryngology Head and Neck Surgery*. – 2023. – Vol. 38. – No. 1.– Pp. 7-9.
17. Inhibition performances of new pyrazole derivatives against the corrosion of C38 steel in acidic medium: Computational study / S. Kaya, F. Siddique, D.O. Isin, K.P. Katin, V. Asati, A. Berisha // *Results in Surfaces and Interfaces*. – 2024. – Vol. 14. – Article ID 100184.
18. Коновалова В.С. Нейросети как инструмент подбора защитных покрытий для стальной арматуры / В.С. Коновалова, Н.А. Ваганов, С.З. Раджабов // *Химия, физика и механика материалов*. – 2024. – № 4 (43). – С. 70-88.
19. В.С. Коновалова, Н.А. Ваганов Возможность применения простейших нейросетей для подбора средств и методов защиты железобетона от коррозионных воздействий // *Химия, физика и механика материалов*. – 2025. – № 2 (45). – С. 140-165.
20. Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Осыко А.В., Шенберева А.В. Коррозия стальных элементов конструкций при повышении температуры // *Современные проблемы гражданской защиты*. – 2022. – № 2 (43). – С. 131-142.

О ЦИФРОВОМ КОДЕКСЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ: ЦЕЛИ, СТРУКТУРА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Мойдунов Т.Т.^{*1}, Сагымбаев А.А.^{**2}, Саримсаков А.А.^{*3}, Матисаков Ж.К.^{*4},
Эркинбаева Н.А.^{*4}, Асанова С.О.^{*4}

*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева

г. Ош, Кыргызская Республика

¹доктор технических наук, профессор

³кандидат технических наук, профессор

⁴старший преподаватель

**Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова

г. Бишкек, Кыргызская Республика

²доктор технических наук, профессор

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые аспекты принятого Цифрового кодекса Кыргызской Республики - первого комплексного правового акта, регулирующего цифровые отношения в стране. Анализируются цели, структура и нововведения кодекса, а также его значение для формирования устойчивой цифровой среды и цифровой экономики. Отдельное внимание уделяется вопросам защиты цифровых прав, регулированию цифровых платформ, открытых данных и взаимодействию между государством, бизнесом и гражданами. В статье представлены выводы о необходимости последовательной реализации норм кодекса и даны рекомендации для правоприменительной и законодательной практики в Кыргызстане.

Ключевые слова: Цифровой кодекс, цифровая трансформация, цифровые права, цифровая экономика, законодательство, Кыргызстан, цифровая среда.

Введение

В XXI веке, Цифровизация выступает одним из ключевых двигателей трансформации государственного управления, экономических процессов и социальной инфраструктуры. Кыргызская Республика, как часть глобального цифрового пространства, осознает важность правового регулирования, направленного на обеспечение сбалансированного и безопасного перехода к цифровой экономике и обществу. Одним из важнейших шагов в этом направлении стало принятие Цифрового кодекса Кыргызской Республики - уникального документа, кодифицирующего правовые основы цифровой трансформации государства.

Актуальность изучения и анализа Цифрового кодекса обусловлена рядом факторов. Во-первых, он отражает стремление Кыргызской Республики системно упорядочить нормы, регулирующие цифровое пространство, объединив ранее разрозненные положения в сфере информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), информационной безопасности, персональных данных, цифровых услуг и электронного управления [1]. Во-вторых, Кодекс представляет собой шаг в сторону формирования «цифрового суверенитета» - способности государства самостоятельно регулировать цифровую среду с учетом национальных интересов [2]. В-третьих, он открывает новые возможности для устойчивого развития страны, повышая прозрачность и доступность государственных сервисов, а также создавая правовую среду для цифровой экономики [3].

При этом международный опыт кодификации цифрового законодательства весьма ограничен. Несмотря на существование отдельных нормативных актов в ЕС, США, Японии и Южной Корее, комплексных кодексов, аналогичных кыргызстанскому, насчитывается лишь несколько прецедентов - например, проекты «Цифровой закон» в Германии и «Цифровой сервисный акт» (DSA) в ЕС, которые по своей сути охватывают лишь отдельные сферы регулирования [4,5].

Таким образом, анализ положений Цифрового кодекса Кыргызской Республики представляет научный интерес не только с точки зрения оценки его внутренней логики и полноты, но и в контексте сопоставления с международной практикой. Цель настоящей статьи - исследовать содержание, задачи и перспективы реализации Цифрового кодекса, выявить его сильные стороны и проблемные положения, а также сформулировать предложения по его совершенствованию с учетом как национального, так и зарубежного опыта.

1. Предпосылки принятия Цифрового кодекса в Кыргызской Республике

Разработка и принятие Цифрового кодекса Кыргызской Республики стали логическим продолжением Национальной политики цифрового развития, начатой в рамках реализации стратегии «Цифровой Кыргызстан 2019-2023». Несмотря на отдельные достижения в цифровизации государственных услуг, правовое регулирование в данной сфере до недавнего времени носило фрагментарный характер. Отдельные нормативные акты регулировали лишь узкие аспекты, такие как электронный документооборот, электронная цифровая подпись или защита персональных данных, не создавая целостной правовой среды.

В условиях расширения цифровых сервисов, внедрения систем электронного голосования, роста цифровых платформ и использования искусственного интеллекта (ИИ), возникла объективная необходимость в создании кодифицированного правового акта, который бы охватывал всю совокупность правовых отношений в цифровой сфере. Кроме того, усиление киберугроз, распространение дезинформации и трансграничный характер цифровых услуг потребовали от государства адаптации законодательства к новым реалиям, соответствующим принципам цифрового суверенитета и защиты прав человека в цифровой среде.

Международный опыт также продемонстрировал важность комплексного подхода к правовому регулированию цифровых процессов. Так, в странах Европейского союза были приняты такие ключевые документы, как «Общий регламент по защите данных» (GDPR) и «Цифровой сервисный акт» (DSA), направленные на защиту персональных данных, регулирование деятельности цифровых платформ и обеспечение прозрачности алгоритмов. Республика Корея, Эстония, Казахстан и Узбекистан также предприняли шаги по кодификации отдельных аспектов цифрового регулирования.

В Кыргызской Республике подготовка Цифрового кодекса сопровождалась общественным обсуждением, в котором приняли участие представители IT-сообщества, государственного сектора, академических кругов и гражданского общества. Это позволило учесть интересы различных слоев общества и усилить легитимность предлагаемых норм.

Таким образом, Цифровой кодекс Кыргызской Республики стал попыткой институционализировать переход к цифровому правовому порядку, обеспечив предсказуемость, юридическую определенность и защиту интересов граждан, государства и бизнеса в цифровом пространстве.

2. Цифровой кодекс Кыргызской Республики: структура, цели и основные положения

Цифровой кодекс Кыргызской Республики был разработан в целях создания единого, систематизированного нормативного акта, охватывающего ключевые правовые аспекты цифровой трансформации. Он вступил в силу в июне 2025 года и стал результатом многолетней работы государственных органов, научного сообщества и представителей ИКТ-отрасли [6]. Кодекс объединяет более 30 ранее разрозненных законов и подзаконных актов, обеспечивая унифицированный подход к регулированию цифровых процессов.

2.1. Структура Кодекса

Кодекс состоит из общих и особенных частей, включающих в себя положения по следующим направлениям:

- правовой статус цифровых данных;
- обеспечение кибербезопасности;
- электронная коммерция и цифровые платформы;

- цифровые подписи и электронные удостоверения;
- защита персональных данных;
- государственные цифровые услуги;
- цифровая грамотность и цифровое образование [7].

Такой подход позволяет более гибко адаптировать законодательство к быстроменяющимся реалиям цифрового мира, устраняя правовые пробелы и коллизии.

2.2. Цели принятия Кодекса

Основными целями Цифрового кодекса являются:

- формирование правовой основы цифрового развития экономики и общества;
- обеспечение цифрового суверенитета Кыргызской Республики;
- гарантия прав и свобод граждан в цифровой среде;
- укрепление доверия к цифровым сервисам и платформам;
- обеспечение безопасности персональных данных и информационных систем [8].

Таким образом, Кодекс должен стать фундаментом для внедрения современных цифровых сервисов, электронного документооборота, автоматизации госуслуг, а также для построения правовой среды, благоприятной для развития ИКТ-бизнеса.

2.3. Ключевые принципы регулирования

В числе наиболее значимых принципов, закрепленных в Кодексе:

- технологическая нейтральность: право регулирует цели и принципы, а не конкретные технологии, что позволяет гибко реагировать на появление новых технологических решений [9];
- безопасность по умолчанию и по проекту (privacy and security by design): все цифровые сервисы должны быть изначально ориентированы на защиту персональных данных и кибербезопасность [10];
- открытость и прозрачность: государственные цифровые платформы должны предоставлять гражданам доступ к своим данным и алгоритмам принятия решений.

2.4. Нововведения и практическое значение

Одним из новшеств Кодекса является введение электронного резидентства, позволяющего иностранным гражданам удаленно регистрировать бизнес в Кыргызской Республике. Также важным элементом стало закрепление понятия «цифровой идентичности», что открыло путь к созданию единой системы идентификации граждан при получении онлайн-услуг [11].

Кроме того, предусмотрены нормы, направленные на защиту детей в цифровой среде, борьбу с ложной информацией, цифровую инклюзию, а также поддержку локальных разработчиков программного обеспечения.

3. Международная практика цифрового регулирования: опыт и заимствования

В условиях стремительной цифровизации экономики и общества, многие страны мира уже внедрили комплексные правовые акты, регулирующие цифровую сферу. Анализ их подходов позволил разработчикам Цифрового кодекса Кыргызской Республики использовать наиболее успешные международные практики как ориентир при формировании отечественной модели цифрового регулирования.

3.1. Эстония: пионер цифрового государства

Одним из наиболее ярких примеров служит Эстония, где с 2001 года внедрена система электронного управления и цифрового гражданства. В рамках программы e-Estonia, каждый житель страны имеет цифровой идентификатор, с помощью которого он получает доступ ко всем государственным и частным сервисам - от налогов до медицинских услуг [12].

В Кодексе Кыргызской Республики использован аналогичный подход в разделе о цифровой идентичности и электронных реестрах, а также инициатива электронного резидентства, позволяющая удаленно регистрировать бизнес в Кыргызской Республике, вдохновлена эстонским примером [13].

3.2. Европейский союз: правовая модель цифрового суверенитета

На уровне Европейского союза, важнейшими нормативными актами являются «Общий регламент по защите данных» и «Цифровой сервисный акт», вступившие в силу в 2018 и 2022 годах соответственно [14]. Эти документы устанавливают:

- строгие правила обработки персональных данных;
- обязанности платформ по модерации контента;
- ответственность цифровых посредников;
- меры по противодействию цифровой дискриминации.

Кыргызская Республика при разработке норм о персональных данных и защите частной жизни использовала многие принципы GDPR, адаптировав их к местным условиям [15].

3.3. Китай: государственное лидерство в цифровизации

Китайская модель ориентирована на централизованной цифровой инфраструктуре. Принятые в 2021 году Законы «О защите персональных данных» и «О безопасности в киберпространстве» предоставляют государству значительные полномочия по контролю за цифровыми технологиями и процессами [16]. Однако, в отличие от китайской модели, Цифровой кодекс Кыргызской Республики строится на принципах открытости и транспарентности, при этом сохраняя баланс между цифровым суверенитетом и гражданскими свободами.

3.4. Южная Корея и Япония: инновации и правовое обеспечение

В Южной Корее действует «Стратегия цифровой трансформации (2020–2025)», нацеленная на развитие «умных» городов, автоматизацию государственных услуг и внедрение ИИ в образование. Япония, в свою очередь, внедрила закон «О цифровом агентстве», создавая юридическую базу для централизации всех цифровых сервисов и защиты кибербезопасности [17,18].

Кыргызская Республика использует схожие подходы при формировании Национальной платформы электронного правительства и внедрении принципов «единого окна» для граждан и бизнеса.

4. Основные вызовы и риски цифровизации в Кыргызской Республике

Несмотря на масштабные реформы, сопровождающие принятие Цифрового кодекса, процесс цифровой трансформации в Кыргызской Республике сталкивается с рядом объективных и структурных рисков. Анализ текущей ситуации показывает, что наряду с потенциалом цифровизации в стране сохраняется высокая степень уязвимости инфраструктурных, нормативных и кадровых компонентов.

4.1. Низкий уровень цифровой инфраструктуры в регионах

Одной из наиболее серьезных проблем остается цифровое неравенство между столицами и отдаленными регионами страны. Согласно отчету Всемирного банка (2023), доступ к скоростному интернету в сельских районах Кыргызской Республики составляет менее 35%, тогда как в городах Бишкек и Ош - свыше 80% [19]. Эта разница приводит к ограниченному доступу населения к электронным государственным услугам и образовательным платформам.

Более того, в условиях слаборазвитой телекоммуникационной инфраструктуры существует риск «цифровой изоляции» определенных социальных групп - особенно пожилых граждан, инвалидов и малообеспеченных слоев населения.

4.2. Киберугрозы и отсутствие координированной системы информационной безопасности

Развитие цифровых сервисов влечет за собой рост числа киберинцидентов. Национальный координационный центр Кыргызской Республики по информационной безопасности в 2023 году зафиксировал более 2500 случаев фишинга, вредоносного программного обеспечения и взлома веб-сайтов государственных органов [20].

Однако система реагирования на эти угрозы остается фрагментированной: отсутствует единая архитектура управления инцидентами, механизмы межведомственного взаимодействия и устойчивое регулирование сектора информационной безопасности.

4.3. Отставание нормативной базы от технологических реалий

Даже несмотря на разработку Цифрового кодекса, в практике правоприменения сохраняются пробелы. Например, до сих пор отсутствуют четкие процедуры внедрения **искусственного интеллекта в государственное управление, этичного использования биометрических данных**, а также регулирование **цифровой валюты** [21].

Юридические коллизии наблюдаются при внедрении новых цифровых платформ, особенно на стыке **гражданского и административного права**, что порождает риски правовой неопределенности.

4.4. Кадровый дефицит и цифровая неграмотность

По данным Министерства науки и образования Кыргызской Республики, уровень цифровой грамотности среди школьников и студентов в 2022 году составил менее 45%, а среди государственных служащих - около 37% [22]. Это существенно ограничивает эффективность реализации электронного документооборота и государственных онлайн-сервисов.

Наблюдается также **дефицит специалистов в области кибербезопасности**, цифровой трансформации и юридического сопровождения ИТ-проектов, особенно на уровне местного самоуправления.

4.5. Недостаточный уровень доверия к цифровым сервисам

Низкий уровень правовой культуры и слабая информированность граждан о механизмах защиты персональных данных ведут к формированию недоверия к цифровым государственным системам. Согласно социологическому опросу IRI (2023), лишь 26% граждан считают безопасным передавать свои данные государственным порталам [23].

Для эффективного внедрения Цифрового кодекса необходимо развивать механизмы **цифрового просвещения, обратной связи, прозрачности процедур** и обеспечения **права на отказ от цифровой формы взаимодействия**.

5. Потенциал и стратегические направления развития цифрового законодательства в Кыргызской Республике

Переход Кыргызской Республики к цифровой экономике и обществу невозможен без адаптивной и перспективной законодательной базы. Цифровой кодекс, принятый в июне 2025 года, является отправной точкой этого процесса, но требует дальнейшего системного развития. Современные вызовы цифровой трансформации, включая искусственный интеллект, облачные технологии, большие данные и платформенные решения, требуют гибких, междисциплинарных подходов в правовом регулировании.

5.1. Формирование единой цифровой правовой среды

В рамках действующего Цифрового кодекса необходимо обеспечить устранение правовых коллизий между различными законами и подзаконными актами. Ключевым направлением является создание **единого реестра цифровых нормативных правовых актов**, который обеспечит прозрачность и автоматизацию процессов применения законодательства [24].

Кроме того, следует внедрить **принципы «digital-by-default» и «once-only»** — автоматическую интеграцию цифровых решений при оказании государственных услуг и исключение повторного предоставления информации гражданами, уже доступной в государственных реестрах [25].

5.2. Развитие правового регулирования искусственного интеллекта и больших данных

На текущий момент в Кыргызской Республике отсутствует комплексный закон о применении технологий ИИ. Международная практика показывает, что ключевые риски связаны с этикой, алгоритмической дискриминацией и ответственностью за решения, принятые системами ИИ.

С учетом опыта Европейского союза «Акт искусственного интеллекта» (AIAct) и рекомендаций ЮНЕСКО, Кыргызской Республике рекомендуется разработать **рамочный закон об искусственном интеллекте**, включающий положения об аудитах ИИ,

обязательной маркировке автоматизированных решений и защите цифровых прав человека [26].

5.3. Защита персональных данных и цифровые права граждан

В условиях расширения использования цифровых платформ и биометрических решений критически важно развивать механизмы **надзора за соблюдением цифровых прав**. В частности, требуется укрепление института уполномоченного по защите персональных данных, обеспечение права на цифровое забвение, право на человеко-читаемое объяснение алгоритмов, участвующих в принятии решений [27].

В перспективе возможно внедрение **национальной программы «Цифровая этика и права граждан»**, ориентированной на просвещение населения о правах в цифровой среде.

5.4. Цифровая юстиция и автоматизация судопроизводства

Развитие цифровых правовых механизмов невозможно без интеграции электронных технологий в правосудие. Внедрение **электронного судопроизводства, онлайн-разбирательств, электронных доказательств, смарт-контрактов** требует адаптации Гражданского процессуального и Уголовно-процессуального кодексов [28].

Позитивным примером является практика Республики Эстония, где в рамках «e-Justice» была достигнута оптимизация процессов рассмотрения гражданских дел с использованием ИИ-помощников.

5.5. Международное сотрудничество и гармонизация цифрового законодательства

Цифровое развитие невозможно без участия в глобальных правовых инициативах. Кыргызская Республика должна активно взаимодействовать с структурами ЕАЭС, ООН, ВТО и ОЭСР по вопросам правового регулирования цифровой торговли, трансграничного обмена данными, кибербезопасности и электронной идентификации [29].

Необходима интеграция норм Цифрового кодекса с проектами цифровой трансформации в рамках Центрально-Азиатского региона (например, проект Digital-CASA) с целью обеспечения юридической совместимости и устойчивого развития.

Заключение

Принятие Цифрового кодекса Кыргызской Республики в июне 2025 года стало важным шагом в направлении формирования единой правовой основы цифровой трансформации. Однако для достижения реальной эффективности необходима его постоянная актуализация, адаптация к стремительно развивающимся технологиям, а также согласованность с международными стандартами и практиками.

Анализ показал, что Цифровой кодекс должен не только кодифицировать уже действующие нормативные акты, но и стать инструментом прогнозирования и правового сопровождения будущих изменений. Ключевыми направлениями остаются защита цифровых прав граждан, обеспечение кибербезопасности, поддержка инноваций и цифровой экономики, а также развитие электронной юстиции.

Особое внимание должно быть уделено институциональному обеспечению реализации положений Кодекса, включая повышение цифровой грамотности сотрудников органов государственной власти, разработку подзаконных актов, запуск пилотных проектов и платформенных решений. Практика таких стран, как Эстония, Сингапур и ОАЭ, подтверждает необходимость интеграции «гибкого права» (softlaw) и экспериментального правового регулирования (regulatory sandboxes) в цифровой сфере.

Для Кыргызской Республики важно не только внутреннее совершенствование, но и активное участие в региональных и глобальных инициативах по цифровому праву. Это позволит создать эффективную, прозрачную и устойчивую цифровую экосистему, способную обеспечить экономический рост, социальную справедливость и технологическую независимость страны в долгосрочной перспективе.

Список литературы

1. Министерство цифрового развития КР. «Цифровой кодекс Кыргызской Республики: официальный текст». – Бишкек, 2024.

2. DeNardis, L. (2020). *The Internet in Everything: Freedom and Security in a World with No Off Switch*. Yale University Press.
3. OECD. (2021). *Digital Government Index*. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/gov/digital-government-index.htm>
4. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (2020). *Digital Strategy 2025*. <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Dossier/digital-strategy.html>
5. European Commission. (2022). *Digital Services Act (DSA)*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digital-services-act-package>
6. Министерство юстиции КР. Проект и комментарии к Цифровому кодексу. — Бишкек, 2023.
7. Министерство цифрового развития КР. Анализ законодательства и разработка структуры Цифрового кодекса. — 2022.
8. Concept Note of Digital Kyrgyzstan 2023. Министерство цифрового развития. — <https://digitalkyrgyzstan.gov.kg>
9. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). (2021). *Privacy and Security by Design*. — <https://www.enisa.europa.eu>
10. Gasser, U., & Almeida, V.A.F. (2017). *A Layered Model for Digital Governance*. Communications of the ACM.
11. Estonian e-Residency Program. — <https://e-resident.gov.ee>
12. e-Estonia Briefing Centre. (2023). *Digital Society*. — <https://e-estonia.com>
13. e-Residency Estonia. — <https://e-resident.gov.ee>
14. European Commission. (2022). *Digital Services Act Package*. — <https://ec.europa.eu/digital-strategy>
15. Министерство цифрового развития КР. Проект по гармонизации с GDPR. — Бишкек, 2023.
16. China Internet Information Office. (2021). *Cybersecurity Law & Personal Data Protection Law*.
17. Ministry of Science and ICT (Korea). (2022). *Digital Strategy 2020–2025*.
18. Digital Agency of Japan. (2021). *Establishment and Law Framework*. — <https://www.digital.go.jp>
19. World Bank. (2023). *Digital CASA Project Reports: Country Infrastructure Assessments*.
20. Национальный координационный центр по ИБ КР. (2023). *Годовой отчёт об инцидентах информационной безопасности*.
21. OECD Digital Economy Outlook. (2022). *Legal Readiness for Emerging Technologies*.
22. Министерство образования и науки КР. (2022). *Аналитический отчёт о цифровой грамотности населения*.
23. International Republican Institute. (2023). *Public Opinion Poll: Kyrgyz Republic Digital Governance*. — <https://www.iri.org>
24. Министерство цифрового развития КР. (2023). *Проект по формированию реестра цифровых НПА*.
25. European Commission. (2020). *eGovernment Benchmark Report*.
26. UNESCO. (2021). *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*.
27. Privacy International. (2022). *Global Trends in Data Protection and Digital Rights*.
28. World Justice Project. (2023). *e-Justice: Innovations in Access to Courts*.
29. OECD. (2022). *Digital Trade and Cross-border Data Flows: Policy Considerations*.

A PYTHON-IMPLEMENTED ALGORITHM FOR THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF THE HUMAN LUMBAR SPINE FROM DICOM CT DATA

Kanstantsin Kurachka, Xuemei Wang, Huanhai Ren

Pavel Sukhoi State Technical University of Gomel
Department of Information Technology

Abstract: Degenerative disc disease is one of the leading causes of low back pain. Computed tomography (CT) provides high-resolution images of the spine, but a three-dimensional (3D) model is crucial for biomechanical analysis and surgical planning. This paper presents an open-source, fully automated Python algorithm for reconstructing the human lumbar spine from DICOM CT data. This method utilizes Hounsfield unit-based bone segmentation, morphological optimization, and the marching cubes algorithm for surface extraction, ultimately generating an STL mesh.

Introduction

Degenerative disc disease is closely associated with low-intensity low back pain in adults under 50 years of age and can reduce the quality of life of working-age individuals. Computed tomography (CT) provides high-resolution images of the vertebrae and aids in the diagnosis of degenerative disease. However, biomechanical analysis, surgical planning, and the fabrication of patient-specific implants require accurate three-dimensional (3D) models reconstructed from axial sequences. Open-source platforms (e.g., SimpleITK, 3D Slicer) offer reproducible and flexible workflows [1, 2]. To this end, we present an open, fully automated Python algorithm that reconstructs the human lumbar spine from DICOM CT by bone segmentation and surface extraction, generating an STL mesh that can be used for biomechanical simulation and preoperative planning. This workflow reduces processing time while maintaining geometric fidelity. Previous studies have addressed vertebra detection in X-ray images based on deep convolutional neural networks (CNNs) [3] and lumbar spine segmentation in MRI based on comparative deep learning models [4]. Building on these modality-specific studies, we now focus on CT and provide a model-training-free, end-to-end DICOM-to-STL workflow with a processing speed that meets clinical practice requirements (3.1 ± 0.2 minutes) and demonstrated high segmentation accuracy.

Materials and Algorithms

The algorithm was developed and validated using an anonymized lumbar spine CT sequence (L1–S1, 320 axial slices; slice thickness 1.0 mm; in-plane pixel size 0.5 mm; field of view 200 mm; 512×512 ; DICOM format). The implementation was based on Python 3.11 and utilized the following libraries: pydicom (DICOM I/O), NumPy (array manipulation), OpenCV (preprocessing and morphological operations), scikit-image (marching cubes algorithm), SciPy (auxiliary filtering), and numpy-stl (STL export). Slices were sorted along the z-axis by Image Position Patient (fallback: Instance Number) and converted to Hounsfield units using the rescale parameter. After intensity normalization, 3D Gaussian smoothing ($\sigma = 0.6$ mm) reduced noise while preserving edges. Bone segmentation was performed using a threshold of 150–3000 HU, followed by morphological closing (structuring element radius 1.2 mm). Connected components smaller than 5000 mm^3 were removed; the largest bony component was retained and clipped to its minimum bounding box with a margin of 2.0 mm. Surfaces were extracted using Marching Cubes with physical voxel spacing and exported to STL format for immediate use in finite element analysis and surgical planning. Key numerical settings (thresholds, filters, morphology) are summarized in Table 1.

Table 1. Main parameters of lumbar spine reconstruction.

Parameter	Value
Slice thickness	1.0 mm
In-plane pixel spacing	0.5 mm
Number of slices	320
Segmentation threshold range	150 – 3000 HU
Gaussian filter σ	0.6 mm
Morphological closing radius	1.2 mm
Minimum component volume	5000 mm ³
STL mesh size	\approx 250 000 polygons
Mean processing time	3.1 \pm 0.2 min
Hardware configuration	Intel® Core™ i7-11700, 32 GB RAM

Different from our earlier intelligent analysis method using CT images [5], this CT process relies on HU-based threshold segmentation, morphological optimization and marching cubes algorithm, which requires neither model training nor GPU acceleration.

Validation and Evaluation

To quantitatively assess the accuracy of the automated segmentation pipeline, the algorithm-generated 3D models were compared to expert-annotated reference standards. For each of the three CT datasets, a single experienced radiologist manually created a detailed segmentation of the lumbar spine (L1 to S1) using ITK-SNAP software, serving as the gold standard. The Dice Similarity Coefficient (DSC) and Intersection over Union (IoU) were used to quantify the similarity between the algorithm output and the manual segmentation. It is important to emphasize that these manual segmentations were used only for validation purposes and are not required for the proposed algorithm to function.

Results

The algorithm proceeds through a series of sequential stages: initial filtering and intensity normalization; segmentation of bone structures within a range of 150 to 3000 HU; morphological closing to fill contour discontinuities; removal of minor noise components; surface generation via the Marching Cubes algorithm; and finally export of the model in STL format, as shown in Figures 1 and 2. This pipeline generated a highly anatomically fidelity STL model of the lumbar spine in an average of 3.1 \pm 0.2 minutes per case, suitable for biomechanical analysis and preoperative planning. Quantitative evaluation demonstrated that the algorithm's segmentation results achieved a Dice coefficient of 0.94 \pm 0.02 and an intersection over union (IoU) of 0.89 \pm 0.03 compared to the reference standard, confirming its high accuracy. As shown in Table 2, the pipeline performed consistently across various datasets.

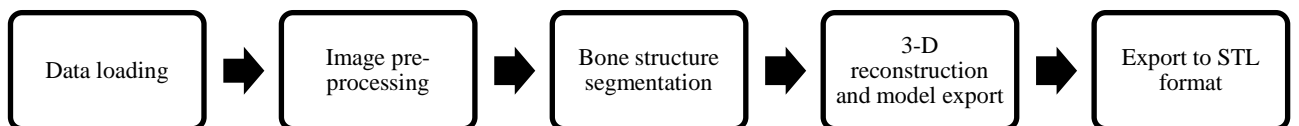


Figure 1. Segmented lumbar-spine image derived from the processed CT dataset.



Figure 2. 3D model of the human lumbar spine.

Table 2. Principal results of algorithm testing.

Dataset	Processing time, min	STL polygons, n	File size, MB	Dice coefficient	IoU
1	3.0	245 000	42	0.93	0.88
2	3.2	258 000	46	0.95	0.90
3	3.1	251 000	44	0.94	0.89
Mean \pm SD	3.1 \pm 0.2	—	—	0.94 \pm 0.02	0.89 \pm 0.03

Conclusion

We present a training-free, open-source Python pipeline that reconstructs analytically useful STL models of the lumbar spine directly from DICOM CT data. Quantitative experiments demonstrate that segmentation results are highly consistent with expert annotations (Dice score 0.94 ± 0.02 ; Intersection over Union (IoU) 0.89 ± 0.03). The process takes only 3.1 ± 0.2 minutes per case, generating anatomically faithful models suitable for biomechanical simulations, segmental kinematic analysis, and preoperative planning.

References

1. Lowekamp B. C., Chen D. T., Ibáñez L., Blezek D. The design of SimpleITK // *Frontiers in Neuroinformatics*. – 2013. – Vol. 7. – Article 45.
2. Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J., Finet J., Fillion-Robin J.-C., Pujol S., Bauer C., Jennings B., Fennessy F., Sonka M., Buatti J., Aylward S., Miller J.V., Pieper S., Kikinis R. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network // *Magnetic Resonance Imaging*. – 2012. – Vol. 30, № 9. – P. 1323–1341.
3. Kurachka K.S., Tsalka I.M. Vertebrae detection in X-ray images based on deep convolutional neural networks // *2017 IEEE 14th International Scientific Conference on Informatics*. – IEEE, 2017. – C. 194-196.
4. Kurachka Kanstantsin, Ren Huanhai, Wang Xuemei .Comparative Analysis of Deep Learning Models for Lumbar Vertebrae Segmentation in MRI Images // *2025 Pattern Recognition And Information Processing (PRIP 2025)*.-C.176-179.
5. Kanstantsin Kurachka, Xuemei Wang. Automation of primary diagnostics of diseases of the human lumbar spine using intelligent analysis of ct images. // *2025 Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2025)*.-C.355-360.

**О ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ
ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ УТЕЧКЕ ИНФОРМАЦИИ ПО СКРЫТЫМ
ЛОГИЧЕСКИМ КАНАЛАМ В СЕТЯХ ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ
ДАННЫХ**

Когос К.Г.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Аннотация. Известно большое количество всесторонних исследований методов построения скрытых каналов в сетях пакетной передачи данных. При этом, вопросы эффективного применения средств противодействия утечке информации по таким скрытым каналам исследованы недостаточно. В настоящей работе предложен подход, позволяющий применять методы ограничения пропускной способности сетевых скрытых каналов с учетом возможностей нарушителя и архитектурных ограничений.

Введение

При соединении защищенных сегментов сети через сети общего пользования следует уделять особое внимание угрозе утечки информации по скрытым логическим каналам. Данная угроза также актуальна при применении в защищаемой системе потенциально недоверенных программно-аппаратных элементов. Одним из ключевых подходов к противодействию утечке информации по скрытым каналам является превентивное снижение их потенциальной пропускной способности. При этом, существующие методы анализа и оценки пропускной способности скрытых каналов не всегда применимы в условиях противодействия, поскольку выбор подхода зависит от типа анализируемого скрытого канала и возможностей нарушителя при его построении. Наилучшая с точки зрения пропускной способности схема кодирования определяется характеристиками выбранного метода противодействия и его параметрами. Также некоторые меры, приводящие к рассинхронизации между отправителем и получателем, способны полностью подавить определенные классы скрытых каналов, однако при соответствующей организации скрытый канал может сохранить значимую остаточную пропускную способность.

Подходы к построению сетевых скрытых каналов

Наиболее полно исследуются скрытые каналы в протоколах TCP и IP, однако существует ряд исследований, посвященный сетевым скрытым каналам, функционирующим на других уровнях эталонной модели взаимодействия открытых систем [1].

На канальном уровне существует немало возможностей для построения скрытого канала. Длина кадров может быть использована в качестве носителя информации [2; 3]; а также порядок кадров, в котором они передаются после коллизии, может быть использован для построения скрытого канала [4-6].

Скрытые каналы на сетевом уровне могут быть построены также с помощью протокола ICMP. Практическая реализация такого скрытого канала представлена в [7; 8].

В основном, скрытые каналы на транспортном уровне строятся на основе протокола TCP, однако авторы [9] рассматривают протокол SCTP в качестве средства передачи информации, предлагая множество различных схем построения скрытых каналов. В [10] предлагается схема построения скрытого канала в протоколе UDP на основе длин дейтаграмм.

Таким образом, злоумышленнику доступно большое количество механизмов для негласной передачи информации и «выноса» чувствительной информации за пределы контролируемой зоны путем манипуляции особенностями пакетной передачи данных.

Факторы, влияющие на оценку пропускной способности скрытых каналов

Для разработки методики анализа и оценки пропускной способности скрытых каналов в условиях противодействия необходимо определить факторы, оказывающие влияние на определение их предельной пропускной способности. Предлагаемая методика предназначена для применения при исследовании конкретных методов ограничения, таких как изменение длины передаваемых пакетов и генерация фиктивного трафика.

В рамках предлагаемой методики приняты следующие допущения для эффективной оценки пропускной способности скрытого канала:

- нарушителю известны все характеристики сети, в которой предполагается построение скрытого канала;
- нарушителю известны значения всех статических параметров метода противодействия;
- нарушителю неизвестны значения динамических параметров метода противодействия;
- установлено предельное значение допустимой пропускной способности скрытого канала, превышение которого считается недопустимым.

Первые три допущения отражают модель угроз, также рассматриваемую при проведении криптографического анализа, в которой злоумышленник обладает максимальной информацией о методах защиты, но не располагает уникальными во времени ключевыми параметрами, подобными секретному ключу в криптосистемах.

Четвертое допущение обусловлено практической невозможностью полного подавления пропускной способности скрытого канала без значительного снижения эффективности функционирования сети. Для учета данных условий принято решение установить критическое значение, заключающееся в допустимой для безопасности сети остаточной пропускной способности скрытого канала.

Следует заметить, что на оценку работы скрытого канала среди прочих также влияют:

- определение возможностей агента нарушителя, необходимых для организации и построения потенциального скрытого канала;
- уровень ошибок при передаче данных по скрытому каналу, так как зачастую передается критически важная информация, при передаче которой возможно понижение пропускной способности канала для поддержания высокой точности передачи;
- длина передаваемого сообщения и временной промежуток, в течение которого его передача является актуальной, так как пропускная способность — асимптотическая мера, в то время как в большинстве случаев скрытые каналы используются для передачи небольшого объема информации, которая является актуальной в течение определенного промежутка времени;

Методика оценки пропускной способности скрытых каналов

Для нахождения количественной оценки остаточной пропускной способности скрытого канала в условиях противодействия предполагается использование информационно-теоретического подхода. Таким образом, рассматривается следующее выражение:

$$v = \max_{\Omega} \left\{ \frac{I(X, Y)}{\tau} \right\},$$

где $I(X, Y)$ – взаимная информация случайных величин, описывающих входные и выходные характеристики скрытого канала соответственно,

τ – среднее время передачи пакета,
 Ω – множество значений параметров скрытого канала.

На основе вышеизложенных положений разработана методика анализа и оценки пропускной способности скрытого канала в условиях противодействия, включающая этапы, представленные на рисунке 1.

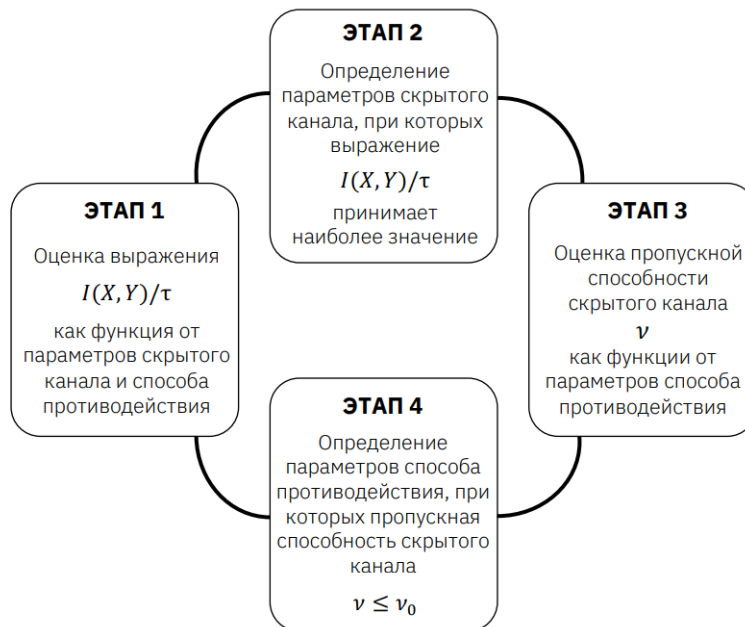


Рисунок 1. Этапы предлагаемой методики.

В рамках первого этапа предполагается формализация зависимости пропускной способности. Необходимо вывести аналитическое выражение, описывающее пропускную способность скрытого канала как функцию от его параметров и параметров метода противодействия, определив предварительно схему кодирования, обеспечивающую максимальную эффективность при учете ограничений. При анализе метода противодействия, где используется изменение длин передаваемых пакетов, необходимо уделять внимание вероятности ошибок передачи данных и распределению длины пакетов. При генерации фиктивного трафика критичным становится способ поддержания синхронизма для избегания рассинхронизации вследствие отправки дополнительных пакетов.

На втором этапе настоящей методики проводится оптимизация параметров скрытого канала. Необходимо определить значения параметров скрытого канала, при которых достигается максимальное значение пропускной способности. С учетом допущений, нарушитель обладает знаниями о статических параметрах метода противодействия и всей необходимой информации о сети, поэтому данный этап позволяет выбрать наилучшие, с точки зрения значения остаточной пропускной способности скрытого канала и значения параметров кодирования. Важно отметить, что на данном этапе получено наибольшее значение пропускной способности скрытого канала, когда реальная пропускная способность скрытого канала может быть значительно ниже при неверном выборе схемы и параметров кодирования.

Третий этап основывается на определении выражения, описывающего остаточную пропускную способность скрытого канала как функцию от параметров метода противодействия. В случае изменения длин передаваемых пакетов удастся получить аналитическую зависимость, а при генерации фиктивного трафика используется численное моделирование с последующей аппроксимацией результатов.

Заключительный этап разработанной методики заключается в выборе допустимых значений параметров метода противодействия. Необходимо определить такое значение параметра, при котором остаточная пропускная способность скрытого канала не превысит предельное значение и сохранит приемлемую производительность основного канала связи.

Заключение

Последовательное выполнение всех четырех этапов методики позволит как ограничить пропускную способность потенциального скрытого канала, так и минимизировать издержки, вызываемые ограничением пропускной способности и дополнительной нагрузкой на канал связи. Таким образом, противодействие утечке информации по скрытым каналам является эффективным, если выполнены следующие условия:

– определены значения статических параметров метода противодействия, при которых значение остаточной пропускной способности скрытого канала не превышает заданного предельного;

– при любом другом выборе значений статических параметров метода противодействия, либо значение пропускной способности потенциального скрытого канала превышает предельное, либо понижается эффективная пропускная способность канала связи.

Перспективным направлением дальнейших исследований является исследование практических особенностей внедрения предложенной методики с учетом топологии, стека протоколов и других особенностей конкретной сетевой инфраструктуры.

Список литературы

1. ГОСТ Р 7498-1-99. Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Часть 1. Базовая модель [Текст]. – Введ. 2000-01-01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 62 с.
2. Padlipsky, M.A. Limitations of end-to-end encryption in secure computer networks [Электронный ресурс] : Technical report ESD-TR-78-158 / M.A. Padlipsky, D.W. Snow, P.A. Karger. – Massachusetts: The MITRE Corporation, 1978.
3. Girling, C. G. Covert channels in LAN's [Текст] / C. G. Girling // IEEE Transactions on software engineering. – 1987. – Vol. 13, No. 2. – P. 292–296.
4. Handel, T. Hiding data in the OSI network model [Текст] / T. Handel, M. Sandford // Proceedings of the 1st International Workshop on Information Hiding. – 1996. – P. 23–38.
5. Dogu, T.M. Covert information transmission through the use of standard collision resolution algorithms [Текст] / T. M. Dogu, A. Ephremides // Proceedings of the 3rd International Workshop on Information Hiding (IH). – 1999. – P. 419–433.
6. Li, S. A covert channel in MAC protocols based on splitting algorithms [Текст] / S. Li, A. Ephremides // Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). – 2005. – P. 1168-1173.
7. Project Loki: ICMP tunneling [Электронный ресурс] // Phrack magazine. – 1996. – Vol. 7, No. 49.
8. Packet Storm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://packetstormsecurity.org/groups/s0ftpj/007shell.tgz>.
9. Frączek, W. Hiding information in stream control transmission protocol [Текст] / W. Frączek, W. Mazurczyk, K. Szczypiorski // Computer Communications. – 2012. – Vol. 35, No. 2. – P. 159-169.
10. Nair, A. S. Length based network steganography using UDP protocol [Текст] / A.S. Nair, A. Kumar, A. Sur, S. Nandi // Proceedings of the 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks. – 2011. – P. 726-730.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ КИБЕРАТАКАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЦИАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Кюнер А.П.

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук

Аннотация. Проблема разработки эффективных средств защиты от мошенничества в сфере компьютерной информации и кибератак с применением методов социальной инженерии не теряет свою актуальность. Применение традиционных в контексте информационной безопасности организационных и технических мер противодействия данного рода атакам имеет недостаточную эффективность ввиду психологических особенностей человека. Из этого следует, что необходимо сосредоточить усилия на создании мер, препятствующих установлению доверительных отношений злоумышленника с жертвой, а также непрерывному сбору и анализу портрета нарушителя и сценариев атаки. В связи с этим в данной статье предлагается модель информационной системы, которая автоматизирует усилия различных специалистов в области информационной безопасности в изучении методов атаки и разработке защитных мер.

Ключевые слова: социальная инженерия, архитектура, мониторинг, мошенничество, система защиты информации

Введение

Кибератаки с использованием методов социальной инженерии (далее – СИ) принято считать одними из самых эффективных инструментов нарушения информационной безопасности (далее – ИБ) и механизмов кражи финансовых средств с электронных счетов. Проанализировав различные информационные ресурсы можно сделать вывод о том, что не существует определенного механизма защиты от подобных угроз. Согласно статистике [1] на СИ приходится 50% совершенных атак, при этом электронная почта является наиболее распространенным каналом связи между злоумышленником и объектом атаки. Популярные информационные порталы, в том числе habr.com, предлагают шаблонные методы защиты, основанные на усиленной аутентификации, внедрении защитного и обновлении прикладного программного обеспечения (далее – ПО), повышение уровня осведомленности и другие дорогостоящие меры [2].

Несмотря на предпринимаемые законодательные и технические меры по обеспечению безопасности персональных данных имеют место множественные факты утечек информации, что способствует накоплению знаний о потенциальных объектах атаки злоумышленниками. Данный факт также необходимо учесть при разработке систем защиты информации (далее - ЗИ) и методик противодействия СИ-атакам. Существующие подходы по защите пользователей от СИ-атак сфокусированы на повышении его устойчивости путем использования организационных и программных средств. Сценарии и модель нарушителя изучаются только специалистами по ИБ после совершения атаки, не во всех случаях и в ручном режиме. Портрет нарушителя и анализ сценариев [3] атаки позволяет установить возможные каналы утечек информации, установить объем знаний и навыков, перечень уязвимых перед атаками сотрудников, определить методологию разработки мер защиты. Следует также отметить, что даже новые сценарии атак имеют ряд схожих с предыдущими элементов и непрерывный мониторинг позволяет отслеживать динамику изменения сценариев.

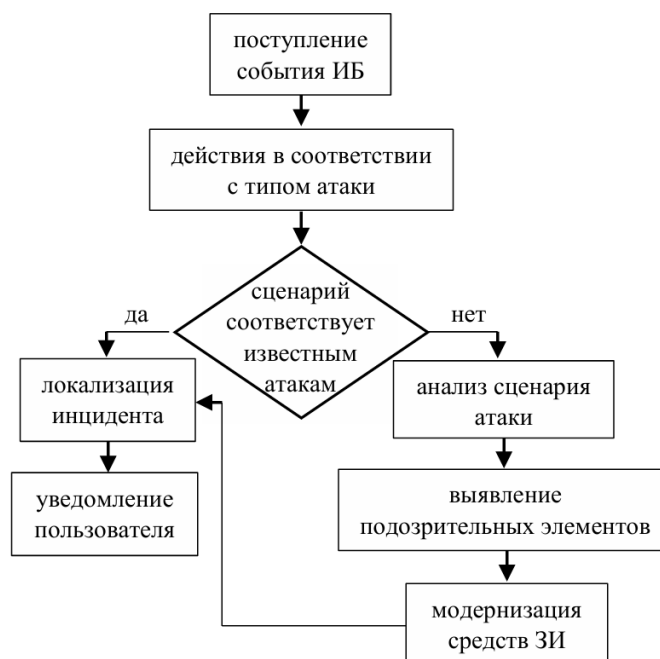


Рисунок 1. Типовой алгоритм действий специалиста отдела ИБ по выявлению сценариев СИ-атак.

Описание к рисунку 1. При поступлении событий ИБ (от агентов средств ЗИ или пользователей) последовательность действия специалиста зависит от типа атаки, который определяется каналом передачи данных: электронная почта, телефон, интернет-сайт, физический контакт и др. Когда сценарий соответствует заранее известным необходимость в изучении элементов атаки отсутствует и определяется следующими действиями: локализация инцидента, проведение инструктажа пользователя (разъяснение сценария атаки, повышающее уровень осведомленности). Порядок действий при выявлении новых сценариев атак заключается в следующем: проводится анализ сценария атаки, выявление элементов атаки, свидетельствующих о неправомерных действиях (например, наличие следов компрометации доверенного отправителя электронных писем) и корректировка системы ЗИ с учетом полученных знаний о новой схеме атаки. Таким образом новый сценарий воздействия становится известным и менее эффективным. Данный подход обладает следующими характеристиками:

достоинства: подробный анализ элементов атаки, наличие обратной связи с жертвой, интуитивное накопление знаний о злоумышленниках, возможность привлечения специалистов к расследованию целевых и нецелевых атак;

недостатки: потребность в специалистах по ИБ различного профиля или в высоком уровне квалификации одного специалиста, низкая оперативность из-за ручного характера расследования, проблематичность сбора сведений о нарушителе.

Вывод: эффективность мер противодействия СИ-атакам зависит от компетенция специалистов по ИБ, оперативности выявления динамики изменения сценариев атак и модернизации мер защиты, необходимость в накоплении знаний об атакующем [4].

Обзор подходов к разработке технических мер защиты

Существующие научные подходы по разработке программных комплексов для решения проблемы защиты пользователей от СИ имеют следующие направления:

1. Автоматизация анализа уязвимостей пользователя перед СИ-атаками на основе некоторого набора данных (из социальных сетей, автобиографии, статистические, путем опроса, демографических показателей). [5][6]

2. Совокупность методов автоматизации проведения киберучений для повышения уровня осведомленности персонала. [7]

3. Выявление СИ-атак методами машинного обучения путем анализа естественного языка или речевых паттернов в сообщениях злоумышленника. [8][9]

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод, важным исследованием в области защиты от СИ-атак является построение системы ЗИ на базе знаний о методах проведения атак и полученной информации о нарушителе, что в совокупности с непрерывным мониторингом позволяет отслеживать тенденции развития сценариев атаки и снизить вероятность успешной реализации новых. В обзоре отсутствуют методы усиленной аутентификации в качестве инструмента защиты и методы обнаружения вредоносного ПО т.к. данные мероприятия являются обязательными в любой системе ИБ и играют роль «последней линии защиты».

Разработка модели системы выявления сценариев атак

Рекомендации по борьбе с СИ описывают вступление пользователя в диалог с нарушителем как явную предпосылку к реализации противоправных действий в следствии успешного построения доверительных отношений. С другой стороны, факт диалога со злоумышленником может быть использован для сбора сведений о нем, но прямое участие потенциальной жертвы в диалоге подтверждает правильность идентификации жертвы злоумышленником. В целях разработки мер защиты от СИ-атак необходимо иметь ряд определенных сведений о нарушителях ИБ. Для этих целей могут применяться пассивные и активные методы сбора информации о злоумышленниках [4]. Основной идеей разработки системы противодействия СИ послужила деятельность специалистов центров мониторинга и реагирования крупной компании. Сбор сведений о злоумышленнике осуществлялся следующими способами:

- диалог специалиста по ИБ (под видом жертвы) с мошенником;
- изучение элементов СИ-атак, осуществляемых через различные сервисы передачи данных (анализ заголовков электронных писем, перечня жертв атак, поиска утечек персональных данных, проверкой телефонных номеров злоумышленников, анализом профилей мошенников в системах мгновенного обмена сообщениями);
- внедрение организационных мер, обязывающих сотрудников сообщать о фактах получения незапрашиваемых звонков и сообщений;
- активный поиск сведений о злоумышленниках и совершенных атаках на информационных ресурсах;
- апробирование различных способов оповещения и инструктажа сотрудников о мошеннических действиях;
- сбор статистических сведений и выявление закономерностей в однотипных сценариях атак.[10]

Подготовка обучающих мероприятий на основе реальных случаев кибератак, в том числе уже имевших место в рамках отдельно взятой компании, может эффективней повысить осведомленность сотрудников в том числе путем использования психологических особенностей человека. Анализ СИ-атак показал, что совершенствование механизмов атаки проводится постепенно, улучшая отдельные компоненты атаки, предположительно для «отсрочивания» периода, когда значительное число потенциальных жертв научится выявлять мошеннические действия.

Разделение элементов атаки на компоненты и отслеживание изменений отдельно взятых, при постоянстве других, позволяет наглядно изучить тенденции развития методов атак и снизить вероятность их реализации. В работе [11] приводится анализ методов противодействия СИ с применением технологий искусственного интеллекта, в частности описывается метод выявления новых векторов атак с использованием предиктивной защиты. Существующие подходы к разработке систем противодействия СИ-атакам сфокусированы на анализе профиля в социальной сети в целях внедрения мер повышения осведомленности

[12] и автоматизированного опроса пользователя для выявления предпосылок к реализации атаки [13].

В данной статье представлен прототип системы, по образу системы обнаружения вторжений [14], позволяющей в автоматизированном порядке осуществлять анализ СИ-атак.

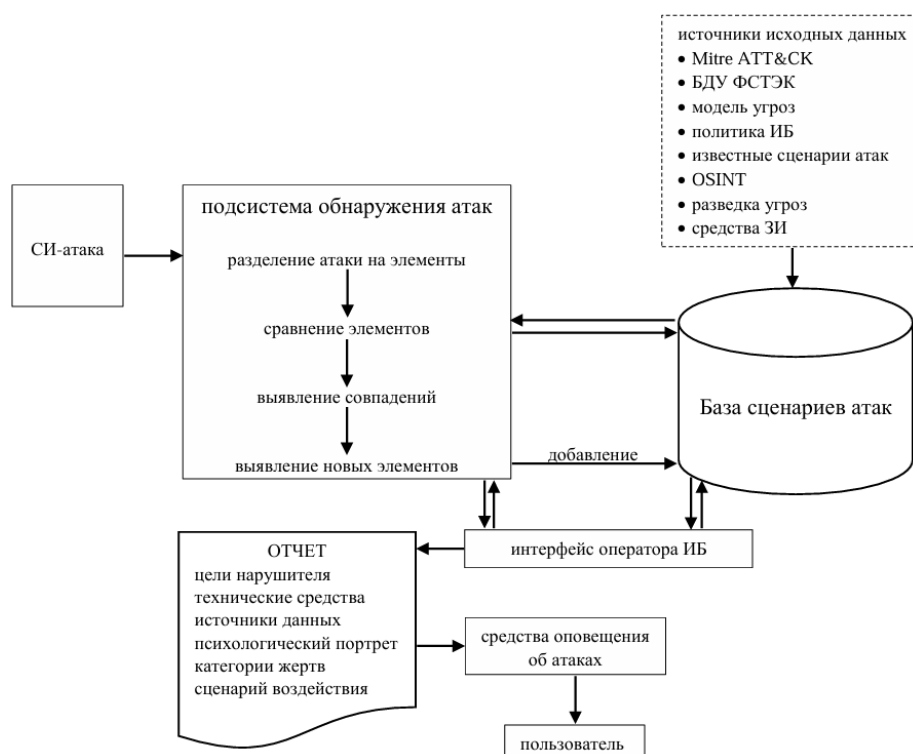


Рисунок 2. Структурная схема системы выявления СИ-атак.

Описание к рисунку 2. Эффективность выявления СИ-атак зависит от объема знаний о нарушителе, каналах осуществления воздействия, моделях потенциальных жертв, что в свою очередь формирует базу сценариев атак. Исходными данными для формирования базы являются: матрица MitreATT&CK, банк данных угроз Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (БДУ ФСТЭК), модель угроз, политика ИБ компании, данные разведки по открытым источникам - OSINT (для выявления утечек данных, методов атаки и других предпосылок), разведка угроз информационной безопасности (Thread Intelligence), применяемые средства ЗИ. Обнаружение СИ-атаки может осуществляться как техническими, так и нетехническими мерами (например, получение сообщения от пользователя). Сценарий атаки разделяется на элементы в зависимости от канала передачи данных. При совершении мошеннических действий с использованием средства telegram элементами атаки являются: описание профиля злоумышленника (например, сокрытие телефонного номера, фотография руководителя организации, дата обновления изображения, дата регистрации учетной записи), текст сообщения, критерии выбора жертв. Исходя из предположения, что злоумышленнику невыгодно ввиду исчерпания сценариев кардинально изменять механизм воздействия, новые атаки будут иметь ряд схожих с предыдущими (имеющимися в базе) элементов. Новые элементы будут дополнять существующие сценарии, тем самым делая атаку неэффективной после ее первого применения. Процедуры выявления атак должны происходить под контролем специалиста отдела ИБ, в свою очередь система позволяет генерировать отчеты об атаках и производить оповещение сотрудников, тем самым заменяя инструктажи и киберучения сведениями о реальных случаях воздействия злоумышленника.

Заключение

Проведенный анализ методов противодействия СИ-атакам позволил выявить недостатки существующих технических мер ЗИ. В статье был описан подход в разработке методики противодействия кибератакам с применением СИ и представлен прототип информационной системы сбора и анализа сведений о сценариях атак. Данный подход позволяет сократить время на сравнение существующих сценариев негативного воздействия и оперативно выявить круг потенциальных объектов атаки. Сбор сведений в таком комплексе может проводиться как в автоматизированном, так и ручном порядке. Интерфейс вывода отчетов об атаках позволяет частично заменить разработку обучающих курсов повышения осведомленности и подготовить сценарий проведения киберучений на основе реальных фактов. В основу задач внедрения и корректировки представленной архитектуры лежит предстоящие разработка и испытания эффективности предложенного метода на реальных атаках специалистами в центре мониторинга и реагирования.

Список литературы

1. Актуальные киберугрозы: I-II квартал 2025 года [Электронный ресурс]. URL: <https://ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/aktual-nye-kiberugrozy-i-ii-kvartaly-2025-goda/#id1> (дата обращения 04.10.2025).
2. За кулисами атак: социальная инженерия [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/sberbank/articles/923946/> (дата обращения 04.10.2025).
3. Науменко Н.Ю. Социальная инженерия как способ манипулирования людьми / Н.Ю. Науменко, З.М. Шпаковская // Наукосфера. – 2024. – № 1-2. – С. 192-197.
4. Кюнер А.П., Чечулин А.А. Активные методы сбора информации о мошенниках. Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2025): сборник научных статей XIV Международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 т., Санкт-Петербург, 25–27 июня 2025 года. Том 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2025. – 619-623 с.
5. Абрамов М.В. Разработка программного инструмента для построения социального графа пользователя социальной сети в задаче анализа его защищенности от многоходовых социоинженерных атак / М.В. Абрамов, А.О. Хлобыстова, В.А. Сазанов // Программные продукты и системы. – 2023. – № 1. – С. 97-106. – DOI 10.15827/0236-235X.141.097-106.
6. Huseynov, Farid & Ozdenizci Kose, Busra. (2022). Using Machine Learning Algorithms to Predict Individuals' Tendency to be Victim of Social Engineering Attacks. Information Development. 40. 1-21. DOI 10.1177/02666669221116336
7. Пулко Т.А. Проектирование симулятора социальной инженерии / Т.А. Пулко, А.Д. Кузьминич, А.П. Полищук // In the World of Science and Education. – 2025. – № 4. – С. 132-134. – DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-132-134.
8. Донских Н.И. Языковые модели и онтологии, угрозы безопасности в распределенной системе / Н.И. Донских // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12, № 3(46). – DOI 10.26102/2310-6018/2024.46.3.016.
9. Wang, Zuoguang&Yimo, Ren & Zhu, Hongsong& Sun, Limin. (2022). Threat Detection for General Social Engineering Attack Using Machine Learning Techniques. 10.48550/arXiv.2203.07933.
10. Риски реализации кибератак: особенности вторжений класса “социальная инженерия” / Г.А. Остапенко, А.А. Остапенко, М.А. Грамыкин [и др.] // Информация и безопасность. – 2025. – Т. 28, № 2. – С. 255-268. – DOI 10.36622/1682-7813.2025.28.2.011.
11. Салаватова Ю.А. Анализ данных и предсказание атак социальной инженерии с помощью ИИ / Ю.А. Салаватова, М.В. Алексина // Вопросы кибербезопасности и профилактика мошенничества. Современные вызовы и решения : Материалы конкурса научно-практических работ и проектов студентов (курсантов) высших учебных заведений (в том числе филиалов) Дальневосточного федерального округа по вопросам кибербезопасности и профилактики мошенничества, совершенного с применением методов социальной инженерии на финансовом рынке Российской Федерации, 2025 год. – Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2025. – С. 158-163.
12. Маркелов В.К. Модель противодействия атакам претекстинга в социальных сетях на основе анализа структуры атаки социальной инженерии / В.К. Маркелов, А.Н. Привалов // Вестник РГГУ. Серия: Информатика. Информационная безопасность. Математика. – 2025. – № 3. – С. 54-69. – DOI 10.28995/2686-679X-2025-3-54-69.
13. Bezuidenhout, Monique & Mouton, Francois & Venter, H.s. (2010). Social engineering attack detection model: SEADM. 1 - 8. 10.1109/ISSA.2010.5588500.
14. Выбор технологий DataMining для систем обнаружения вторжений в корпоративную сеть [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-tehnologiy-data-mining-dlya-sistem-obnaruzheniya-vtorzheniy-v-korporativnuyu-set/viewer> (дата обращения 20.10.2025).

СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ МУЛЬТИМЕТРОВ В УЧЕБНОЙ ПРАКТИКЕ

Зиневич С.А.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»
Студент физико-технического института, группа АТП-6-о-231

Научный руководитель **Менюк С.Г.**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»
к.э.н., доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования

Аннотация. В статье представлены результаты сравнительного анализа точности измерений аналоговых и цифровых мультиметров при проведении учебных лабораторных работ. Проведено экспериментальное исследование метрологических характеристик приборов различных типов. Выявлены систематические и случайные погрешности, определены области применения каждого типа приборов. Показано, что выбор между аналоговым и цифровым мультиметром зависит от специфики измеряемых величин и требуемой точности. Результаты исследования рекомендуются для оптимизации учебного процесса в высших и средних учебных заведениях.

Ключевые слова: мультиметр, точность измерений, погрешность, аналоговый прибор, цифровой прибор, метрология, учебная практика.

Введение

Мультиметр является одним из наиболее распространённых измерительных приборов, используемых как в профессиональной деятельности, так и в учебной практике. В современной системе образования студенты электротехнических и радиотехнических специальностей должны овладеть навыками работы с различными типами электроизмерительных приборов. От выбора правильного инструмента и понимания его метрологических характеристик во многом зависит качество получаемых экспериментальных данных. На протяжении многих десятилетий основным измерительным прибором была аналоговая система с подвижной катушкой (магнитоэлектрическая система). В последние несколько десятилетий произошла активная цифровизация измерительных приборов, что привело к вытеснению аналоговых мультиметров с рынка. Однако в учебном процессе, особенно при обучении основам электротехники и электроники, традиционные аналоговые приборы всё ещё находят своё применение благодаря ряду дидактических преимуществ.

Целью настоящей работы является комплексный анализ точности измерений, проводимых аналоговыми и цифровыми мультиметрами в условиях учебной лабораторной практики, выявление основных источников погрешностей для каждого типа прибора и разработка рекомендаций по их эффективному использованию в образовательном процессе.

Материалы и методы

Исследование проводилось в лабораторных условиях в соответствии с методиками, применяемыми в учебном процессе. В качестве объектов измерения были выбраны: постоянные напряжения в диапазоне 0,1–100 В; постоянные токи в диапазоне 1–500 мА; сопротивления в диапазоне 10 Ом–10 МОм; переменные напряжения 5–250 В на частоте 50 Гц. Для исследования было использовано пять образцов аналоговых мультиметров различных производителей и пять образцов цифровых мультиметров с разрядностью 3,5 и 4,5 разрядов. В качестве эталонных средств измерений применялись калиброванные

цифровые вольтметры и амперметры с классом точности 0,1–0,2%. Каждое измерение повторялось не менее 10 раз для каждой точки в установленном диапазоне. Проводился анализ систематических погрешностей (отклонение среднего значения от эталонного) и случайных погрешностей (дисперсия результатов) [1-3].

Обсуждение и результаты

Аналоговый мультиметр основан на принципе использования движущейся катушки в постоянном магнитном поле. Измеряемая величина преобразуется в ток, пропорциональный её значению, что вызывает отклонение стрелки по шкале прибора. Основным преимуществом аналоговых приборов является возможность наглядного отображения динамики изменения измеряемой величины в реальном времени. Погрешность среднестатистического аналогового мультиметра составляет порядка 2% от предела измерений по шкале прибора. Высокочувствительные модели могут иметь чувствительность до 20 000 Ом на вольт (20 кОм/В), что является важной характеристикой при измерении напряжения в цепях с высоким внутренним сопротивлением. Дополнительное внутреннее сопротивление аналогового прибора влияет на процесс измерения в большей степени, чем у цифровых аналогов.

К основным достоинствам аналоговых мультиметров относятся: способность к наглядной демонстрации процесса измерения; отсутствие необходимости в частой замене батареек; независимость от электромагнитных помех высокочастотного диапазона; долговечность и надёжность при правильном обращении. К недостаткам следует отнести: субъективность при определении показаний (параллакс); сложность при работе с малыми значениями; чувствительность к механическим ударам; относительно низкую точность по сравнению с современными цифровыми приборами [4,5].

Цифровые мультиметры на основе аналогово-цифрового преобразователя обеспечивают прямое преобразование измеряемой величины в цифровой код, отображаемый на жидкокристаллическом (ЖК) дисплее. Современные цифровые мультиметры имеют разрядность от 3,5 до 6,5 разрядов, что определяет количество отображаемых цифр и, соответственно, разрешающую способность прибора. Точность цифровых мультиметров обычно составляет 0,1–1,2% от измеряемой величины в зависимости от модели и диапазона измерений. Многие современные приборы реализуют технологию истинного среднеквадратичного значения, что позволяет точно измерять как синусоидальные, так и несинусоидальные токи и напряжения. Входное сопротивление цифровых мультиметров при измерении напряжения постоянного тока обычно составляет 10 МОм и выше, что значительно меньше влияет на характеристики измеряемой цепи по сравнению с аналоговыми приборами. Основным источником погрешностей цифровых приборов связан с собственными шумами электроники, квантованием сигнала и нестабильностью опорного напряжения. Цифровые мультиметры более чувствительны к электромагнитным помехам, особенно в диапазоне промышленной частоты (50/60 Гц).

Преимущества цифровых мультиметров: высокая точность; большой диапазон измеряемых величин; возможность работы с микротоками и микронапряжениями; объективность показаний; наличие дополнительных функций (измерение ёмкости, частоты, температуры); низкое потребление энергии при использовании современных батарей. Недостатки: зависимость от источника питания; возможность вывода из строя при перегрузках; сложность в использовании для неподготовленного пользователя; невозможность оценить динамику изменения сигнала при кратковременных колебаниях [6-10].

Проведённые измерения показали, что систематическая погрешность аналоговых мультиметров при измерении постоянного напряжения составила в среднем 1,8–2,3% от предела измерений. При измерении токов погрешность возрастает до 2,5–3,0%, что обусловлено дополнительным сопротивлением измерительной головки прибора. При

измерении сопротивлений аналоговыми приборами наблюдается нелинейность шкалы, что приводит к увеличению погрешности в диапазоне малых значений (до 5%).

Цифровые мультиметры продемонстрировали среднюю погрешность 0,5–1,0% при измерении постоянного напряжения и 0,8–1,2% при измерении токов. Для всех диапазонов измерения сопротивлений погрешность составила 1,0–1,5%, что значительно более предсказуемо и стабильно по сравнению с аналоговыми приборами. При измерении переменных напряжений аналоговые приборы продемонстрировали погрешность 2,0–2,5%, что объясняется внутренним сопротивлением выпрямительной диодной цепи. Цифровые мультиметры с технологией True RMS показали превосходные результаты с погрешностью не более 1,0% даже при несинусоидальной форме напряжения.

Влияние внутреннего сопротивления прибора на результаты измерения оказалось весьма существенным для низкоомных цепей. При измерении напряжения на сопротивлении 1 кОм аналоговый прибор с чувствительностью 10 кОм/В вносил погрешность до 9%, тогда как цифровой мультиметр с входным сопротивлением 10 МОм вносил погрешность менее 0,1% [9-10]. Анализ влияния электромагнитных помех показал, что в окружении работающих электрических машин и устройств цифровые мультиметры были более подвержены помехам. Применение защитной экранировки позволило снизить влияние помех на 70–80%.

Выводы

На основе проведённого исследования могут быть сформулированы следующие выводы и рекомендации:

1. Для измерения напряжений выше 10 В и токов выше 100 мА оба типа приборов дают приемлемые результаты в учебной практике, однако цифровые приборы предпочтительны благодаря меньшей погрешности и отсутствию параллакса.

2. Для измерения малых напряжений (до 1 В) и токов (до 10 мА) необходимо использовать только цифровые мультиметры с достаточной разрядностью (не менее 4,5 разрядов).

3. При измерении сопротивлений цифровые приборы обеспечивают более надёжные результаты во всём диапазоне, особенно при работе с высокоомными сопротивлениями (выше 1 МОм).

4. Аналоговые мультиметры следует использовать в образовательных целях при обучении основам измерений для развития навыков работы с классическими приборами и понимания принципов их действия.

5. При проведении лабораторных работ в условиях электромагнитных помех рекомендуется использовать экранированные кабели и цифровые приборы с повышенной помехоустойчивостью.

Сравнительный анализ показал, что каждый из типов мультиметров обладает своими преимуществами и недостатками. Аналоговые приборы сохраняют дидактическую ценность при обучении базовым понятиям, цифровые приборы обеспечивают большую точность и удобство при выполнении сложных измерений. Использование обоих типов приборов в структурированной образовательной программе позволяет студентам получить полное представление о методах электрических измерений и особенностях различных типов приборов.

Список литературы

1. ГОСТ 8.376–80. Государственная система обеспечения единства измерений. Амперметры и миллиамперметры. Методы и средства поверки. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 12 с.
2. ГОСТ 8.401–2014. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики поверки средств измерений. Методы обработки результатов измерений. – М.: Стандартинформ, 2014. – 24 с.
3. РМГ 29–99. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Метрология. Основные термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 48 с.
4. Артамонов, Ю. А. Электрические измерения : учебное пособие для вузов / Ю. А. Артамонов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2002. – 352 с.

5. Нечипоренко, В. И. Электроизмерительные приборы и методы измерений : учебник для техникумов / В. И. Нечипоренко. – М. : Высшая школа, 1997. – 288 с.
6. Павлов, А. Н. Основы электрических измерений : учебное пособие / А. Н. Павлов, Е. Л. Семёнов. – СПб. : Питер, 2004. – 224 с.
7. Сачков, В. И. Цифровые приборы и их метрологическое обеспечение / В. И. Сачков, И. П. Селезнёв. – М. : Наука, 2006. – 168 с.
8. Шалаев, А. В. Методические рекомендации по проведению лабораторного практикума по электротехнике / А. В. Шалаев. – М. : МГТУ им. Баумана, 2008. – 96 с.
9. International Organization for Standardization (ISO). ISO/IEC 61010-1:2010. Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use. – Geneva: ISO, 2010. – 240 p.
10. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). IEEE Standard 1451.0-2007. Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators. – New York: IEEE, 2007. – 68 p.

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕРКИ ПРОГРАММ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ИТ-НАПРАВЛЕНИЙ: ОПЫТ ИНСТИТУТА КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Хусаинов Н.Ш., Балабаева И.Ю., Шкурко А.Н., Кривша В.В., Дроздов С.Н.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
г. Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы использования современных информационных технологий и инструментальных средств проверки программ с целью повышения качества подготовки студентов ИТ-направлений в области алгоритмизации и программирования. Особое внимание уделяется проблемам автоматизации оценки корректности алгоритма, правильности программной реализации, качества программного кода, умению читать и понимать программный код, контролю самостоятельности работы студента. Рассматриваются подходы к решению данной проблемы, анализируются их преимущества и недостатки. Описаны результаты внедрения технологий и инструментальных средств автоматизированной проверки программ-решений в рамках дисциплины по алгоритмизации и программированию в Институте компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета в течение нескольких последних лет. Сформулированы предложения по развитию и совершенствованию данного подхода с применением методов искусственного интеллекта.

Введение

Информатика (компьютерные науки или вычисления) как научная дисциплина, и, в частности, программирование играет все большую роль как в современном мире, так и в образовании. Одной из самых сложных задач, с которой сталкивается большинство студентов, является понимание основ программирования, особенно для новичков или тех, кто учится на первом курсе.

Традиционные методы обучения программированию постепенно утрачивают свою актуальность, уступая место системам, автоматизирующим процессы создания и изучения курсов с автоматизацией проверки отправляемого пользователями кода. Такой подход позволяет упростить работу для преподавателей и сделать процесс обучения намного интереснее для обучающихся [1].

Первое направление автоматизации процесса обучения программированию уходит корнями в методику проведения соревнований по спортивному (алгоритмическому) программированию. Эта методика сначала получила свое развитие в сфере образования в массовых онлайн-курсах (massive open online course, MOOC), а в последние годы активно внедряется и в сферу традиционного "очного" вузовского, профессионального и даже школьного образования.

Метод проверки правильности программы студента в такой системе основан на технологии тестирования в виде "черного ящика": заранее создается набор тестов, каждый из которых содержит входные данные и выходные данные, которые должны быть выданы правильно работающей программой. Программа компилируется на сервере и запускается на выполнение с входными данными, представленными в каждом из тестов. Выходные данные сравниваются с эталоном с помощью специальной подпрограммы, называемой чекером. В случаях, когда возможны несколько правильных ответов, чекер не просто сравнивает вывод проверяемой программы с эталоном, а по специальному алгоритму проверяет его на корректность [2]. Как правило, существует также возможность задавать ограничения на время выполнения программы и объем потребляемой памяти на каждом тесте, что позволяет

реализовать требование решить задачу не просто любым способом, а сделать это с использованием оптимального (по времени и/или по памяти) алгоритма.

Современные системы автоматизированного тестирования (САТ), реализующие такой подход, обычно имеют веб-интерфейс, что позволяет работать с ними из любой точки планеты, и поддержку компиляторов различных языков программирования. Многие из подобных систем имеют интегрированные базы готовых заданий, категоризированные по тематике и уровню сложности. Все это делает САТ отличным выбором для повышения эффективности обучения программированию, поскольку не только снижает нагрузку на преподавателя в части проверки множества решений, но и позволяет одновременно формировать целый набор полезных навыков (анализ требований и формализация задачи, составление алгоритма, программная реализация, отладка и тестирование), а также вносит в образовательный процесс элемент игрофикации, что практически всегда положительно влияет на мотивацию обучающихся [3].

В то же время, поскольку САТ-системы проверяют присланную на проверку программу как "черный ящик", то вне поля зрения преподавателя и студента остаются вопросы качества программного кода, наличия в нем элементов, которые могут затруднить поддержку кода или ухудшить его читаемость. Затруднительно или невозможно контролировать правильность или корректность использования в программах-решениях по конкретной теме дисциплины тех или иных синтаксических конструкций изучаемого языка программирования [4]. Наконец, остаются открытыми вопросы самостоятельности выполнения задания студентом.

Второе направление автоматизации уходит корнями в процессы, принятые в промышленной разработке программного обеспечения – использование систем контроля версий (СКВ), в первую очередь (в настоящее время) Git. СКВ позволяют вести учет изменений, которые вносились в проект, что облегчает проверку работ для преподавателя и выполнение код-ревью, делает возможным отслеживание ритмичности и производительности работы исполнителя [5]. Интеграция в СКВ функций линтинга и статистического анализа через инструменты типа GitActions позволяет при каждой отправке новой версии программы автоматически выполнять проверку кода на соответствие требованиям его оформления (CodingStyle) и на наличие более серьезных "логических" проблем, которые могут привести к ошибкам времени исполнения, неопределенному поведению, проблемам безопасности или ограниченной переносимости программы (выход за границы массива, разыменованное нулевого указателя, утечки памяти и др.) [6, 7]. Недавнее расширение возможностей GitHub сервисом GitHubClassroom – попытка добавить к "родным" функциям СКВ некоторые базовые возможности САТ [8].

У студентов при использовании СКВ быстрее и более осознанно формируются навыки командной работы, умение читать и понимать чужой код, прививаются правила единообразного оформления кода всеми членами команды – в общем все те навыки, которые характеризуют профессионального программиста.

Однако и такой подход не свободен от недостатков: при обучении программированию преобладают мелкие "одноразовые" задания, которые выполняются, как правило, индивидуально и сдаются за один "подход". Эти положения плохо согласуются с базовыми принципами использования СКВ: командная работа над большим проектом в течение длительного времени с регулярной обратной связью от ревьюера. Очевидно также, что порог вхождения для работы с СКВ существенно выше, чем для САТ: требуется понимание принципов работы и базовых команд СКВ (например, для Git: commit, pullrequest, merge, branch, master). К тому же, несмотря на возможность отслеживания инкрементальных изменений, по-прежнему актуальной остается проблема контроля самостоятельности выполнения задания студентом.

Постановка задачи

На сегодняшний день отсутствуют средства автоматизации проверки программ, ориентированные на достижение образовательных целей, которые позволяли бы в комплексе эффективно решать задачи оценки практических навыков большого числа обучающихся как с точки зрения правильности построения алгоритма решения задачи, так и с точки зрения качества программного кода.

Цель данной работы – отражение методики и результатов применения средств автоматизации, использованных при обучении программированию студентов первого курса ИТ-направлений Института компьютерных технологий и информационной безопасности (ИКТИБ) Южного федерального университета (ЮФУ) в течение нескольких лет. Актуальность данной задачи связана с растущими требованиями к компетенциям выпускников в области проектирования, разработки, оформления, отладки и сопровождения программного кода со стороны индустрии.

Подходы и методы решения поставленной задачи

В работе [9] приводится подробная информация об особенностях контингента студентов, поступающих на ИТ-направления ИКТИБ ЮФУ, и проблемах, имевших место во время реализации дисциплины по алгоритмизации и программированию.

В качестве основного языка для освоения программирования в рамках этой дисциплины выбран язык Си (при этом допускается использовать подмножество языка C++, без элементов ООП). С одной стороны это обусловлено относительной простотой языка в сравнении, например, с C++ (и возможностью освоить его за один семестр), а с другой – его изучение дает хороший фундамент для последующих дисциплин учебного плана, связанных как с высокоуровневым программированием (например, для мобильной и веб-разработки), так и с системным и низкоуровневым программированием. Структура тематических модулей дисциплины приведена на рисунке 1. Как видно из содержания, в рамках курса делается попытка не только сформировать элементарные навыки составления алгоритмов и их реализации на языке программирования, но и дать представление о некоторых аспектах профессиональной разработки программных приложений.

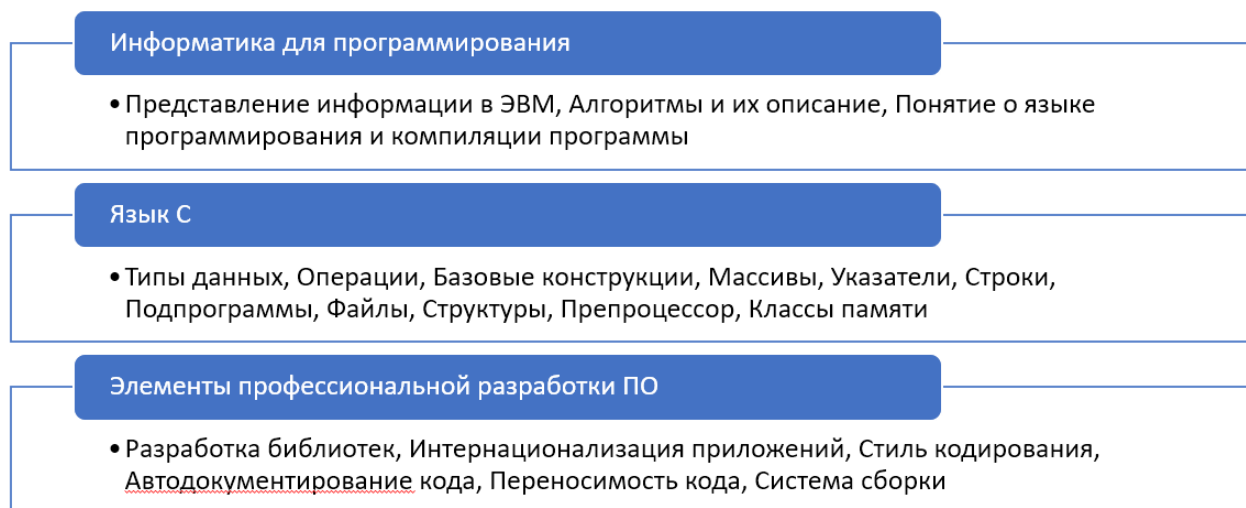


Рисунок 1. Структура модулей дисциплины "Алгоритмизация и программирование" в ИКТИБ ЮФУ.

Процесс проверки студенческих работ основан на комплексном применении целого набора инструментальных средств.

В системе электронного обучения (Learning Management System, LMS) Moodle хранятся учебно-методические материалы и ведется список слушателей курса и журнал

оценок. Кроме того, в Moodle проводятся тесты в формате сертификационных экзаменов по языку Си "C Certified Entry-Level Programmer Certification" и "C Certified Associate Programmer", ориентированные на проверку знания синтаксических конструкций языка программирования и навыков чтения и понимания программы [9].

Система автоматического тестирования программ Codeforces используется для проверки правильности алгоритма решения задачи [10]. Результаты проверки являются своего рода фильтром для отсеивания решений, которые прошли недостаточное количество тестов для того, чтобы считать, что студент в основном правильно понял и смог решить задачу.

Следует отметить, что в Moodle есть плагины Code Runner и Virtual Programming Lab, которые позволяют в упрощенном режиме выполнять проверку программ обучающихся на заданном наборе тестов [11]. Несмотря на наличие некоторых очень полезных возможностей проверки кода (например, перечня запрещенных синтаксических конструкций и сравнения решений участников на идентичность), основной проблемой данных плагинов является отсутствие возможности интеграции с внешними системами подготовки задач типа Polygon [12]. Поэтому процесс ввода информации о задании для конкретного контрольного мероприятия (особенно большого числа тестов) является весьма трудоемким и утомительным.

Решения, которые прошли больше определенного количества тестов и могут считаться полностью или частично правильными (с точки зрения алгоритма), выгружаются из Codeforces и далее проверяются на качество кода. Для этого используется утилита статического анализа кода `cppcheck`. Она проводит анализ всего кода, выявляя участки, которые могут привести к сбоям или уязвимостям. При разработке критически важных приложений многие организации и проекты используют стандарты кодирования для обеспечения однородности и качества кода (MISRA, CEISERT и др.). Анализатор `cppcheck` автоматически проверяет соответствие этим стандартам, обнаруживая нарушения [13].

Статические анализаторы ориентированы на обнаружение в программном коде "проблемных" участков без объяснения этих проблем и способов их решения. Другой потенциальной проблемой может быть высокая вероятность ложных срабатываний, что приведет к генерации большого числа сообщений о потенциальных проблемах или несоответствиях тому или иному стандарту кодирования. И один, и другой фактор негативно влияют на ценность использования статических анализаторов в образовательных целях.

Для решения данной проблемы было решено использовать для анализа структуры кода методы искусственного интеллекта на базе больших языковых моделей (Large Language Model, LLM). Интеграция LLM в процесс пост-тестового анализа открывает новые возможности для создания комплексной системы оценки работ студентов. Модели, обученные на обширных корпусах кода, могут выступать в роли опытного рецензента, выявляя проблемы, которые остаются за рамками функционального тестирования.

В таблице 1 проиллюстрированы варианты применения одной из доступных бесплатных версий LLM для различных видов анализа программного кода.

Преимуществами анализа кода с помощью LLM являются фокус на качестве и оптимальности кода, LLM способны выявлять проблемы, не обнаруживаемые традиционными инструментами (`gcc warnings`, `valgrind`, `cppcheck`). При этом студенты получают развернутые объяснения и рекомендации по улучшению кода.

В то же время LLM могут недостаточно глубоко понимать тонкости работы с отдельными синтаксическими конструкциями в языке программирования. Модель может критиковать корректные, но нестандартные решения. Поэтому полное исключение преподавателя из контура проверки решений пока невозможно.

Таблица 1. Использованные в ИКТИБ сценарии применения LLM для анализа программного кода.

#	Этап выполнения	Детализация
1	Сценарий использования LLM	Анализ управления памятью и утечек
	Формулировка задания студенту	<i>Реализуйте функцию для создания и обработки массива структур</i>
	Полностью или частично-правильное решение студента	<pre>struct Std* create_std_arr(int count) { struct Std* arr = malloc(count * sizeof(structStd)); // Код для инициализация массива структур ... return arr; } void process_data() { struct Std* students = create_std_arr(10); // Код для работы с массивом ... return }</pre>
	Ответ LLM	<i>Код функционально корректен, но содержит утечку памяти: память, выделенная в `create_std_arr`, не освобождается. Рекомендуется добавить вызов `free(students)` после завершения работы с массивом. Также рассмотрите возможность использования `valgrind` для проверки утечек</i>
2	Сценарий использования LLM	Проверка безопасности работы с указателями и буферами
	Формулировка задания студенту	<i>Реализуйте функцию конкатенации строк</i>
	Полностью или частично-правильное решение студента	<pre>void my_strcat(char* dest, const char* src) { while (*dest) dest++; while (*src) { *dest = *src; dest++; src++; } *dest = '\0'; }</pre>
	Ответ LLM	<i>Функция не проверяет размер буфера назначения, что может привести к переполнению буфера. Рекомендуется добавить параметр с размером буфера `dest` и проверять границы. Также рассмотрите использование `strncat` или явную проверку длин строк.</i>
3	Сценарий использования LLM	Анализ эффективности алгоритмов и структур данных
	Формулировка задания студенту	<i>Напишите функцию для поиска элемента в массиве</i>
	Полностью или частично-правильное решение студента	<pre>int find_element(int* arr, int size, int target) { for (int i = 0; i < size; i++) { for (int j = 0; j < size; j++) { if (arr[i] == target) { return i; } } } return -1; }</pre>

#	Этап выполнения	Детализация
	Ответ LLM	Алгоритм имеет сложность $O(n^2)$ вместо возможной $O(n)$. Внутренний цикл избыточен и не влияет на логику поиска. Рекомендуется убрать внутренний цикл и оставить только один проход по массиву.
4	Сценарий использования LLM	Проверка обработки ошибок и граничных условий
	Формулировка задания студенту	<i>Напишите функцию для реализации деления</i>
	Полностью или частично-правильное решение студента	<pre>double divide(int a, int b) { return a * 1.0 / b; }</pre>
	Ответ LLM	<i>Функция не обрабатывает случай, когда $b = 0$, что приведет к неопределенному поведению. Рекомендуется добавить проверку делителя и соответствующую обработку ошибки</i>
5	Сценарий использования LLM	Анализ стиля и соблюдения соглашений
	Ответ LLM	<i>Обнаружены отступления от общепринятых соглашений:</i> - Использование 'магических чисел' вместо <code>#define</code> констант - Слишком длинные функции без модуляризации - Неинформативные имена переменных (<code>x</code> , <code>tmp</code>) - Отсутствие комментариев для сложной логики <i>Рекомендуется рефакторинг с учетом принципов читаемости кода.</i>

Наконец, еще одной проблемой, которую авторы пытаются решить, является контроль самостоятельности работы студента. Как было отмечено ранее, для оценки заданий активно применяются онлайн-платформы автоматической проверки решений алгоритмических задач. Для работы подобных систем требуется доступ в Интернет. Однако широкий доступ к сети Интернет в учебных лабораториях создаёт условия для нецелевого использования внешних ресурсов: студенты могут обращаться к готовым решениям на форумах, использовать чаты с LLM или обмениваться кодом в мессенджерах.

Для ограничения доступа из лабораторий к посторонним ресурсам был развернут прокси-сервер Squid, настроенный на пользовательском уровне и разрешающий подключение только к заранее установленному "белому списку" адресов: системе автоматической проверки, документации по языкам программирования, ASCII-таблице и другим разрешенным ресурсам [14, 15]. Практика применения этого подхода позволила существенно уменьшить количество идентичных решений, однако оказалось, что она не лишена недостатков:

- поскольку не все учебные занятия, проводимые в лабораториях института, требуют установки ограничений, настройки прокси-сервера меняются каждый раз до и после занятий, что создавало большую дополнительную нагрузку на преподавателей и лаборантов.
- так как прокси-сервер устанавливается на пользовательском уровне, данная реализация становится уязвимой: студенты с техническими навыками могут обходить установленные ограничения, изменяя настройки браузера или используя альтернативные протоколы.

Для устранения этих недостатков в настоящее время осуществляется перенос функций фильтрации на уровень сетевой инфраструктуры, а именно – на маршрутизаторы учебных лабораторий, развернутые на базе одноплатных компьютеров Raspberry Pi 3. Это позволит централизованно управлять доступом, динамически переключать профили белых списков в зависимости от типа занятия (лекция, практика, контрольная) и значительно повысить надёжность защиты от списывания без ущерба для учебного процесса.

Результаты внедрения предложенных решений в учебный процесс

Опыт использования в процессе обучения рассмотренных средств автоматизации функционального тестирования, статического анализа кода и анализа на основе больших

языковых моделей был положительно оценен как преподавателями, так и студентами. Несмотря на значительное число студентов, традиционно имеющих задолженность по итогам освоения дисциплины "Алгоритмизация и программирование", средний итоговый балл и ряд других оцененных психометрических показателей имеет тенденцию к росту, несколько увеличилось также значение коэффициента корреляции между баллами, полученными студентами за семестр, и баллами за экзамен [16].

Однако остаются проблемы, которые в полной мере решить пока не удастся. Среди таких проблем главной являются высокие трудозатраты на подготовку заданий для систем автоматической проверки (которые должны хотя бы частично обновляться каждый год). Эффективный и универсальный способ решения этой задачи пока не найден [17].

Заключение

Существующие подходы к автоматической проверке решений в учебном процессе на основе функционального тестирования и статического анализа являются взаимодополняющими и должны использоваться совместно для получения оптимального результата. В то же время следует отметить, что большие языковые модели в настоящее время в значительной степени могут выполнять функции статического анализа кода. Их дополнительным преимуществом является способность давать развернутые объяснения обнаруженных проблем и формулировать рекомендации по улучшению кода.

Перспективным направлением исследования потенциала использования LLM в процессе анализа кода при обучении является формирование "портрета" стиля кодирования каждого студента и его использование для определения степени авторства очередного сданного на проверку решения.

Список литературы

1. Лучанинов, Д.В. Система автоматизированной проверки решений заданий по программированию с функцией локального антиплагиата / Д.В. Лучанинов, Р.И. Баженов, Д.В. Фатеенков, А.С. Дорофеев // Мир науки. Педагогика и психология. - 2023. - Т. 11. - № 6.
2. Горчаков Л.В., Стась А.Н., Карташов Д.В. Обучение программированию с использованием системы Ejudge // Вестник ТГПУ (TSPU Bulletin). - 2017 г. - № 9 (186). С. 109-112. - DOI 10.23951/1609-624X-2017-9-109-112.
3. Combefic S., Dagiene V., Beresnevicius G. Learning Programming through Games and Contests: Overview, Characterisation and Discussion // Olympiads in Informatics. - 2016, July. - DOI: 10.15388/oi.2016.03.
4. Буянова И., Замулин И. Некоторые проблемы автоматической проверки и анализа исходных кодов решений задач при изучении языка программирования Python // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. – Издательство: Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова. – 2021 г. - № 4 (38). – С. 6-11.
5. Протасевич Ю.А., Змеев О.А., Соколов Д.А. Инструменты для организации взаимодействия преподавателей и студентов с использованием систем контроля версий // Информатика и образование. 2021. № 4. С. 36–46.
6. Тенигин, А.А. Использование системы контроля версий git в обучении программированию // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития: материалы XI Международной научно-методической конференции, Минск, 24 ноября 2022 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2022. – С. 178–181
7. Садыкова Ф.Э. Сервис GitHub как инструмент для формирования компетенций в области программирования // Научный результат. Педагогика и психология образования. 2022. Т.8. № 4. С. 29-42. DOI: 10.18413/2313-8971-2022-8-4-0-3.
8. Обучение с помощью GitHub Classroom [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.github.com/ru/education/manage-coursework-with-github-classroom/teach-with-github-classroom>.
9. Хусаинов Н.Ш., Балабаева И.Ю., Кривша В.В. Опыт применения соревновательного и проектного подхода в обучении основам программирования и алгоритмизации студентов первого курса // Текущие вызовы в подготовке кадров. Обучение специалистов по современным направлениям информационных технологий, кибербезопасности и ИКТ-электроники, актуальным для экономики данных: сборник научных трудов. – Тверь: Издательство Тверского государственного университета. – 2024. С. 148-151.
10. Mirzayanov M., Pavlova O., Mavrin P., Melnikov R., Plotnikov A., Parfenov V., Stankevich A. Codeforces as an Educational Platform for Learning Programming in Digitalization // Olympiads in Informatics. – 2020. – Vol. 14. – Pp. 133–142. – DOI: 10.15388/oi.2020.10.

11. Benson D., Joseph M. Useful Moodle Plugins for Programming Language Instructors [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.opensourceforu.com/2018/08/useful-moodle-plugins-for-programming-language-instructors>.
12. Самсонов А.В., Ипатов А.В. Система подготовки олимпиадных задач по программированию в УрГУ // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2012. Том 10, выпуск 3. С. 92-104.
13. Oliveira M. How to Do Static Analysis of C/C++ with Cppcheck – 2023. - [Электронный ресурс]. – URL: <https://terminalroot.com/how-to-do-static-analysis-of-c-cpp-with-cppcheck>.
14. Squid: Optimising Web Delivery. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.squid-cache.org>.
15. IPsets – [Электронный ресурс]. – URL: <https://ipset.netfilter.org>.
16. Абакумов Д. Психометрика в EdTech: первые шаги. Инструменты для методистов, аналитиков, исследователей и продакт-менеджеров в образовании. – Москва: МИФ, 2025. – 176 с.
17. Андреева Т.А. Возможность автоматизации процесса генерирования тестовых наборов // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2017. № 8(41). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/5072>.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ГИДРОЛОКАТОРА БОКОВОГО ОБЗОРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ В СРЕДЕ MATLAB

Хусаинов Н.Ш., Шкурко А.Н., Дроздов С.Н., Лутай В.Н.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
г. Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Рассматриваются вопросы компьютерного моделирования процессов формирования искусственных гидролокационных изображений и их обработки с целью повышения качества визуального восприятия. Приведены описания упрощенной модели и алгоритма расчета отраженного акустического луча гидролокатора бокового обзора на основе оптической трассировки луча и способа формирования последовательности изображений, формируемых гидролокатором в процессе движения. Описана структура и функциональное назначение программных модулей на языке MATLAB, решающих задачи формирования и визуализации гидролокационных изображений, разработанные в рамках выполнения проекта по созданию макетного образца гидролокатора бокового обзора с синтезированной апертурой.

Введение

Гидролокатор бокового обзора (ГБО) – одно из наиболее известных и эффективных средств для подводных исследований, в настоящее время является наиболее распространенным инструментом для обследования акваторий. Он позволяет получать высококачественное гидролокационное изображение (сонограмму), может эффективно использоваться в самых разных водоемах и "видеть" дно независимо от прозрачности и солености воды.

ГБО использует акустический (ультразвуковой) зондирующий импульс для формирования картины подводной обстановки. Как правило, приемно-передающая антенна ГБО располагается либо на борту судна, либо на буксируемом автономном необитаемом подводном аппарате (АНПА) и имеет узкую ($0,2-3^\circ$) диаграмму направленности в горизонтальной плоскости и широкую ($40-60^\circ$) диаграмму направленности - в вертикальной плоскости. Таким образом, узкий акустический луч направлен перпендикулярно направлению движения носителя [1]. Хотя ГБО не дает абсолютных высот донных объектов, он позволяет получать относительные превышения объектов на дне, на основе которых могут быть приблизительно оценены высоты объектов.

Гидролокатор бокового обзора с синтезированной апертурой (ГБО СА) реализует дополнительную обработку нескольких последовательных гидроакустических измерений, что позволяет (за счет усложнения алгоритмов обработки и увеличения объемов обрабатываемых данных) в несколько раз повысить разрешение формируемого гидролокационного изображения в направлении движения носителя [2]. Путем согласованной реорганизации данных всех акустических лучей создается двумерное изображение, а при длительной работе гидролокатора формируется последовательность таких частично перекрывающихся изображений.

Постановка задачи

В условиях ограничения доступа к современному зарубежному гидролокационному оборудованию стала очевидной потребность в разработке отечественных комплексов для

решения задач обеспечения безопасности мореплавания, исследования морского дна, поиска затонувших объектов, составления точных батиметрических карт дна и фарватеров. В Южном федеральном университете с 2023 г. ведутся работы по созданию макетного образца перспективного гидролокатора бокового обзора с синтезированной апертурой. В рамках этого проекта перед авторами была поставлена задача разработать в среде MATLAB программу визуализации гидролокационных изображений, формируемых разрабатываемым макетным образцом ГБО СА. В ходе решения поставленной задачи были также разработаны вспомогательные программные средства для имитации процесса формирования гидролокационного изображения.

Целью данной работы является отражение полученных результатов разработки средств формирования трехмерных подводных сцен, компьютерного моделирования процессов распространения и отражения акустических лучей от подводных объектов и визуализации формируемых гидролокационных изображений, обеспечивающих эффективное повышение выразительности результирующего образа.

Подходы и методы решения поставленной задачи

В рамках сформированной задачи были выделены две ключевые относительно независимые подзадачи:

- имитация работы ГБО СА с целью формирования искусственных сонограмм, принципы формирования, основные характеристики и форматы представления которых позволяли бы использовать их для исследования методов визуализации гидролокационных изображений;
- реализация методов пост-обработки и визуализации гидролокационных изображений с целью повышения эффективности зрительного анализа гидролокационного изображения.

Решение подзадачи 1.

Гидролокационное изображение, получаемое при использовании ГБО, формируется в прямоугольной системе координат "наклонная дальность – пройденное расстояние", где обзор по координате "наклонная дальность" проводится за счет распространения зондирующих импульсов, а обзор по координате "пройденное расстояние" – вследствие поступательного движения носителя.

Вследствие того, что различным неоднородностям дна присуща разная отражающая способность, значение амплитуды сигнала от различных препятствий будет отличаться.

Существует множество исследований в области моделирования гидролокаторов [3]. Имитаторы, как правило, основаны на методах трассировки лучей или на решении полного волнового уравнения [4]. Реалистичное моделирование широкополосных интерферометрических изображений с помощью синтезированной апертуры в целом является очень сложным и медленным (генерация одного синтетического изображения бокового обзора с помощью настольного компьютера может занимать от одного часа до нескольких дней).

В данной работе формирование сцены основано на применении методики, аналогичной технологии оптической трассировки лучей (optical raytracing), которая используется в компьютерной графике и позволяет создавать реалистичные имитации изображений света путем расчета интенсивности каждого отдельного светового (акустического) луча, проецируемого на заранее заданную сцену. А формирование изображения, получаемого в гидролокаторе с синтезированной апертурой при наложении интерферометрических изображений, моделируется посредством частичного наложения двумерных изображений, формируемых как множество отраженных интенсивностей акустических лучей. Такой подход дает результаты, схожие с результатами, получаемым с использованием более сложных моделей распространения, однако он намного быстрее.

Построение упрощенной модели отраженного сигнала ГБО (сонограммы) выполнено с учетом следующие базовых положений:

- расчет отраженного сигнала выполняется для двумерной системы координат зондирующего луча, центр которой находится в точке излучения/приема сигнала, горизонтальная ось направлена в сторону излучения и параллельна плоскости дна, вертикальная – перпендикулярно вверх;

- действие гидролокатора основано на периодическом излучении зондирующих звуковых посылок и детектировании эхо-сигналов обратного рассеивания от удаленных участков дна. Отраженный сигнал принимается со всех направлений внутри луча ГБО. Каждому интервалу наклонной дальности (равноудаленной точке внутри луча относительно его начала) соответствует один элемент вектора отсчетов отраженного акустического сигнала. Визуально это можно представить как множество окружностей с постоянным шагом радиуса. Поскольку излучение является направленным в сторону, перпендикулярную к направлению движения носителя ГБО, то дуги окружностей, соответствующие интервалу наклонной дальности, принадлежат сектору видимости ГБО, который ограничен в вертикальной плоскости заданными параметрами углов;

- сигнал отражается от поверхности в точке пересечения фронта акустической волны с поверхностью. Величина коэффициента отражения (интенсивность отраженного сигнала) зависит от типа поверхности ("дно"/"объект"), угла между нормалью к поверхности и направлением на антенну ГБО и расстояния от антенны до точки пересечения фронта акустической волны с поверхностью:

$$I_{i,s} = I^{type} \cos(n * l) K_{zam}(R_i),$$

где $I_{i,s}$ – результирующая интенсивность отражения i -го фронта акустического сигнала от поверхности в s -й точке;

I^{type} – коэффициент отражения, определяемый типом отражающей поверхности (type),

n – вектор нормали к поверхности,

l – вектор направления из точки касания на точку излучения сигнала,

$K_{zam}(R_i)$ – линейный коэффициент затухания величины сигнала от дальности до точки излучения;

- для имитации нестационарности коэффициент отражения для каждого типа объекта I^{type} определяется как случайная величина с нормальным законом распределения с параметрами (M^{type} , σ^{type});

- с учетом того, что каждый участок поверхности в модели описывается отрезком прямой, окружность, описывающая фронт акустической волны, может не пересекаться с этим отрезком или иметь одно или два пересечения. Кроме того, фронт акустической волны может пересекаться одновременно с несколькими поверхностями. Если обозначить через S суммарное количество точек пересечения текущего фронта i -го акустического сигнала (R_i) с отрезками, описывающими поверхности сцены, то результирующий коэффициент отражения определяется как сумма значений коэффициентов отражения в каждой точке:

$$I_i = \sum_{s=1}^S I_{i,s}$$

- каждая акустический импульс распространяется в пространстве по прямой. При наличии препятствия на пути распространения импульса, область за препятствием попадает в "акустическую тень", в которой точки пересечения линии радиуса с какими-либо поверхностями отсутствуют.

При построении упрощенной модели отраженного сигнала ГБО матрица двумерного гидролокационного изображения представляет собой объединение последовательных N векторов отраженного сигнала в порядке их получения, каждый из которых имеет M отсчетов, соответствующих R_r -фронтам акустического зондирующего луча.

Полученное гидролокационное изображение подвергается воздействию двух видов шума:

- двумерный мультипликативный шум для имитации спекл-искажений с дисперсией ($D_{speckle}$);
- аддитивный шум как гауссовский нормальный шум с дисперсией (D_{gauss}).

При построении модели отраженного сигнала не учитываются физические процессы, происходящие при функционировании ГБО, а также особенности среды распространения акустического сигнала. Поэтому модель является упрощенной и предназначена только для тестирования программного модуля визуализации и обработки гидролокационного изображения.

Решение подзадачи 2.

Процедура улучшения изображений сводится к выполнению комплекса операций с целью улучшения визуального восприятия изображения. При этом не делается попытки приблизить воспроизводимое изображений к некоторому идеализированному оригиналу. В настоящее время общая теория улучшения изображения отсутствует. Это объясняется тем, что не существует общепринятого стандарта качества изображения, который мог бы служить критерием при проектировании алгоритмов улучшения изображений.

Известно, что гидроакустический канал является весьма специфичным вследствие нестационарности, рефракционных и иных физических эффектов, что проявляется в виде многолучевости, интерференции и может приводить не только к сильным искажениям передаваемой информации, но и иногда к ее полной потере.

Изображения, полученные с помощью гидролокаторов, представляют собой частный случай изображений радиолокационных систем с синтезированием апертуры антенны (РСА). В частности, для подобных изображений свойственно наличие мультипликативного спекл-шума. Он возникает из-за интерференции волн, вызванной множественным рассеянием от малых относительно элемента разрешения отражателей. У гидролокационных комплексов изменение рельефа от точки к точке может быть соизмеримо с дальностью до объекта зондирования. Это увеличивает вероятность того, что на одной и той же дальности окажется сигнал, отраженный от целей на разных угла прихода. Эта особенность увеличивает вероятность появления дополнительных спекл-шумов и затрудняет их фильтрацию [5].

Наиболее простым и достаточно эффективным способом улучшения изображения является поэлементное преобразование, заключающееся в выполнении одного и того же функционального преобразования для каждого элемента матрицы вне зависимости от его положения и значений других (соседних) элементов. Несмотря на простоту, различные алгоритмы поэлементных преобразований широко используются на практике и позволяют решить довольно много прикладных задач улучшения качества и анализа изображений [6].

Для решения задач повышения качества визуализации сонограмм в работе использованы методы линейного контрастного масштабирования, выравнивания гистограммы и адаптивного выравнивания гистограммы (CLAHE), гамма-коррекции, медианной фильтрации.

Структура программного комплекса

Для решения поставленных задач разработан набор программных средств, состав и взаимодействие которых показаны на рисунке 1. Все программные средства разработаны в среде Matlab. В верхней части рисунка содержатся программные модули, отвечающие за формирование сцены, моделирование отражения гидроакустического луча и синтез гидролокационных изображений.

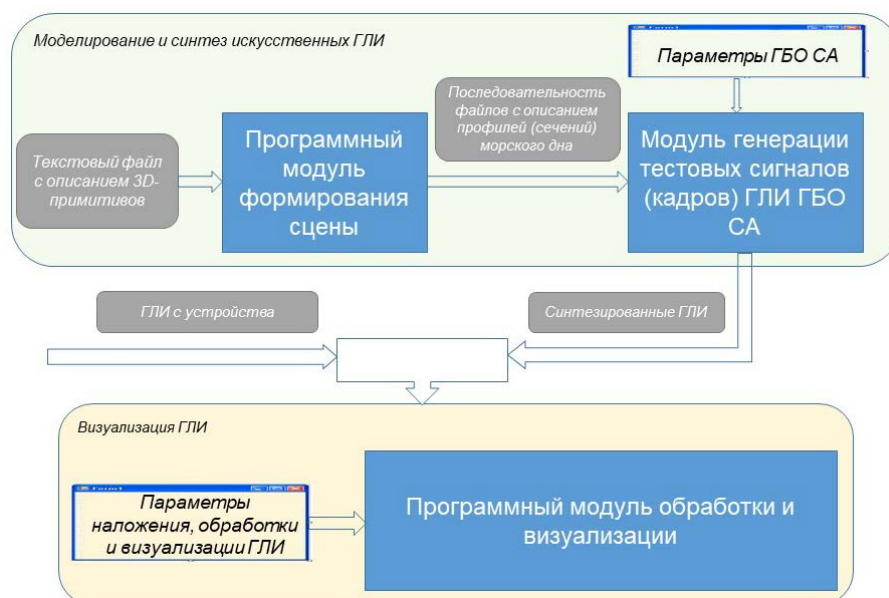


Рисунок 1. Структура программного обеспечения моделирования и визуализации гидролокационных изображений ГБО СА.

Программный модуль формирования сцены с подводными объектами реализует функциональность чтения описания сцены из текстового файла, визуализации сцены, формирование профилей (сечений) дна, имитирующей область засветки одним зондирующим лучом с кусочно-линейной аппроксимацией каждого профиля, сохранение множества профилей в виде набора текстовых файлов. Пример отображения в программном модуле исходной сцены, состоящей из нескольких подводных объектов, показан на рисунке 2.

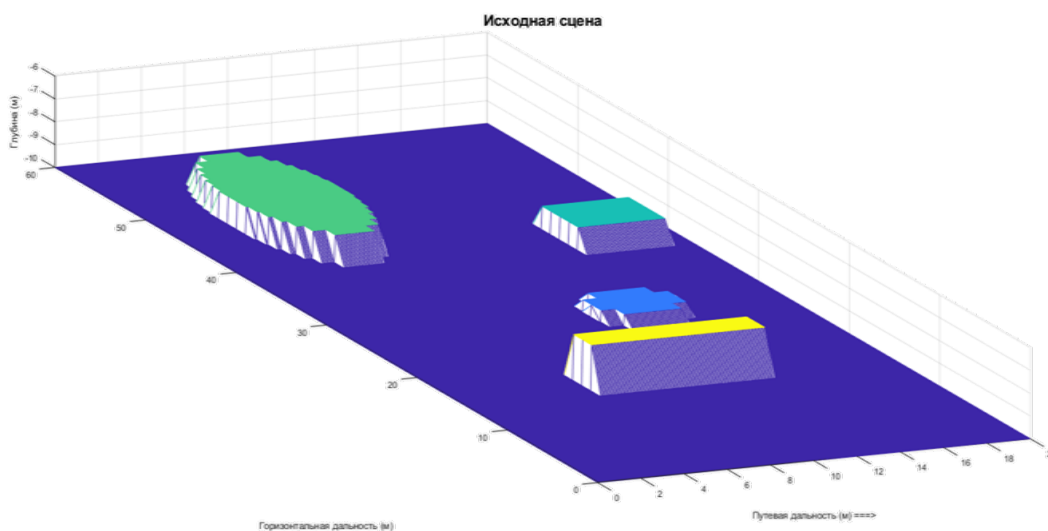


Рисунок 2. Пример исходной сцены "Бассейн", заданной с помощью графических 3D-примитивов.

Результаты экспериментальных исследований

Программный модуль генерации тестовых сигналов выполняет формирование массива с коэффициентами отражений зондирующего луча для каждого профиля дна, формирование двумерных гидролокационных изображений, наложение спекл- и аддитивного шума на гидролокационные изображения, сохранение сгенерированных изображений в последовательности бинарных файлов. Процедура генерации тестовых сигналов реализует

упрощенный алгоритм моделирования работы ГБО, учитывающий ограничение сектора видимости ГБО, разрешение по дальности, удаление "невидимых" (затененных) поверхностей, комплексирование отражений фронта акустической волны одновременно от нескольких подводных объектов, зависимость коэффициента отражения луча от угла падения и другие задаваемые пользователем параметры функционирования ГБО. Пример результата расчета вектора коэффициентов отражения одного акустического луча показан на рисунках 3 и 4.

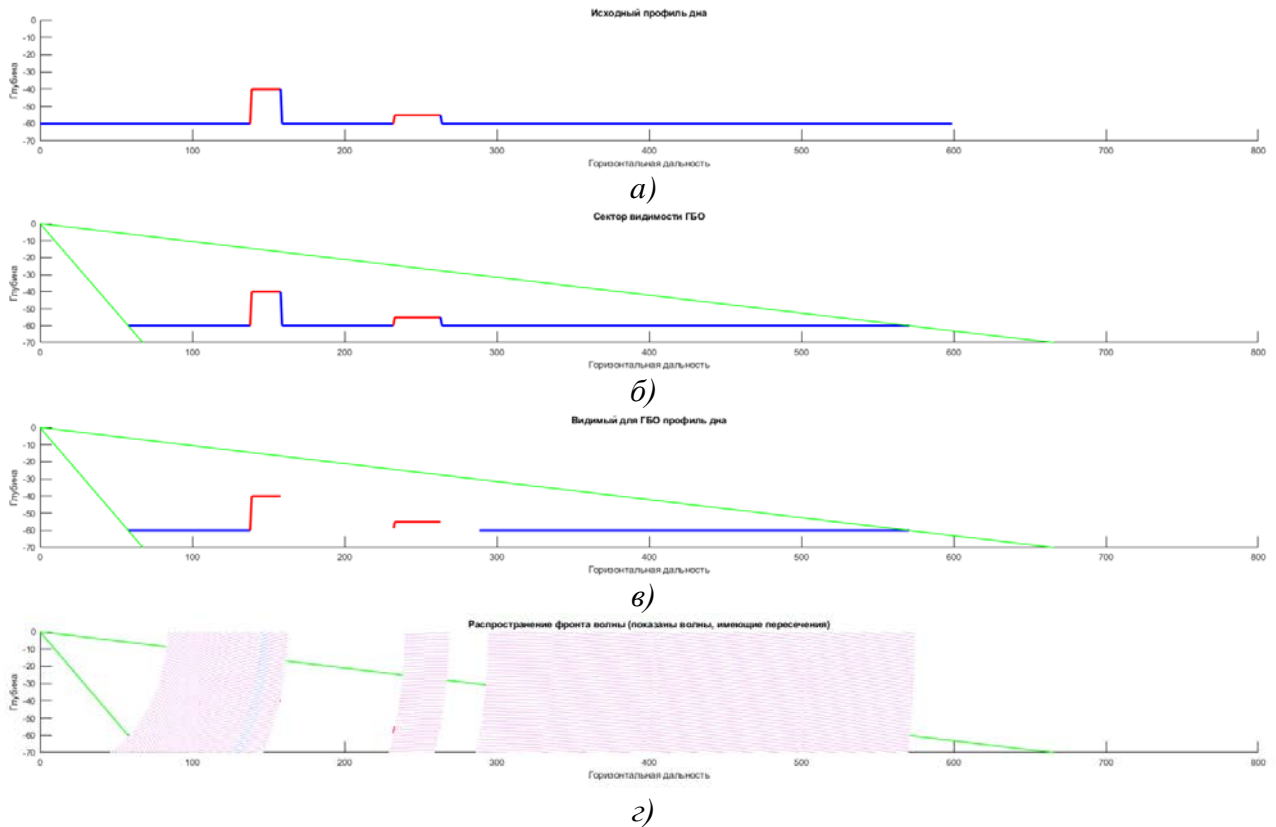


Рисунок 3. Результаты применения первых шагов алгоритма моделирования отражения луча ГБО на примере обработки одного профиля дна: а) исходный профиль дна в виде последовательности отрезков (цветом показаны поверхности с разным коэффициентом отражения); б) ограничение профиля дна в соответствии с заданным пользователем сектором видимости ГБО; в) результат удаления невидимых участков поверхности дна (акустическая тень); г) визуализация фронтов акустического сигнала с различными радиусами (показаны только те фронты, которые имеют пересечения с объектами сцены).

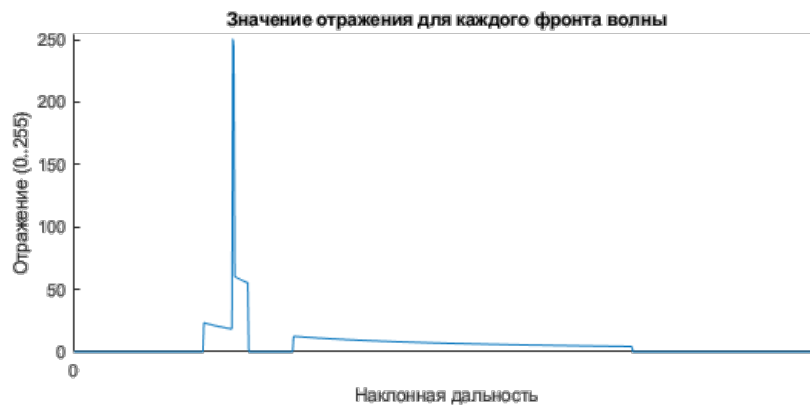


Рисунок 4. Результат моделирования интенсивности отражения акустического луча для одного профиля дна сцены "Бассейн".

Программный модуль обработки визуализации реализует обработку полученного ГЛИ для улучшения качества восприятия, а для последовательности ГЛИ – дополнительно выполняет сшивку нескольких ГЛИ и вывод их в окне просмотра в режиме, имитирующим режим реального времени.

Основными визуальными дефектами гидролокационных изображений являются зернистость, аддитивный и белый шум. Примеры, иллюстрирующие применение перечисленных выше алгоритмов повышения качества визуализации изображения, показаны на рисунке 5.

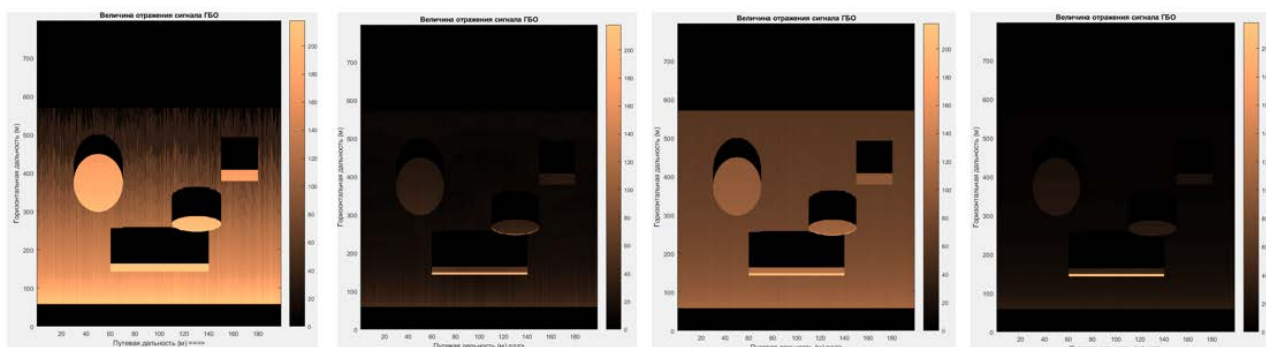


Рисунок 5. Результаты применения реализованных алгоритмов обработки ГЛИ с целью повышения визуального качества отображения: выравнивание гистограммы; адаптивное выравнивание гистограммы (CLAHE); гамма-коррекция; двумерная медианная фильтрация.

Заключение

Разработанный комплекс программных средств может быть использован на этапе проектирования ГБО СА для отладки механизмов взаимодействия элементов комплекса, выбора параметров, обеспечивающих необходимые качественные характеристики решения прикладных задач, тестирования и оптимизации алгоритмов функционирования каждого элемента системы и их комплексного взаимодействия.

В зависимости от решаемой задачи методы обработки эхограммы, реализованные в программном модуле визуализации, могут быть модифицированы или дополнены. Например, для выделения линий на ГЛИ хорошую эффективность показывает применение оператора Щарра как обладающего наилучшей круговой симметрией (по сравнению с операторами Собела и Превита) [7].

Также большой интерес представляет применение методов искусственного интеллекта для распознавания подводных объектов. В настоящее время уже не вызывает сомнений высокая эффективность и широкое практическое распространение методов машинного обучения для распознавания эхограмм, формируемых ультразвуковыми медицинскими аппаратами, которые имеют сходные с гидролокаторами физические принципы формирования изображений. И хотя условия применения этих приборов совершенно различны (с точки зрения расстояния до исследуемых объектов, ожиданиях относительно их количества, формы и размера, объема обрабатываемых данных), активные исследования в этом направлении уже ведутся, в основном зарубежными учеными [8, 9].

Список литературы

1. Фирсов Ю.Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров. - СПб.: Нестор-История, 2010. - 348 с.
2. Hansen R. Introduction to Synthetic Aperture Sonar / Sonar Systems Ed. Prof. N. Kolev - Croatia: InTech, 2011. - Pp. 3-28.
3. Никишин В.В., Багаев А.В. Модель эхолота и гидролокатора бокового обзора в составе имитационного тренажерного комплекса для прибрежных морских исследований //Автоматизация и измерения в

- машино- приборостроении: научный журнал. - 2025. - С 52-60;
4. Bell J.M. Application of optical ray tracing techniques to the simulation of sonar images // *Optical Engineering*. – 1997. - № 36(6). Pp. 1806–1813.
 5. Кокошкин А.В., Новичихин Е.П., Смольянинов И.В. Применение методов спектральной и пространственной обработки к изображениям, полученным с помощью гидролокатора // *Радиоэлектроника, наносистемы, информационные технологии*. - 2021 г. – Том 13 (3). С.377-382.
 6. Сойфер В.А. Компьютерная обработка изображений. Часть 2. Методы и алгоритмы // *Соросовский образовательный журнал* – 1996, № 3, с.110-121.
 7. Багницкий А.В., Инзарцев А.В., Павин А.М., Мельман С.В., Морозов М.А. Модельное решение задачи автоматической инспекции подводных трубопроводов с помощью гидролокаторов бокового обзора // *Подводные исследования и робототехника*. - 2011. - № 1 (11). - С. 18-23;
 8. Stainiger Y., Kraus D., Meisen T. Survey on deep learning based computer vision for sonar imagery // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. - 2022, September. - Vol. 114;
 9. Гончаров А. Е., Гончарова Е.А. Интерпретация и обработка данных гидролокатора бокового обзора с целью автоматизации данного процесса // *Сибирский аэрокосмический журнал*. 2023. Т. 24, № 4. С. 639–651. Doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-4-639-651

ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Клепцова Е.И., Коваленко Е.С.

Филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» в г. Новокуйбышевске
бакалавры кафедры ЭЭиАТП

Научный руководитель Пузанкова А.Б.

Филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» в г. Новокуйбышевске
к.пед.н., доцент кафедры ЭЭиАТП

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема повышения качества и скорости проектирования электрических схем студентами электротехнических специальностей. Приведены основные характеристики систем автоматизированного проектирования предназначенных для разработки радиоэлектронной аппаратуры и электрооборудования. Предложен авторский алгоритм использования приложения КОМПАС-Электрик.

Ключевые слова: Автоматизация проектирования, электрооборудование, повышение качества, интерфейс, пошаговое руководство.

Введение

Информационные технологии в образовании играют всё более существенное значение. В курсе «Инженерной и компьютерной графики» студенты электротехнических специальностей выполняют задания по проектированию электрических схем [3]. Эта работа направлена на систематизацию и расширение теоретических знаний, развитие аналитического и творческого мышления [4], на закрепление навыков использования существующих нормативных материалов, а также служит подготовительным этапом для выполнения курсовых и дипломных проектов по специальным дисциплинам. Современный работодатель заинтересован в таких сотрудниках, которые умеют работать с информационными системами, добывать и использовать необходимую информацию. Такие специалисты будут востребованы в институтах, конструкторских бюро и отделах, которые проектируют электроприводы, нестандартное оборудование, разрабатывают проекты электроснабжения для промышленного и гражданского строительства.

Материалы и методы

В нашей работе была использована автоматизированная система КОМПАС-Электрик, которая является приложением для КОМПАС-График [1] и предназначена для автоматизации проектирования и выпуска комплектов документов (схем и отчетов к ним) на электрооборудование (низковольтные комплектные устройства, системы релейной защиты и автоматики, АСУ технологическими процессами и т.д.).

Компас-Электрик состоит из двух основных модулей: Базы данных и Редактора схем и отчетов. База данных системы содержит комплектующие, применяемые в проектах, а также условные графические обозначения (УГО), используемые при создании схем. Средства работы с базой данных позволяют сохранять УГО, упорядочивать директории их хранения, назначать комментарии и характеристики. Редактор схем и отчетов необходим для создания пакета конструкторской документации [2] на электрооборудование. Конструктор описывает логику работы проектируемого электрооборудования с помощью схемы электрической принципиальной, размещает на схеме расположения электрооборудования, а остальные графические и таблично-текстовые документы (схемы соединений, перечни элементов, спецификации, таблицы соединений и подключений) формируются в автоматическом режиме.

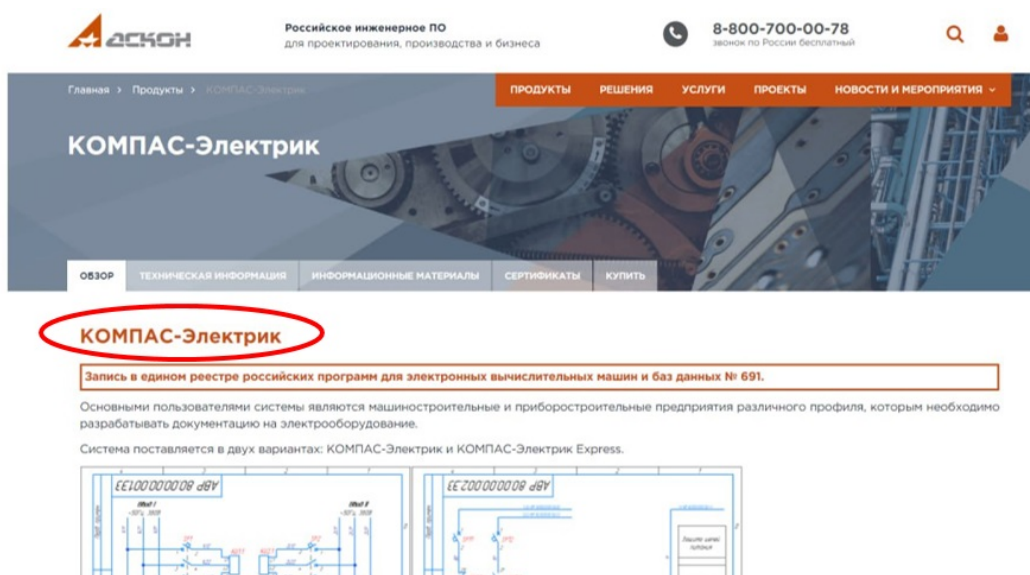


Рисунок 1. Стартовая страница КОМПАС-Электрик.

КОМПАС-Электрик позволяет проектировать электрооборудование с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК). Для проектирования эксплуатационной документации используются Редактор моделей и Редактор документации ПЛК, а также расчет данных и создание эксплуатационной документации на ПЛК. Приложение позволяет создавать новые пользовательские формы таблично-текстовых отчетов и редактировать имеющиеся.

Постановка цели и задач

В современном мире инженерное проектирование электрических схем является неотъемлемой частью разработки электронных устройств, систем автоматизации и энергетических комплексов. Программные инструменты, такие как "Компас-Электрик", значительно упрощают процесс проектирования, но их эффективное использование требует определенных навыков и знаний. Для студентов технических специальностей важно не только понимать теоретические основы электротехники, но и уметь применять их на практике, используя современное программное обеспечение. Создание пошаговой инструкции по работе в "Компас-Электрик" поможет студентам быстрее освоить инструмент, повысить качество выполнения учебных проектов и подготовиться к реальным задачам в профессиональной деятельности.

Целью нашего проекта стала разработка пошаговой инструкции для студентов по работе в приложении "Компас-Электрик", включающей создание электрической схемы, с целью упрощения процесса освоения программного обеспечения и повышения качества выполнения учебных и профессиональных задач.

Для достижения цели проекта были поставлены следующие задачи:

- Изучение программы "Компас-Электрик":
 - Освоить интерфейс и основные функции программы
 - Изучить возможности создания электрических схем
- Подготовка дополнительных материалов:
 - Создать пошаговое руководство по работе в программе
 - Установить библиотеки, часто используемых компонентов
- Создание электрической схемы:
 - Проверить работу приложения на примере, создав схему стабилизатора частоты вращения электродвигателя.

Обсуждение и результаты

В результате проделанной работы, нами были составлены методические указания по применению приложения КОМПАС-Электрик для проектирования электрических принципиальных схем.

Методические указания по работе в "Компас-Электрик"

1. Установка "Компас-Электрик"

1.1. Скачивание программы

1. Перейдите на официальный сайт АСКОН: <https://kompas.ru>.
2. В разделе "Продукты" найдите "КОМПАС-3D" и выберите версию для электриков ("Компас-Электрик Экспресс").
3. Нажмите "Скачать" и сохраните установочный файл (обычно в формате .zip или .exe).

1.2. Распаковка и подготовка

1. Откройте скачанную ZIP-папку (например, КОМПАС-Electric...).
2. Зажмите левую кнопку мыши (ЛКМ) и перетащите папку на рабочий стол.
3. Откройте папку и найдите файл установщика (например, setup.exe).

1.3. Установка

1. Запустите установщик от имени администратора (ПКМ → "Запуск от имени администратора").
2. Если появится предупреждение "Неизвестное приложение", нажмите "Не выполнять" (это нормально для некоторых версий).
3. Следуйте инструкциям мастера установки:
 - Выберите путь для установки (рекомендуется оставить по умолчанию: C:\ASCON).
 - Отметьте необходимые компоненты (например, "Компас-Электрик Экспресс").
4. Дождитесь завершения установки и нажмите "Готово".

1.4. Запуск программы

1. Перейдите в папку установки: C:\ASCON\КОМПАС-Electric.
2. Запустите ярлык "Компас-Электрик Экспресс" с рабочего стола или через меню "Пуск".

2. Установка библиотек компонентов

2.1. Скачивание библиотек

1. Откройте сайт АСКОН или раздел "Библиотеки" на <https://kompas.ru>.
2. Найдите и скачайте базу данных (БД) компонентов, совместимую с вашей версией "Компас-Электрик".
 - Пример: База данных для КОМПАС-Электрик V18.2.

2.2. Подключение библиотеки

1. Запустите "Компас-Электрик".
2. Перейдите в панель команд и выберите: "Сервис" → "Базы данных" → "Выбор базы данных".
3. Укажите путь к скачанной БД (файл с расширением .mdb или .sqlite).

2.3. Обновление структуры БД (если требуется)

Если программа сообщает о несовместимости версий:

1. Закройте "Компас-Электрик".
2. Найдите утилиту BDK_Update.exe в папке установки (C:\ASCON\Tools).
3. Запустите ее от имени администратора:
 - ПКМ → "Запуск от имени администратора".
 - Следуйте инструкциям для обновления структуры БД.

3. Создание первой схемы

3.1. Настройка документа

1. Создайте новый проект: "Файл" → "Создать" → "Проект".

2. Добавьте чертеж: "Создать документ" → "Электрическая схема".
3. Выберите формат А3 и горизонтальное расположение листа.

3.2. Добавление компонентов

1. Откройте вкладку "Объекты" и выберите "УГО" (условные графические обозначения).
2. Вставьте элементы из подключенной БД, указывая позиционные обозначения (например, "R1" для резистора).

3.3. Пример схемы

Для тренировки создайте схему стабилизатора частоты вращения электродвигателя (рис. 2):

1. Используйте линии связи ("Линии" → "Электрическая связь").
2. Добавьте двигатель, резисторы, конденсаторы и микросхемы из БД.

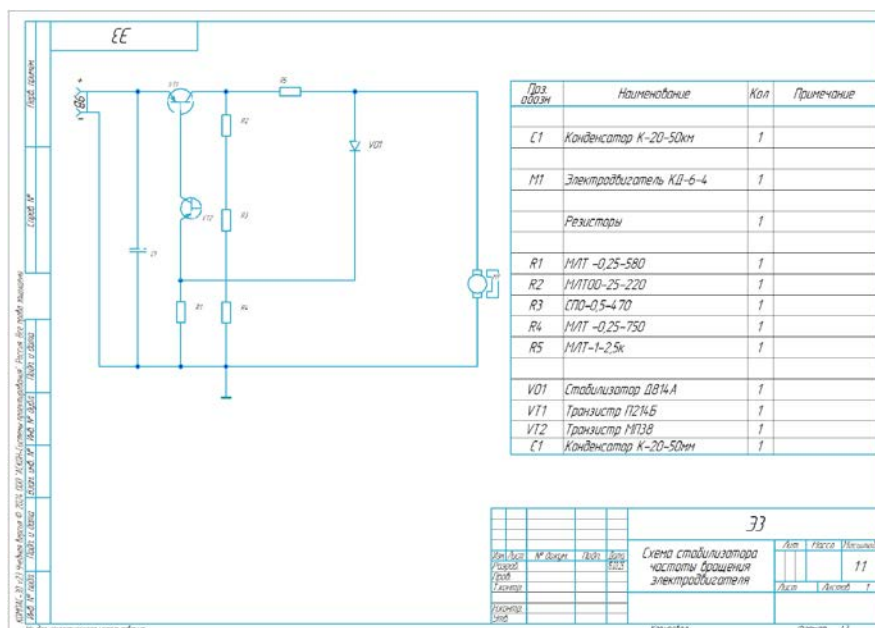


Рисунок 2. Схема стабилизатора частоты вращения электродвигателя.

Заключение

В результате проведенного исследования, нами были сделаны следующие выводы:

- Программа «Компас–Электрик» является эффективным средством разработки различных электрических схем.
- Созданное пошаговое руководство будет полезно студентам электротехнических специальностей при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также в дальнейшей работе по специальности.
- Апробация разработанного пособия по созданию электрически схем на базе «Компас–Электрик» дала положительные результаты, пособие рекомендовано к использованию в учебном процессе вуза.

Список литературы

1. ascon.ru>products/kompas-ehlektrik.
2. Электротехнические чертежи: учеб.-метод. пособие// Пузанкова А.Б., Емельянова И.В., Сенченкова Л.В./ - Самара: Самарский гос. техн. ун-т, 2013.-52 с.
3. Инженерное проектирование электрических схем: метод. пособие// Сенченкова Л.В., Емельянова И.В., Короткова Л.В. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010.-35 с.
4. Основы инженерного творчества: учебное пособие//Кондусов А.Д., Лютахин Ю.И./-Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2009 -83 с.

Секция 21

Обработка данных и информационные системы

УДК 65.01.005

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ В ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ СМК

Говорков А.С.¹, Токарев Д.О.²

¹ кандидат технических наук, e-mail: govorkov_as@istu.edu, профиль в [Scopus.com](https://scopus.com) (id=57216857950).

² конструкторско-технологическое бюро (КТБ) НИиПИ АМТ ИРННТУ
аспирант, инженер-исследователь, e-mail: DmitryOlegovichTokarev@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время в крупных проектных организациях нашей страны стала широко применяться система менеджмента качества (СМК) [1].

СМК используется для поддержания устойчивости всех бизнес-процессов, происходящих на предприятии, а также для контроля качества не только выпускаемой продукции, но и всех технологических процессов, предназначенных для ее выпуска.

СМК позволяет повысить конкурентоспособность предприятия в условиях высоких требований рынка и конечного потребителя. Особенно актуальным являются эти требования для предприятий авиационного и аэрокосмического комплекса, в которых необходимость обеспечения высокого качества выпускаемой продукции является одной из главных целей производства.

На любом производстве существует несколько основных причин, обуславливающих необходимость использования функциональной СМК. К таким причинам относятся: увеличение производительности, рост доверия со стороны потребителей продукции, выход на мировые рынки за счет роста сферы влияния компании [2].

Внедрение СМК на предприятии происходит, как правило, в несколько этапов, к которым относится анализ ситуации на предприятии и проведение обучения персонала, разработка документации, касающейся повышения качества выпускаемой продукции и роста производительности труда, разработка графика работы и условий труда, разработка документации по внедрению и проведению внутреннего аудита СМК [3].

Важность использования СМК на предприятии, требует разработки новых моделей управления и обработки информации, которые описаны ниже.

Ключевые слова: менеджмент, качества, продукция, предприятия, процесс, подразделение, взаимодействие.

Введение

Система менеджмента качества, предлагаемая к внедрению на предприятии авиационной промышленности, необходима для поддержания его устойчивости в условиях постоянных изменений внутренней и внешней среды, в которых функционирует предприятие.

СМК обеспечивает [4]:

- эффективное взаимодействие отдельных подразделений внутри предприятия;
- гарантия прав и регламентация обязанностей каждого работника предприятия;
- ориентация продукции на требования Заказчика;
- стабильность и высокое качество выпускаемой продукции;
- обеспечение выпускаемой продукции требованиями нормативной документации и требованиям Законодательства РФ;

- обеспечение безопасности труда персонала предприятия;
- уменьшение негативного воздействия на окружающую среду при деятельности предприятия.

Внедрение СМК на предприятиях нашей страны затруднено и осуществляется только в крупных компаниях, имеющих большие коллективы сотрудников, широкую номенклатуру выпускаемой продукции и богатый опыт. Трудности во внедрении СМК связаны со следующими причинами:

- высокой загрузкой сотрудников предприятия основными видами деятельности и отсутствием времени на реализацию мероприятий по СМК;
- необходимостью проведения специализированного обучения для сотрудников, которое требует значительных финансовых затрат предприятия;
- отсутствием сформированной целевой программы СМК на предприятии, которая бы показывала реальные результаты;
- низкой квалификацией сотрудников, которые осуществляют продвижение СМК на предприятии и обучение своих коллег.

Так как внедрение СМК на любом предприятии предусматривает обучение персонала, которое происходит без каких-либо материальных поощрений, то персонал не всегда положительно реагирует на подобные изменения в основной деятельности и появление дополнительных обязанностей.

СМК авиастроительных предприятий отличается некоторыми особенностями, к которым относятся дополнительные процедуры проверки качества. Их возлагают на специализированные подразделения, либо на службу внутренних аудиторов компании. Как правило, на таком производстве предусматривается должность уполномоченного представителя руководства компании в области качества. Уполномоченный представитель осуществляет анализ существующей системы для выработки предложения и мероприятий по улучшению СМК, разработке мероприятий, способных повысить качество и безопасность выпускаемой продукции.

Специфическими задачами СМК на предприятии авиационной промышленности являются [4]:

- обеспечение максимальной загрузки производственных мощностей;
- повышение эффективности использования основных производственных фондов;
- снижение издержек предприятия за счет повышения энергоэффективности;
- повышение уровня квалификации работников предприятия;
- осуществление технологической кооперации с крупными зарубежными производителями;
- использование лучших традиций отечественной школы самолетостроения;
- исследование мировых разработок в этой области и их возможное использование в отечественном производстве.

Также отличительной особенностью СМК авиастроительного предприятия является проведение текущего и промежуточного контроля качества продукции, которые используют строгие процедуры. К ним относятся многократные проверки качества материалов, агрегатов, изделий, сопроводительных документов, которые поступают от смежных подразделений, либо от субподрядных организаций. Проверки проводятся на соответствие требованиям принятой на предприятии СМК.

Качество продукции авиастроительного предприятия обеспечивается многоуровневыми проверками, выделением отдельной группы специалистов, отвечающих за качество, без размытия их ответственности на все подразделение.

Ключевым документом, в соответствии с которым формируется СМК авиастроительного предприятия, являются стандарты ISO 9000. Они были впервые использованы западноевропейскими и американскими корпорациями, осуществляющими деятельность в области авиастроения. Стандарты ISO 9000 предусматривают обобщение

передового опыта, который накоплен предприятиями, являющимися лидерами производства в определенной области. Требования этих стандартов являются универсальными для любых сфер деятельности, вне зависимости от отрасли.

В основе СМК авиастроительного предприятия лежит принцип последовательной коммуникации между отдельными подразделениями предприятия, которые получают задания от ведущего технологического подразделения, осуществляющего проектирование изделия [5].

На рисунке 1 приведена предлагаемая последовательная коммуникация между отдельными подразделениями предприятия.

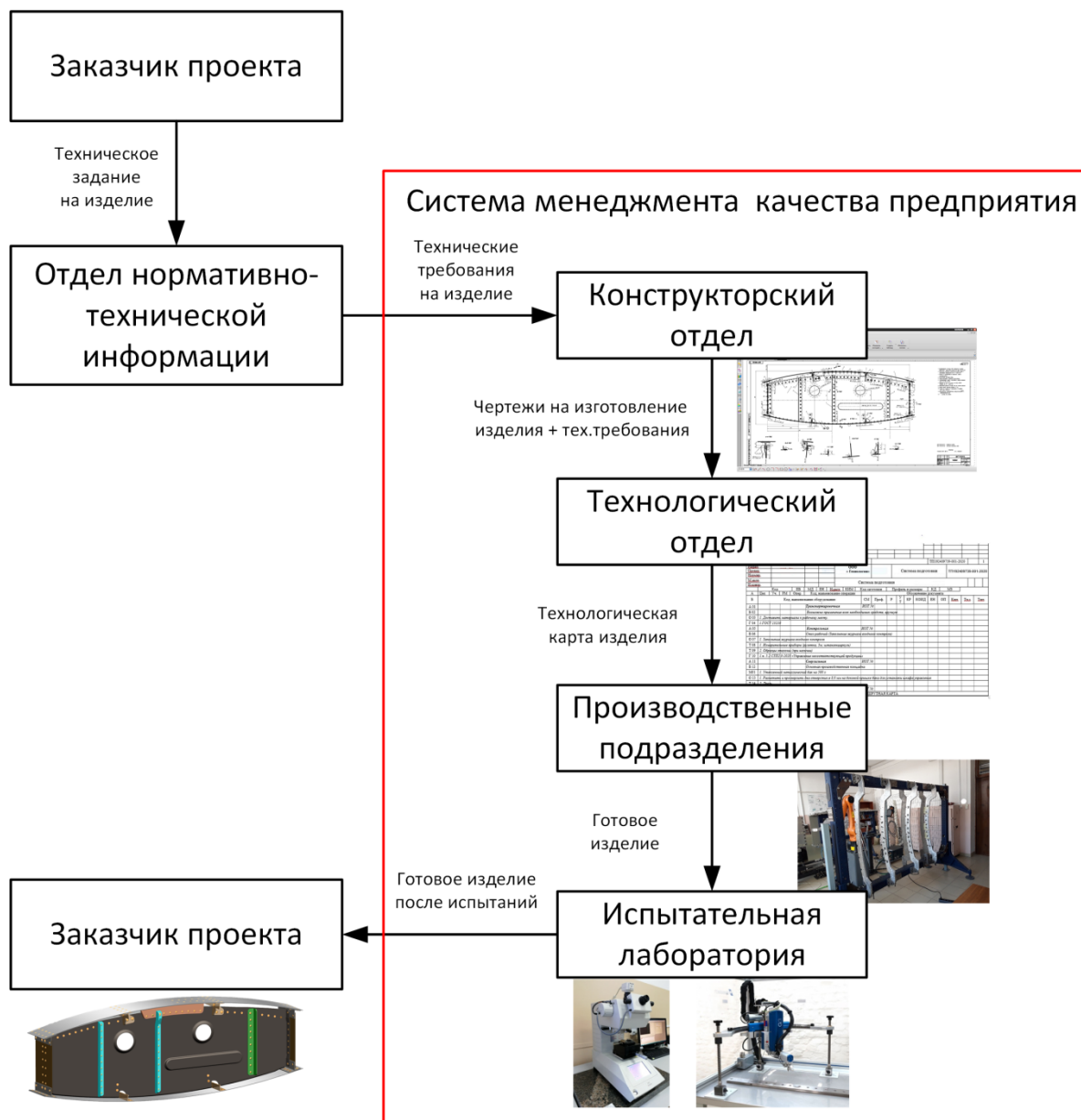


Рисунок 1. Схема последовательной коммуникации между подразделениями предприятия с интеграцией в схему СМК.

Производственные подразделения осуществляют полный комплекс обработки поверхности детали, выполняя все технические требования, которые указаны на рабочих чертежах изделия.

По окончании обработки изделия, оно направляется в испытательную лабораторию вместе с сопроводительными документами. Направление изделия также формируется в виде задания от одного подразделения к другому.

В задании содержится вся необходимая информация о том, что необходимо выполнить другому подразделению. Кроме того, в задании указывается автор задания, дата выдачи, необходимые комментарии и согласующие его специалисты. Также в задание прикрепляются все необходимые файлы, содержащие необходимую информацию.

На каждом из этапов производится контроль за качеством проводимых работ со стороны специалистов СМК, которые отслеживают следующие параметры технологического процесса [6, 7, 8]:

- 1) соответствие графику выполняемых работ;
- 2) соответствие изделия техническому заданию заказчика;
- 3) соответствие изделия требованиям нормативных документов, согласно которых оно производится;
- 4) соответствие приборов контроля и испытательного оборудования методикам измерений.

При несоответствии работ подразделений при изготовлении изделия указанным выше требованиям, специалисты СМК выдают предупреждение и отслеживают устранение обнаруженных недостатков.

Внедрение СМК в производственную деятельность предприятия предусматривает проведение комплекса организационных и технических мероприятий, в которых принимают участие все работники предприятия.

Основными этапами интеграции СМК в систему проектирования являются:

- Этап № 1: подтверждение международных сертификатов соответствия требованиям международных стандартов (ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018);
- Этап № 2: создание структуры управления СМК на предприятии;
- Этап № 3: обучение персонала основным положениям СМК;
- Этап № 4: разработка структуры документации СМК;
- Этап № 5: организация производственного контроля за соблюдением требований промышленной и пожарной безопасности на производстве;
- Этап № 6: организация производственного контроля за качеством выпускаемой продукции.
- Этап № 7: организация производственного экологического контроля.
- Этап № 8: организация инструментов системы для увеличения производительности предприятия и повышения качества продукции.

Описанные выше этапы проводятся на предприятии постепенно, но начинаются с подтверждения соответствия требованиям международных сертификатов в области качества.

Непрерывно на предприятии должны проводиться занятия с персоналом. Во время занятий разъясняются основные принципы СМК, его основные цели и выполняемые задачи [9].

В рамках развития СМК на предприятии предложено организовать единое информационное пространство отдельного проекта.

Цифровая среда, в которой разрабатывается BIM-модель изделия, в которой производится передача всех видов информации, представляет собой вложенные друг в друга информационные пространства, доступ в которые организован строго в зависимости от того, какое место участник проекта занимает в организационной структуре проекта.

Между всеми участниками проекта образуется единое информационное пространство, доступное всем (рисунок 2). В нем обращается, изменяется, хранится и обрабатывается информация обо всех характеристиках изделия.



Рисунок 2. Информационное пространство проекта.

При этом следует учитывать, что структуру информационного пространства организует Заказчик. Только он решает, какой объем информации может быть доступен всем или отдельному участнику проекта.

В это пространство интегрируется ВМ-модель АТ, в состав которой входят все изделия. Однако, доступной она, в общем случае, является только для Заказчика, Подрядчика по проектированию и Подрядчика по производству. Остальные участники проекта не могут видеть ее и вносить в нее какие-либо изменения.

Единое информационное пространство предприятия включает следующие основные элементы:

- базу данных оборудования, изделий и материалов;
- базу данных нормативной и технической документации;
- исходные данные для проектирования воздушного судна (техническое задание заказчика);
- сведения обо всех элементах производственной системы предприятия.

На авиационном предприятии организована собственная цифровая среда, основной целью которой является полная автоматизация всех бизнес-процессов предприятия.

Цифровая среда предприятия должна отвечать следующим основным принципам:

- 1) высокий уровень корпоративной безопасности;
- 2) постоянное развитие;
- 3) управление всеми бизнес-процессами предприятия;
- 4) отечественное производство основных компонентов цифровой среды;
- 5) адаптация под цифровую среду программных продуктов зарубежного производства, не имеющих аналогов в нашей стране;
- 6) организация единого информационного пространства на предприятии, доступного для любого из пользователей;
- 7) обеспечение возможности обучения персонала работе с цифровыми технологиями за счет разработанных стандартов предприятия, руководящих документов и инструкций.

Организация цифровой среды производится с учетом пожеланий и требований пользователей, которые составляют техническое задание на разработку и отладку ее отдельных элементов, интегрируемых затем в общую информационную систему предприятия [10].

Цифровая среда обслуживается ИТ-специалистами предприятия, и в любой момент

может стать полностью автономной, не зависимой от внешней информационной среды.

В условиях современных вызовов и проблем автономность цифровой среды играет ключевое значение, так как позволяет обеспечить наивысший уровень безопасности и оставаться ей полностью независимой как от зарубежных партнеров, так и от сторонних предприятий и организаций, которые могут прямо или косвенно нанести ущерб информационным ресурсам предприятия авиационной промышленности.

Выводы

Таким образом, предлагаемые к реализации мероприятия по внедрению СМК на предприятии авиастроения позволяют повысить производительность труда за счет эффективного взаимодействия между собой отдельных подразделений. Для этого организуется единое информационное пространство проекта, в котором осуществляются все взаимодействия между заказчиком проекта, проектной организацией и другими участниками. Вся информация, которая обращается в информационном пространстве, может быть доступна всем участникам проекта, если доступ специально не ограничивается. Подобная организация обмена информацией эффективна, так как позволяет специалистам СМК проводить постоянный, либо периодический контроль за полнотой, качеством и графиком передачи информации. Кроме того, единое информационное пространство обеспечивает возможность проведения внутренних аудитов всех процессов, происходящих внутри конкретного проекта.

Список литературы

1. Магкиева З.И. Разработка и внедрение системы менеджмента качества в соответствии со стандартом ИСО 9001-2015 // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 2. С. 376–380.
2. Гришина В.А. Мотивация персонала в рамках системы менеджмента качества промышленного предприятия // Социально-экономические явления и процессы. – 2012. - № 1. С. 53-56.
3. Усик Н.И., Белокуров А.Э., Василенок А.В. Важность системы менеджмента качества на предприятиях / Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». №4, 2016. С. 70-77.
4. Гафиятуллин В.А. Система менеджмента качества проектного управления на предприятиях авиастроительного комплекса. // Вестник университета №5, 2016. С. 17 – 22.
5. Антохина, Ю.А. Современные инструменты менеджмента и качества / Ю.А. Антохина. — СПб.: ГУАП, 2017. — 238 с.
6. Дремина, М.А. Проектный подход к разработке и внедрению систем менеджмента качества: Монография / М.А. Дремина, В.А. Копнов, А.А. Станкин. — СПб.: Лань, 2015. — 304 с
7. Ковалев, А.И. Менеджмент качества функционирования предприятий / А.И. Ковалев, А.С. Зенкин, А.И. Химичева. — М.: ПП Цюпак, 2018. — 520 с.
8. Логанина, В.И. Разработка системы менеджмента качества на предприятиях. Практическое руководство. / В.И. Логанина. — М.: КДУ, 2018. — 148 с.
9. Васильева, Н.Д. Системы менеджмента качества и их сертификация / Н.Д. Васильева, Д.Д. Грибанов. - М.: Русайнс, 2014. - 26 с.
10. Ковалев, А.И. Менеджмент качества функционирования предприятий / А.И. Ковалев, А.С. Зенкин, А.И. Химичева. - М.: ПП Цюпак, 2010. - 520 с.
11. Минько, А.А. Менеджмент качества. / А.А. Минько. - СПб.: Питер, 2013. - 272 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БЕСКОНТАКТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОТСЕКА ЯЧЕЙКИ КРУ 6-10 кВ

Фролов К.В., Инаходова Л.М.

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

Аннотация. В статье решена научная задача повышения эффективности диагностики электрооборудования ячеек КРУ 6-10 кВ электрических подстанций путем разработки метода бесконтактного акустического контроля. Научная новизна заключается в разработке структурной схемы экспериментальной установки, для получения измерительных данных методом бесконтактного акустического контроля, бесконтактном сборе, оцифровке и анализе сигналов с помощью контроллера, формирующего диагностические признаки для оценки технического состояния, определении параметров компонент смешанного гауссова распределения в РСА-пространстве и кластеризации спектральных признаков в соответствии с тремя режимами: нормальный, предаварийный, аварийный.

Ключевые слова: акустический контроль, КРУ 6-10 кВ, диагностика электрооборудования, частичные разряды, смешанное гауссово распределение в РСА-пространстве, спектральный анализ.

Введение

В современных энергосистемах комплектные распределительные устройства (КРУ) напряжением 6-10 кВ играют ключевую роль в обеспечении надежного электроснабжения промышленных и гражданских объектов. Эти устройства включают в себя отсеки ячеек, содержащие трансформаторы тока и напряжения, вакуумные или элегазовые выключатели, разъединители и изоляторы, которые подвержены различным дефектам в процессе эксплуатации. Актуальность проблемы надежности КРУ обусловлена ростом числа аварий, связанных с износом изоляции, механическими повреждениями и электрическими разрядами, что приводит к простоям и экономическим потерям [1,2]. По результатам многолетних обследований значительная доля дефектов в КРУ относится к развивающимся и аварийным, что требует перехода от периодических проверок к непрерывной дистанционной диагностике состояния оборудования [3]. Традиционные методы, такие как тепловизионный контроль, измерение сопротивления изоляции или испытания под напряжением, требуют отключения оборудования, что не всегда возможно в условиях непрерывного производства. Анализ исследований последних лет показывает, что акустические методы диагностики, основанные на регистрации акустических сигналов от частичных разрядов (ЧР) и вибраций, являются актуальными и востребованными благодаря возможности применения в бесконтактных переносных устройствах [4].

В работах зарубежных авторов [5], описываются системы акустической диагностики частичных разрядов, но они ориентированы на отдельные элементы, без учета одновременной диагностики электрооборудования распределительного устройства. В отечественной литературе [6,7] рассмотрены виброакустические методы для диагностики трансформаторов, однако это контактные методы, не анализирующие сигналы от множественных источников дефектов.

Цель работы – разработка и применение метода бесконтактного акустического контроля для одновременной диагностики электрооборудования отсека ячейки КРУ 6-10 кВ.

Постановка задачи

В отсеке ячейки КРУ 6-10 кВ наиболее распространены следующие дефекты: частичные разряды в изоляции, повреждения изоляторов и секционных выключателей, вибрации выключателей, перекрытия трансформаторов тока, коррозия контактов и т.д.

Разряды, возникая в локальной неоднородности электрического поля, сопровождаются импульсной и высокотемпературной изменчивостью параметров, формируя скачки давления и температуры, приводящие к зарождению высокочастотных акустических волн в газовой среде и конструкционных материалах. Акустические волны распространяются в объёме отсека ячейки КРУ в форме широкополосных акустических сигналов [8,9]. На практике наибольшую информативность даёт диапазон частот порядка десятков килогерц, что положено в основу метода бесконтактного акустического контроля.

По мере ухудшения состояния изоляции электрооборудования меняется акустическая картина: на ранних стадиях развития дефекта регистрируются редкие слабые импульсы, при переходе к предаварийному состоянию электрооборудования ячейки КРУ они учащаются и занимают более широкую полосу частот, а в аварийном состоянии возрастает суммарная акустическая мощность. Эти различия хорошо проявляются в спектральных оценках, поэтому целесообразно работать с спектральной плотностью мощности (СПМ) сигнала и сравнивать её с эталонными диапазонами для разных режимов работы электрооборудования.

Таким образом, одновременная диагностика дефектов в отсеке ячейки КРУ традиционными методами вызывает сложности, поскольку требуется вывод оборудования из эксплуатации и непосредственное присутствие персонала. Поэтому разработка и применение метода бесконтактного акустического контроля позволит дистанционно регистрировать сигналы без физического вмешательства одновременно от всех видов электрооборудования, расположенного в отсеке ячейки.

Метод бесконтактного акустического контроля

Акустические сигналы, порождаемые частичными и дуговыми разрядами, улавливаются широкополосными акустическими датчиками, размещёнными в ячейке КРУ. Метод заключается в бесконтактном сборе, оцифровке и анализе сигналов с помощью контроллера, который формирует диагностические признаки для оценки технического состояния электрооборудования отсека ячейки, включая трансформаторы, выключатели и изоляторы.

Структурная схема экспериментальной установки, разработанная в целях получения измерительных данных методом бесконтактного акустического контроля, изображена на рисунке 1 [10,11].

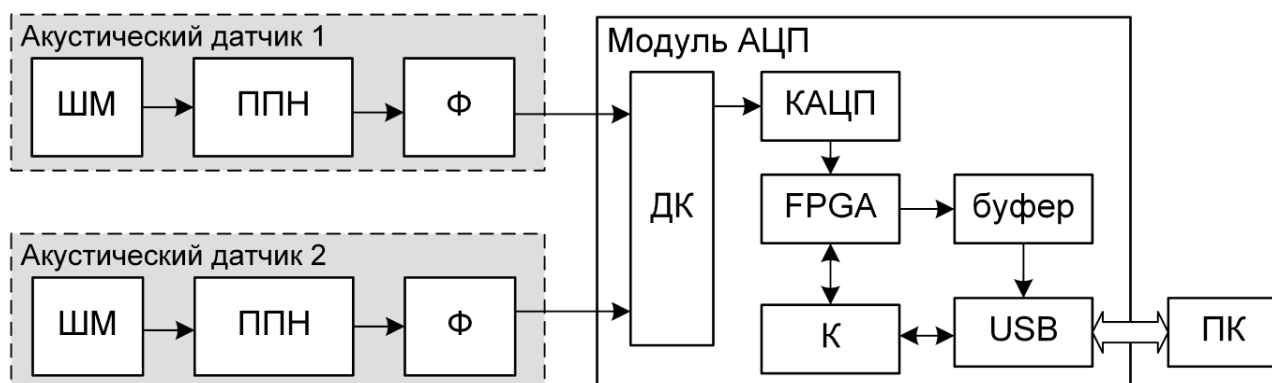


Рисунок 1. Структурная схема экспериментальной установки: ШМ – широкополосный микрофон, ППН – блок предварительного повышения напряжения, Ф – фильтр, АЦП – аналогово-цифровой преобразователь, ДК – динамический коммутатор, КАЦП – конвейерное АЦП, К – контроллер, USB – USB контроллер, ПК – персональный компьютер.

В составе прототипа акустического датчика используется широкополосный пьезоэлектрический микрофон knowles SPU0410LR5H-QB, ширина диапазона частот которого составляет от 100 Гц до 80 кГц, чувствительностью (-38 ± 3) дБ, усилитель ППН и фильтр высоких частот Ф.

Внешний вид прототипа датчика показан на рисунке 2. Сигнал микрофона усиливается блоком ППН и, исключая низкочастотные помехи через фильтр высоких частот Ф, подключается к 14-разрядному аналогово-цифровому преобразователю L-Card E20-10.

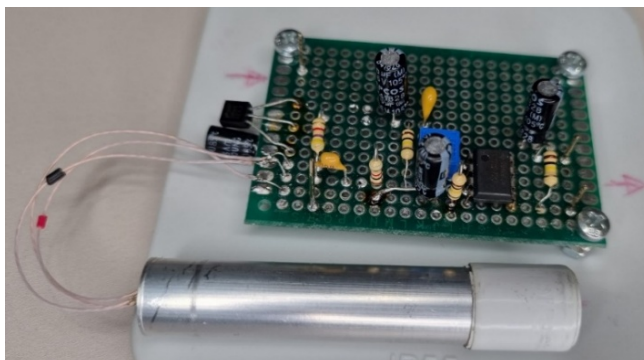


Рисунок 2. Прототип акустического датчика.

Далее полученный сигнал передается на персональный компьютер, где обрабатывается и анализируется.

Исследование и результаты

Экспериментальные исследования проводились в ячейках серий К-59, К-61, К-63, К-70 производства АО «ГК «Электрощит» – ТМ Самара». Указанные ячейки предназначены для приема и распределения электроэнергии и укомплектованы однотипным электрооборудованием, различающимся типом установки, климатическим исполнением, номинальными параметрами (номинальный ток главных цепей, сборных шин, отключения выключателя, электродинамической стойкости, термической стойкости и др.), условиями обслуживания, а также применяются для подстанций различного назначения. Общий вид экспериментальной установки с установленными акустическими датчиками приведен на рисунке 3.

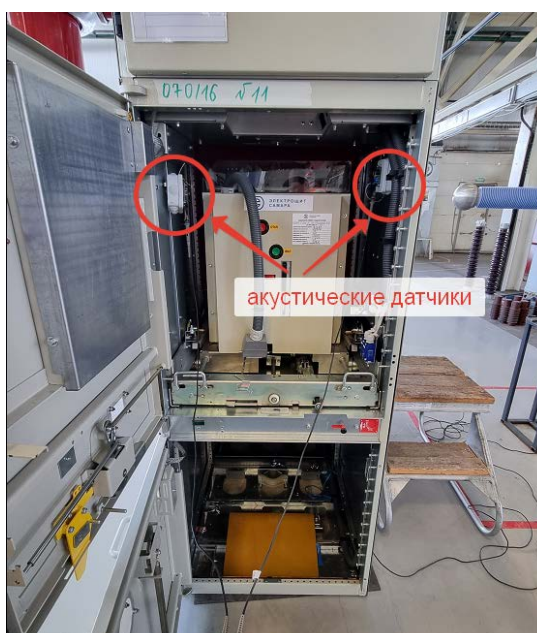


Рисунок 3. Общий вид экспериментальной установки.

Исследование проводилось в среднем отсеке (отсек выключателя), где находится основное силовое оборудование: высоковольтный выключатель, разъединительные

контакты, предохранители, измерительные трансформаторы тока и напряжения, ограничители перенапряжений и др.

Работа экспериментального стенда осуществлялась следующим образом. На стенках среднего отсека ячейки КРУ устанавливались два акустических датчика. К ячейке КРУ, подключенной к высоковольтной испытательной установке, подавалось напряжение от 10 до 47 кВ. Измерения проводились тестовыми сериями с шагом 5 кВ. Длительность проведения каждой серии эксперимента составляла 60 секунд до достижения устойчивого входного напряжения на ячейке КРУ. Сигнал акустического датчика непрерывно фиксировался в течение серии с частотой дискретизации АЦП, составляющей 160 кГц. Регистрация звуковых колебаний осуществлялась по двум каналам в диапазоне от 100 Гц до 80 кГц.

Для получения адекватных результатов исследований проводилось три типа экспериментальных исследований: 1) оба акустических датчика размещены в среднем отсеке ячейки КРУ; 2) один акустический датчик расположен внутри среднего отсека ячейки КРУ, второй акустический датчик – снаружи ячейки КРУ; 3) оба акустических датчика установлены внутри нижнего отсека КРУ, где расположены сборные шины.

В ходе эксперимента производились замеры акустического излучения в ячейках КРУ с исправными и дефектными элементами (изоляторы, трансформатор тока). Было проведено и обработано более 200 замеров длительностью 1-2 минуты.

Фиксация акустического сигнала, характеризующего работу высоковольтного оборудования, может производиться множеством акустических датчиков, однако для получения качественного результата необходимо рационализировать их размещение. При размещении датчиков по первому типу исключаются внешние акустические помехи, которые не характеризуют работу оборудования. При размещении датчиков по второму типу могут быть зафиксированы помехи от внешних источников шума (движение транспорта, шум иного оборудования, не относящегося к исследуемому оборудованию и т.п.). Третий тип размещения датчиков не дает полной картины, в виду того, что акустические сигналы из верхней и средней ячеек КРУ будут получаться через препятствия. Таким образом оптимальным типом проведения исследования предполагается первый, с размещением акустических датчиков в среднем отсеке КРУ и для получения достоверного акустического сигнала, необходима установка не менее двух акустических датчиков на стенках ячейки КРУ в безопасном от электромагнитных помех месте вдали от токоведущих частей.

Полученные экспериментально временные сигналы рассматриваются как кусочно-стационарные на фиксированных окнах длиной $N\Delta T$ скользящим перекрытием. Для каждого окна применяется дискретное преобразование Фурье с окном Хемминга:

$$U_w(f_k, N) = \sum_{n=0}^{N-1} w(n\Delta T) \cdot u(n\Delta T) \cdot e^{-j\frac{2\pi f_k n}{N}}, \quad (1)$$

где k – номер гармоники,
 $n = 0, 1, \dots$,
 $N-1$ – номер отсчета,
 $2\pi/N$ – основная частота,
 ΔT – интервал дискретизации.

Для получения СПМ, устраняющей эффект утечки энергии и повышающей достоверность оценки, применяется модифицированная периодограммная оценка СПМ:

$$S_w(f_k, N) = \frac{\Delta T}{NW} |U_w(f_k, N)|^2, \quad (2)$$

где W – мощность оконной функции:

$$W = \Delta T \sum_{n=0}^{N-1} w^2(n\Delta T), \quad (3)$$

На основе полученной СПМ формируются компактные спектральные признаки (логарифмические полосовые мощности в узких окрестностях информативных поддиапазонов), после чего выполняется понижение размерности методом главных компонент (РСА), что концентрирует вариативность в двумерном признаковом пространстве без существенной потери диагностической информации [12]. Неконтролируемое разделение наблюдений на режимы выполняется кластеризацией. В работе применялись алгоритмы семейства k -средних и модели смешанного гауссова распределения. В полученном пространстве наблюдаются компактные, хорошо разделённые группы, которым устойчиво соответствуют три технических состояния электрооборудования – нормальное, предаварийное, аварийное. Для подавления дрожания меток во времени используется гистерезисная логика – переход между кластерами фиксируется только при превышении порогов уверенности и/или длительности. На рисунке 4 приведена иллюстрация геометрической разделимости режимов работы электрооборудования КРУ на графике кластеризации в пространстве первых двух главных компонент (ГК).

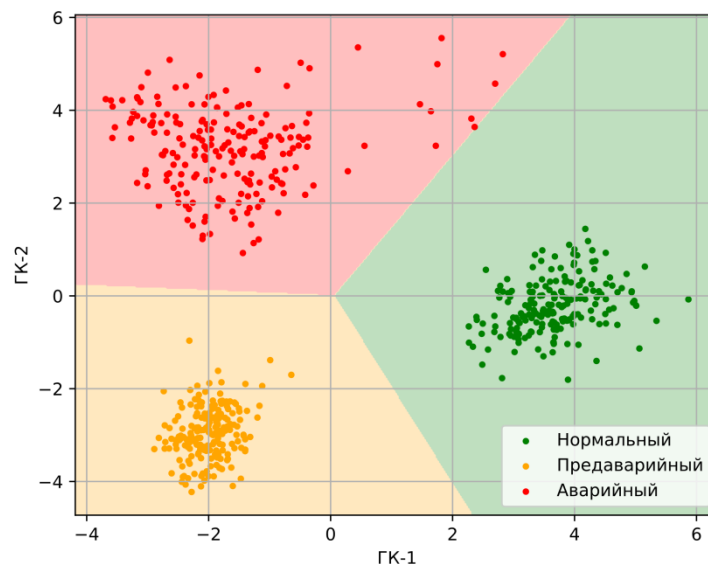


Рисунок 4. График кластеризации в пространстве первых двух главных компонент.

В таблице 1 представлены полученные параметры компонент смешанного гауссова распределения в РСА-пространстве.

Таблица 1. Параметры компонент смешанного гауссова распределения в РСА-пространстве

компонента	вес π_k	Центроид μ_k	детерминант Σ_k	число обусловленности
1	0,3333	3,663; -0,237	$1,192 \cdot 10^{-1}$	2,08
2	0,3333	-1,998; -2,947	$3,716 \cdot 10^{-2}$	2,71
3	0,3334	-1,664; 3,183	1,096	1,77

Согласно полученным параметрам, можно сделать следующие выводы. Все три компоненты модели смешанного гауссова распределения демонстрируют близкие априорные веса π_k , что указывает на сбалансированное распределение данных между нормальным, предаварийным и аварийным состояниями КРУ, обеспечивая равномерное представление каждого режима. Координаты центроидов в РСА-пространстве свидетельствуют о четком геометрическом разделении кластеров, что подтверждает высокую разделимость состояний

оборудования. Детерминанты ковариационных матриц Σ_k варьируются от $3,716 \cdot 10^{-2}$ до 1,096, отражая различия в спектральной неоднородности. Аварийный режим характеризуется более широким спектром из-за сильных разрядных проявлений, тогда как нормальный режим имеет узкий спектральный профиль. Числа обусловленности указывают на умеренную анизотропию эллипсов ковариаций, что обеспечивает числовую устойчивость алгоритма. Таким образом, параметры модели смешанного гауссова распределения подтверждают высокую точность и устойчивость кластеризации, формируя надежную режимно-диагностическую карту, позволяющую применять метод бесконтактного акустического контроля и осуществлять одновременную диагностику электрооборудования отсека ячейки КРУ 6-10 кВ.

Заключение

Интеграция модели смешанного гауссова распределения с методом главных компонент позволяет разделять акустические сигналы в соответствии с тремя режимами (нормальный, предаварийный, аварийный), обеспечивая нулевые ошибки классификации. Это обеспечивает стабильность и эффективность метода бесконтактного акустического контроля для одновременной диагностики электрооборудования, создавая основу для своевременного принятия решений и раннего предупреждения аварий.

Метод бесконтактного акустического контроля с использованием спектрального анализа и кластеризации сигналов может быть реализован в информационно-измерительной системе (ИИС) с модульной архитектурой, обеспечивающей бесконтактную непрерывную и одновременную диагностику электрооборудования в отсеках ячеек КРУ 6-10 кВ электрических подстанций. Данное решение позволит обеспечить последовательно-параллельную структуру обработки данных, высокую производительность и поддержку режима реального времени, что критически важно для оперативного выявления предаварийных состояний КРУ.

Список литературы

1. Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей: приказ Минэнерго России от 26 июля 2017 г. № 676.
2. Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок: приказ Минэнерго России от 25 октября 2017 г. № 1013.
3. Фролов К.В. Анализ причин отключения комплектных распределительных устройств / К.В. Фролов, Л.М. Инаходова // Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации: Сборник статей по материалам пятой Всероссийской научно-практической конференции, Белебей, 24 апреля 2024 года. – Белебей: Самарский государственный технический университет, 2024. – С. 30-32.
4. Инаходова Л.М. Исследование звукового излучения контактных соединений распределительных устройств подстанций / Л.М. Инаходова, К.В. Фролов // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2021. – № 4 (66). – С. 26-32. – DOI 10.53015/18159958_2021_4_26
5. Zhang X., Li Y., Wang J. Acoustic Emission-Based Partial Discharge Detection in Switchgear. IEEE Transactions on Power Delivery, 2022. Vol. 37, No. 4. pp. 2456-2464. DOI: 10.1109/TPWRD.2021.3108923.
6. Низамиев М.Ф. Диагностика трансформаторов электротехнических комплексов с использованием бесконтактных лазерных виброметров / М.Ф. Низамиев, В.Р. Басенко, И.В. Ившин, О.В. Владимиров, А.Н. Хуснутдинов, Н.К. Андреев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 5. – С. 97-109.
7. Басенко В.Р. Усовершенствованный метод вибрационного контроля технического состояния силового трансформатора, основанный на фрактальном анализе / М.Ф. Низамиев, В.Р. Басенко, И. Ившин, О.В. Владимиров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 2. – С. 124–136. – DOI: 10.30724/1998-9903-2023-25-2-124-136.
8. Шахнин В.А. Обработка сигналов электрошумовой интродиагностики высоковольтного оборудования / В.А. Шахнин, Я.В. Мироненко, О.И. Моногаров // Автоматизация и современные технологии. – 2013. – № 12. – С. 17-20.
9. Русов В.А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования / Русов В.А. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2011. – 367 с. ISBN 978-5-94614-177-2
10. Фролов К.В. Создание информационно-измерительной системы защиты от дуговых и частичных

- разрядов в комплектных распределительных устройствах подстанций / К.В. Фролов // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2024. – № 2 (73). – С. 17-30. – DOI 10.38161/1996-3440-2024-2-17-30.
11. Фролов К.В. Применение акустического детектора для определения дефектов контактных соединений силового электрооборудования / К.В. Фролов, Л.М. Инаходова // Энергетика будущего - цифровая трансформация: Сборник трудов II всероссийской научно-практической конференции, Липецк, 15-16 декабря 2021 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2021. – С. 204-207.
 12. Рассел С. Искусственный интеллект. Современный подход. Том 3. Обучение, восприятие и действие / С. Рассел, П. Норвиг; пер. с англ. – Москва: Диалектика, 2022. – 640 с. – ISBN 978-5-907365-27-8.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ИИС НЕПРЕРЫВНОЙ ДИАГНОСТИКИ КРУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

Фролов К.В., Инаходова Л.М.

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

Аннотация. Разработана методика контроля работоспособности измерительных каналов информационно-измерительной системы для непрерывной диагностики комплектных распределительных устройств электрических подстанций. Методика основана на параметрической модели акустических сигналов частичных и дуговых разрядов, обеспечивающей генерацию тестовых сигналов для встроенного самоконтроля. Предложенный подход позволяет в реальном времени проверять чувствительность, полосу пропускания, шумовую обстановку и групповую задержку каналов без прерывания диагностики. Встроенный блок метрологического контроля реализует циклическую поверку, автоматическую корректировку калибровочных коэффициентов и журналирование результатов, что повышает достоверность диагностики дефектов электрооборудования.

Ключевые слова: информационно-измерительная система; комплектные распределительные устройства; частичные разряды; акустическая диагностика; метрологический контроль.

Введение

Рост требований к надёжности распределительных сетей приводит к широкому внедрению информационно-измерительных систем (ИИС) в ячейках комплектных распределительных устройств (КРУ), фиксирующих акустические проявления дефектов изоляции и коммутационных аномалий в реальном времени. Качество диагностических решений критически зависит от стабильности измерительных каналов. Дрейф чувствительности и полосы, рост шумов и нелинейных искажений, изменения задержки сигнального тракта и деградация элементов приводят к смещению оценок и нарушению сопоставимости данных между сменами режимов. В условиях непрерывной эксплуатации ручные поверки и внешние калибровки недостаточны, необходим встроенный механизм самоконтроля, способный регулярно подтверждать работоспособность канала, автоматически корректировать малые отклонения и документировать результаты.

В литературе последних лет подтверждена практическая состоятельность непрерывной диагностики разрядной активности в высоковольтном оборудовании КРУ с использованием акустических каналов: показаны физические предпосылки генерации сигналов частичных разрядов, приборные решения и алгоритмы обработки, включая локализацию очага и обоснование рабочих частотных диапазонов для ИИС [1], предложены подходы к нормированию порогов и повышению достоверности детектирования в эксплуатационных условиях [2], а также продемонстрированы интеграции систем непрерывного контроля в технологические контуры энергокомпаний с акцентом на эксплуатационную надёжность и помехоустойчивость [3]. Нормативный контур для КРУ задаёт требования испытаний и эксплуатационной совместимости, в рамках которых любая методика встроенного контроля работоспособности каналов ИИС должна функционировать [4], а руководящие документы по метрологическому обеспечению ИИС регламентируют расчёт обобщённых метрологических характеристик, организацию калибровок и допускают применение встроенных источников в составе измерительных каналов [5, 6]; при этом корпоративные стандарты сетевых компаний усиливают требования к локализации дефектов и журналированию событий ЧР [7]. Вместе с тем анализ показывает, что при наличии зрелых решений по диагностике частичных разрядов остаётся слабо проработанным именно контур

встроенного метрологического самоконтроля акустических каналов ИИС. Устранению этих пробелов и посвящается настоящая работа.

Постановка задачи

Требуется разработать методику, обеспечивающую непрерывную метрологическую достоверность результатов ИИС при постоянной загрузке канала, то есть такую организацию тестовых воздействий и обработки, при которой параметры чувствительности, полосы пропускания и шумовой обстановки контролируются на режиме реального времени и, при необходимости, стабилизируются программной корректировкой без ухудшения обнаружения реальных событий.

Параметрическая модель акустического сигнала

Сохранение метрологической достоверности ИИС при непрерывной загрузке канала требует опоры на эталонное представление наблюдаемого акустического процесса. Таким эталоном служит параметрическая модель сигнала, одинаково пригодная для нормального, предаварийного и аварийного режимов работы КРУ, а также согласованная с реальными характеристиками тракта ИИС. Наличие такой модели позволяет, с одной стороны, синтезировать тестовые сигналы для встроенного самоконтроля, а с другой сопоставлять текущие измерения с ожидаемыми спектральными признаками без остановки диагностики.

Для описания регистрируемых акустических сигналов частичных и дуговых разрядов используется суперпозиция конечного числа гармонических компонент с аддитивной шумовой составляющей

$$U(t) = \sum_{k=1}^N A_k \cos(2\pi f_k t + \varphi_k) + n(t), \quad (1)$$

где A_k, f_k, φ_k – амплитуда, частота и фаза k -й гармоники,
 $n(t) \sim N(0, \sigma^2)$ – аддитивный гауссовский шум,
 σ^2 – дисперсия шума [8].

Вектор параметров

$$\theta = \left\{ (A_k, f_k, \varphi_k)_{k=1}^K, \sigma^2 \right\} \quad (2)$$

определяет амплитудно-частотно-фазовую структуру сигнала и уровень шумов в канале. Множество $\{f_k\}$ охватывает рабочую полосу ИИС и включает контрольные частоты, по которым позже выполняется верификация чувствительности. Число компонент K выбирается по критериям качества аппроксимации и устойчивости оценок, с учётом ограничений полосы и динамического диапазона тракта.

ИИС для акустической диагностики ячеек КРУ реализует модульный подход, подразумевающий разделение системы на функциональные блоки, каждый из которых решает свои задачи (измерительные, управляющие, информационные). Структурная схема ИИС представлена на рисунке 1.

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: ИАС – источник акустического сигнала; ШМ – широкополосные микрофоны; АО – аналоговый тракт обработки сигнала; АЦП – аналогово-цифровые преобразователи; КЦС – коммутатор цифровых сигналов; РСМ – расчёт СПМ; ФКЧ – фильтр ключевых частот; ФВП – формирование вектора признаков; БМК – блок метрологического контроля; ПД – блок передачи данных; ШД – шина данных; АС – анализатор сигнала; ППР – подсистема поддержки принятия решений; БД – база данных; ИП – интерфейс пользователя.

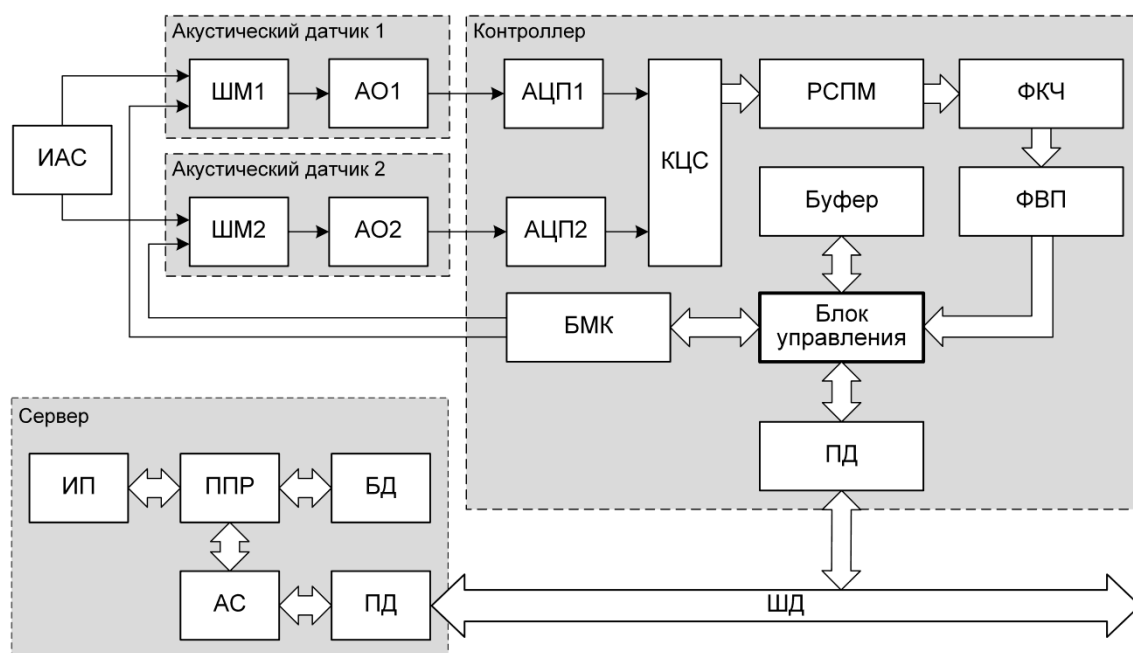


Рисунок 1. Структурная схема ИИС.

Методика контроля работоспособности измерительных каналов

Методика предназначена для обеспечения непрерывной метрологической достоверности результатов бесконтактной акустической диагностики КРУ за счёт регулярной самопроверки каналов ИИС с подачей тестовых сигналов, синтезированных по параметрической модели акустических сигналов частичных и дуговых разрядов. Самоконтроль выполняется встроенным блоком метрологического контроля, интегрированным в архитектуру контроллера и связанный с блоком управления и буфером данных, что обеспечивает циклическую проверку характеристик тракта без остановки диагностики. Формируемые пакеты результатов и метаданные самоконтроля передаются на сервер и учитываются подсистемой аналитики и поддержки принятия решений.

Методика опирается на параметрическую модель сигналов разрядов, а также регламент периодической подачи тестовых сигналов и поверки чувствительности, закреплённый в функционале БМК.

БМК реализует генерацию эталонных сигналов, коммутацию на входы аналогового тракта, измерение и оценку параметров канала, ведение журнала поверок. Взаимодействие с блоком управления обеспечивает запуск по расписанию, при старте системы и по запросу оператора.

Поверка чувствительности выполняется сравнением измеренной амплитуды и СПМ на ключевых частотах с эталонными значениями, полученными в процессе начальной настройки и сверенными с режимно-диагностическими диапазонами.

Процедуры и последовательность выполнения.

Шаг 1. Инициализация. В БМК загружаются параметры сигнала θ .

Шаг 2. Подача эталона. Блок управления активирует БМК, подаётся сигнал для трёх уровней амплитуды в каждой из трёх комбинаций режимов (нормальный, предаварийный, аварийный).

Шаг 3. Съём и преобразование. Оцифрованные отсчёты нормализуются, вычисляется СПМ, выделяются значения на ключевых частотах 20, 30, 40 кГц.

Шаг 4. Сопоставление с эталоном. Для каждого тестового сигнала рассчитываются отклонения от интервалов режимно-диагностической карты. При расхождении, меняющем метку режима, фиксируется «критическое отклонение».

Шаг 5. Автокоррекция. Если допуски нарушены, выполняется программная компенсация масштаба или сдвига (калибровочные коэффициенты канала) и производится повтор шагов 2-4. При успехе – запись новых коэффициентов в энергонезависимую память и журнал проверок.

Шаг 6. Логирование и отчёт. Результаты (включая спектральные срезы и вычисленные метрики) отправляются на сервер, формируется запись в БД с метаданными (время, режим, коэффициенты коррекции, вердикт).

Подсистема принятия решений автоматически учитывает флаги состояния каналов: при «критическом отклонении» результаты диагностики по затронутому каналу маркируются как «требуют подтверждения», а решение о переводе ячейки в режим «осмотр» сопровождается рекомендацией на внеплановую проверку. При успешном завершении автокоррекции маркировка снимается.

Заключение

Представлена методика встроенного контроля работоспособности измерительных каналов ИИС акустической диагностики КРУ, основанная на параметрической модели сигнала и генерации тестовых сигналов, что позволяет без остановки наблюдения регулярно проверять чувствительность, полосу, шумовую обстановку, групповую задержку и нелинейные искажения. Интеграция блока метрологического контроля в архитектуру ИИС обеспечивает циклический самоконтроль, сравнение с эталоном по ключевым частотам 20-40 кГц и автоматическую автокоррекцию калибровочных коэффициентов при выходе за допуски. Методика технологически совместима с промышленной эксплуатацией и задаёт основу для дальнейшего расширения в части внедрения процедур оценивания в условиях зашумления и адаптивного планирования расписаний автоматической проверки работоспособности и правильности показаний системы.

Список литературы

1. Иванов Д.А., Галиева Т.Г., Голенищев-Кутузов А.В., Садыков М.Ф., Калимуллин Р.И., Семенников А.В. Детектирование акустических сигналов частичных разрядов на дефектах изоляционного оборудования // Омский научный вестник. 2021. № 6 (180). С. 48-55.
2. Кузнецов А.А., Кузьменко А.Ю., Кузнецова М.А., Симаков А.В. Определение пороговых значений при диагностировании изоляции высоковольтного оборудования методами регистрации частичных разрядов // Омский научный вестник. 2019. № 2 (164). С. 30-35.
3. Живодерников С.В., Ботов С.В., Мыльников И.Б., Овсянников А.Г., Скиба Д.А. Онлайн-измерения и мониторинг частичных разрядов в кабелях высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена // Электроэнергия. Передача и распределение. 2025. № 3(90).
4. ГОСТ Р 55190-2022. Устройства комплектные распределительные в металлической оболочке (КРУ) на номинальное напряжение до 35 кВ. Общие технические условия. Введ. 01.01.2023. М.: Стандартинформ, 2022.
5. РД 153-34.0-11.201-97. Методика определения обобщённых метрологических характеристик измерительных каналов ИИС и АСУ ТП по метрологическим характеристикам агрегатных средств измерений. М.: ОРГРЭС, 1999. – 17 с.
6. РД 153-34.0-11.205-98. Методические указания. Измерительные каналы информационно-измерительных систем. Организация и порядок проведения калибровки. – М.: РАО «ЕЭС России», 1998. – 40 с.
7. СТО 34.01-12-004-2025. Локализация дефектов и измерение уровня разрядной активности (ЧР) в изоляции электрооборудования. М.: Россети, 2025.
8. Фролов К.В., Инаходова Л.М. Математическое моделирование акустического сигнала от электрооборудования КРУ / Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации. Сборник статей по материалам шестой Всероссийской научно-практической конференции. Белебей, 2025. – С. 192-194.