

**ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА,
ИННОВАЦИИ – 2025**
(микроэлектроника и оптотехника,
технологии и оборудование в промышленности)

**XV МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

19-20 ноября 2025 г.

**СБОРНИК ТРУДОВ
ТОМ 2**

СЕКЦИИ 5,6

**СМОЛЕНСК
2025**

УДК 621.31+621.3+536+621.1+62.003+621.38
И74

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2025 (микроэлектроника и оптотехника, технологии и оборудование в промышленности). Сб трудов XV-ой Межд. науч.-техн. конф.. В 3 т. Т 2. – 2025. – 224с.

ISBN 978-5-91412-557-5

В сборнике публикуются труды участников XV Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2025», состоявшейся 19-20 ноября 2025 г. в филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области микроэлектроники и оптотехники, а также технологий и оборудования в промышленности.

Издание предназначено для научных работников и преподавателей вузов, магистров и аспирантов, осуществляющих исследования в указанных областях.

ISBN 978-5-91412-557-5

©Авторы

©«Универсум»

© филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 2025

СЕКЦИЯ 5 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ОПТОТЕХНИКА

*В.В. Аверкиев студ., С.С. Котова, студ., В.А. Смолин, доцент
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА МОНИТОРНОГО РАСШИРИТЕЛЯ С СИСТЕМОЙ ОПОВЕЩЕНИЯ О ПЕРЕРЫВЕ

В статье рассматривается функциональная схема мониторного расширителя с системой оповещения о перерыве. Устройство предназначено для контроля времени работы пользователя за персональным компьютером, адаптивной подсветки зоны монитора и снижения зрительной усталости. Подробно описана архитектура устройства, назначение основных узлов и интерфейсов, приведено обоснование выбора элементной базы.

Длительная работа за персональным компьютером без перерывов приводит к ухудшению самочувствия пользователя, снижению продуктивности и росту нагрузки на зрение. Существующие решения типа *Philips Ambilight* (рисунок 1) и *Goove Immersion Kit* (рисунок 1) обеспечивают динамическую подсветку, но не решают задачу контроля времени работы и напоминания о перерывах.

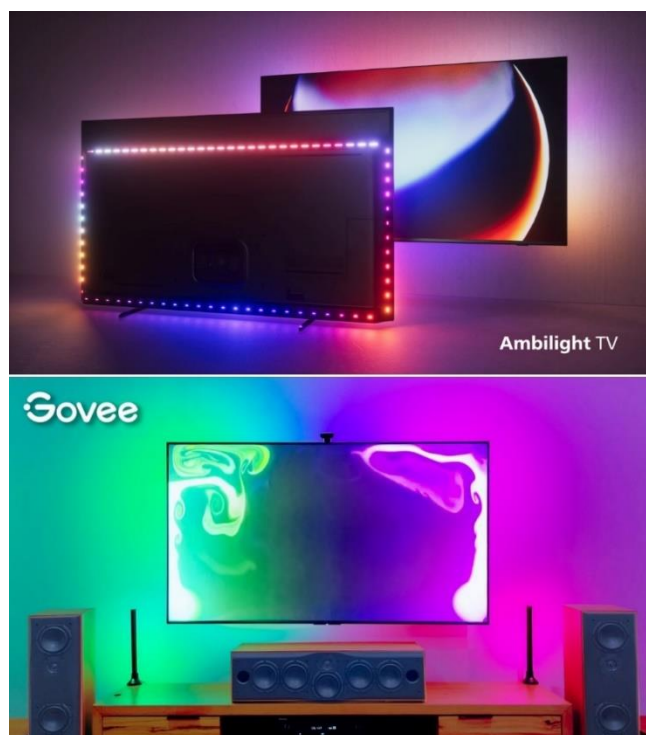


Рисунок 1 – Устройства-аналоги

Разрабатываемый мониторный расширитель объединяет функции динамической подсветки и систему оповещения, что делает рабочее место более эргономичным и безопасным для здоровья.

Функциональная схема устройства (рисунок 2) отображает взаимодействие всех его элементов и служит основой для дальнейшей разработки принципиальной и печатной схемы.

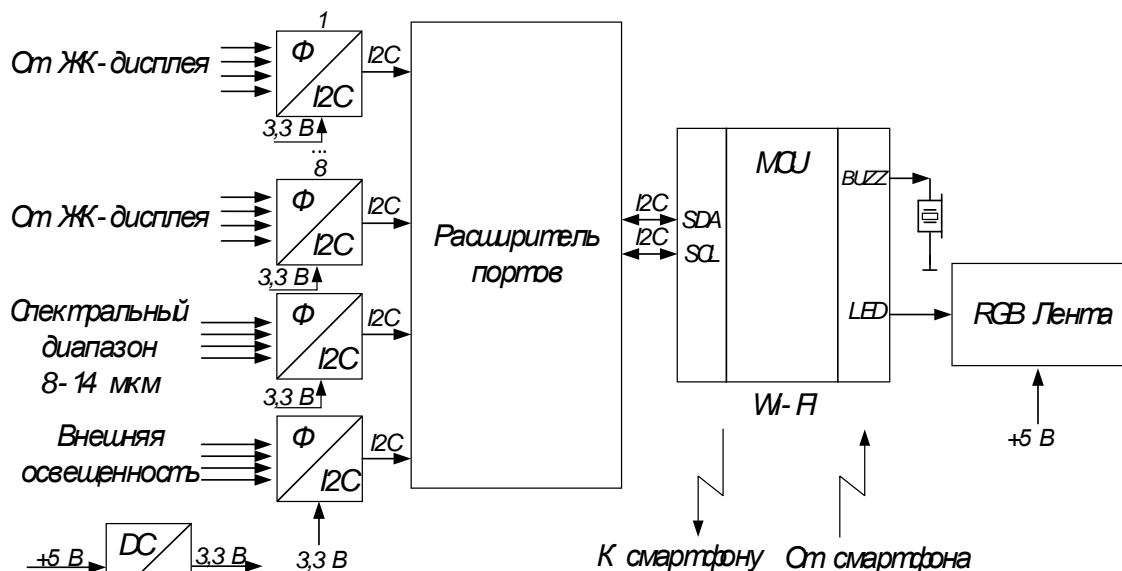


Рисунок 2 – Функциональная схема разрабатываемого устройства

Центральным узлом является блок управления, реализованный на микроконтроллере *Wemos D1 mini (ESP8266)*, который выполняет сбор данных с датчиков, их обработку и формирует управляющие сигналы.

Для подключения восьми датчиков цвета используется мультиплексор *TCA9548A*, так как все сенсоры *VEML6040* имеют одинаковый фиксированный адрес *I²C*. Мультиплексор разделяет общую шину на независимые каналы и поочерёдно активирует каждый из них, что позволяет микроконтроллеру опрашивать датчики без конфликтов адресов.

Каждый датчик цвета *VEML6040* контролирует свою зону экрана (рисунок 3) и передает данные по каналам *R*, *G* и *B*, что позволяет формировать динамическую подсветку, синхронизированную с изображением. Использование нескольких датчиков обеспечивает более точное считывание цветовой информации с разных участков дисплея и повышает равномерность передачи оттенков на светодиодную ленту.

Датчик присутствия *AMG8833* регистрирует тепловое излучение человека, что позволяет учитывать даже неподвижное присутствие пользователя.

Датчик освещённости *BH1750* измеряет уровень внешнего освещения и передает данные для корректировки яркости подсветки.

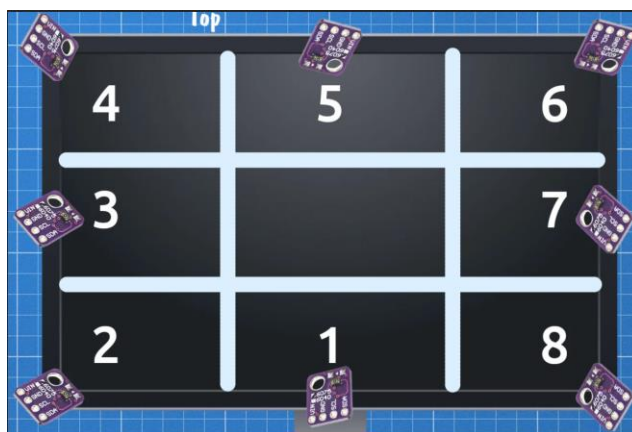


Рисунок 3 – Зоны экрана датчиков цвета

Исполнительные устройства включают адресную *RGB*-ленту *WS2812B*, управляемую индивидуально по каждому светодиоду, и звукоизлучатель *KY-006*, который обеспечивает звуковое оповещение о необходимости сделать перерыв. Для питания микроконтроллера и периферийных узлов применяется преобразователь напряжения, стабилизирующий уровень 3,3 В.

Взаимодействие между всеми элементами схемы реализовано через интерфейс *I²C* (линии *SDA* и *SCL*), что минимизирует количество соединений и упрощает конструкцию. Такое решение позволяет сократить количество выводов микроконтроллера и снизить себестоимость устройства.

Разработанная функциональная схема обеспечивает корректное взаимодействие всех датчиков и исполнительных элементов без необходимости изменения базовой архитектуры. Устройство может устанавливаться на мониторы различных размеров, а адаптивная подсветка снижает зрительную усталость пользователя. При отсутствии человека подсветка автоматически отключается, что уменьшает энергопотребление. Поддержка связи по *Wi-Fi* позволяет изменять режимы работы через мобильное приложение, делая систему удобной в эксплуатации.

Таким образом, функциональная схема мониторного расширителя отражает взаимодействие датчиков, исполнительных элементов и блока управления, обеспечивая корректную работу всех подсистем. Применение интерфейса *I²C* и мультиплексора позволило упростить схему соединений и сделать устройство компактным. Эта архитектура создаёт комплексное решение для повышения эргономики рабочего места и контроля времени работы за компьютером.

Литература

1. Смолин В.А., Аверкиев В.В. Структурная схема мониторного расширителя с системой оповещения о перерыве //XIV Международной научно-технической конференции «ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ - 2024» - Сборник трудов,13-14 ноября 2024 года, Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске Смоленск: Универсум – 2024 - том2. - С. 219-222 /
2. Датчик освещения с динамической подсветкой [Электронный ресурс]. – URL: <https://alexgyver.ru/ambisensor/>

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ИНТЕР- ФЕЙСА ARINC-429

ARINC-429 [1] – это стандарт авиационной промышленности, определяющий способы передачи цифровой информации между электронными авиационными системами. Его разработала компания ARINC, и сейчас он широко применяется в системах управления и навигации, приборах контроля, системах связи и обеспечения безопасности полетов. На бортах гражданских и военных летательных аппаратов до 75% цифрового межсистемного обмена информацией приходится на каналы интерфейса ARINC-429, то есть он является доминирующей авиационной шиной.

Для формирования сигналов этого интерфейса чаще всего используются микросхемы фирмы HOLT IC: HI-8585 и HI-8586 [2] Они обеспечивают две скорости передачи информации, работу на 75-омное волновое сопротивление кабеля, и что, самое главное – формирование линейных фронтов сигнальных бит кода с возвращением к нулю RZ, что обеспечивает низкий уровень высокочастотных помех, генерируемых в окружающее пространство. В результате взаимопроникновение сигналов в шинах передачи данных является минимальным, что является очень важным фактором обеспечения надёжности работы авиационной аппаратуры.

Однако в связи с санкционными ограничениями поставки этих микросхем в Российскую Федерацию прекращены и поэму очень актуальной становится задача разработка отечественного аналога в рамках общей политики импортозамещения. Попытки создания таких аналогов предпринимались и ранее. В частности НПО «Физика» выпускает микросборки приемника и передатчика приемника канала ARINC-429. Однако это все-таки микросборки (гибридные интегральные микросхемы), а не твердотельные КМОП-микросхемы, как HI-8585. Кроме того, передатчик этой фирмы формирует сигналы с экспоненциальными, а не с линейными фронтами. Поэтому проблему создания полного функционального аналога микросхем HI-8585 и HI-8586 продукция этих фирм не решает.

Одной из задач, которую нужно решить при разработке микросхемы передатчика для интерфейса ARINC-429, это выбор формы фронтов формируемых импульсов. Стандарт на этот интерфейс в явном виде не указывает, какая должна быть форма, задается только длительность фронтов. Но на временных диаграммах показаны импульсы с линейными фронтами. Для выбора формы фронта нужно оценить ее влияние на спектральный состав формируемых импульсов. И на основе этой оценки принять решение, стоит ли усложнять схему передатчика для обеспечения линейности фронтов или достаточно сформировать экспоненциальные фронты. Этому анализу и посвящена статья.

Передача данных по интерфейсу ARINC-429 осуществляется на одной из двух скоростей: 12,5 кбит/с или 100 кбит/с. На предельную скорость передачи

установлен допуск $\pm 1\%$ для обеспечения синхронизации. Физические соединения в шине выполняются экранированной витой парой с волновым сопротивлением 78 Ом. Экран должен быть заземлен на каждом конце и на всех соединениях вдоль шины (рисунок 1). Выходной импеданс передатчика составляет (75 ± 5) Ом по каждому проводнику витой пары. Приемники должны иметь входной импеданс не менее 8 кОм. Предельная длина шины зависит от количества приемников на ней, но гарантированно превосходит 40 м, и этого достаточно для подавляющего большинства гражданских воздушных судов. Максимальная длина не указана, так как она зависит от количества приемников и мощности источника. Большинство систем рассчитаны на длину менее 50 м, но при благоприятных условиях могут быть увеличены до 100 м и более.

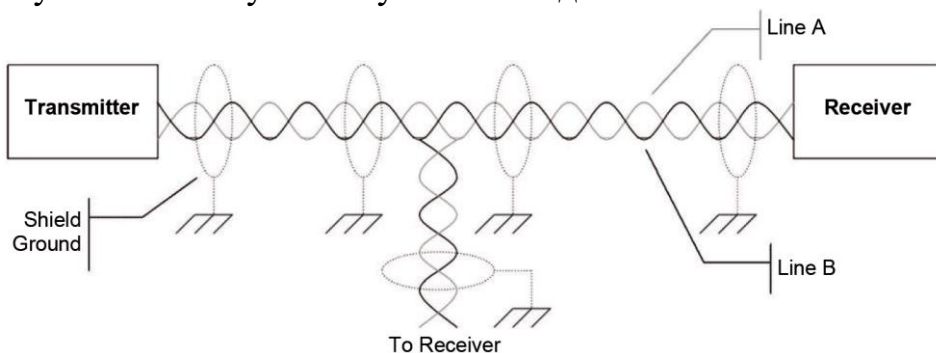


Рисунок 1 – Схема соединений устройств с интерфейсом ARINC-429

Стандарт предусматривает использование импульсных сигналов, фиксированные логические уровни которых соответствуют +9...+11 В; -0,5...+0,5 В, -11...-9 В на выходе передатчика и +6,5...+13 В; -2,5...+2,5 В; -13...-6,5 В на входе приемника (высокий HIGH, нулевой NULL и низкий LOW уровень соответственно).

Данные передаются в биполярном формате Return-to-Zero (RZ). Это сигнал трехступенчатого уровня, состоящий из состояний HIGH, NULL и LOW. Передаваемое логическое состояние определяется разностью сигналов в дифференциальной линии, поэтому у передатчика сигналов можно выделить инвертирующий (B) и неинвертирующий (A) выход.

При использовании формата модуляции Return-to-Zero каждый битовый цикл заканчивается уровнем сигнала 0 В, что устраняет необходимость во внешнем тактовом генераторе и создает самосинхронизирующийся сигнал. Пример биполярного сигнала RZ с тремя состояниями показан на рисунке 2.

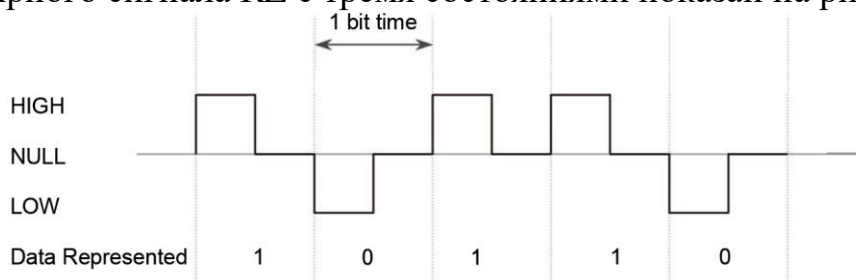


Рисунок 2 – Передача последовательного кода 10110 методом RZ

Время нарастания и спада импульса нормируется. Это минимизирует излучаемые в окружающее пространство помехи, обычные для импульсов с большой скоростью нарастания напряжения. Типовая форма импульса представлена на рисунке 3.

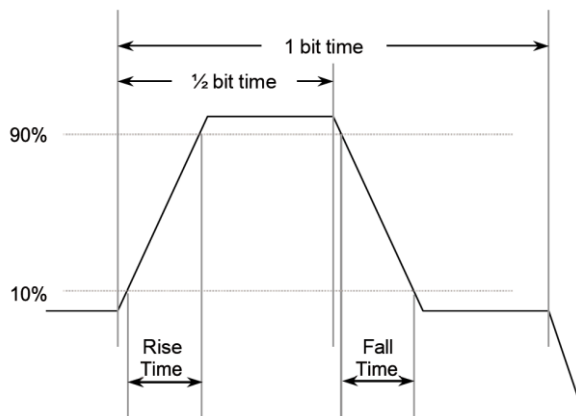


Рисунок 3 – Длительности сигналов интерфейса и их фронтов

Период следования импульсов (1 bit time), а также скорость нарастания (Rise Time) и спада (Fall Time) зависят от скорости передачи данных. При максимальной скорости передачи 100 кбит/с период следования составляет 10 мкс $\pm 2.5\%$, а скорость нарастания и спада 1.5 мкс.

В стандарте в явном виде не сказано, должны ли фронт и срез быть строго линейными или достаточно обеспечить их длительности, а форма может быть произвольной (например, экспоненциальной). Однако от формы импульса будет зависеть гармонический состав и амплитуды гармонических составляющих. А эти амплитуды гармонических составляющих будут определять уровень электромагнитных помех, который генерирует линия передачи данных. Сравнить целесообразно сигналы с линейным и с экспоненциальным фронтом, поскольку создание передатчиков с иной формой фронтов маловероятно.

Такой анализ можно провести с помощью популярной программы схемотехнического анализа Micro-Cap (11-ой свободно распространяемой версии, например). Анализ проводился сначала для периодической последовательности импульсов (рисунок 4), потом для одиночных импульсов с длительностью, соответствующих максимальной скорости передачи данных.

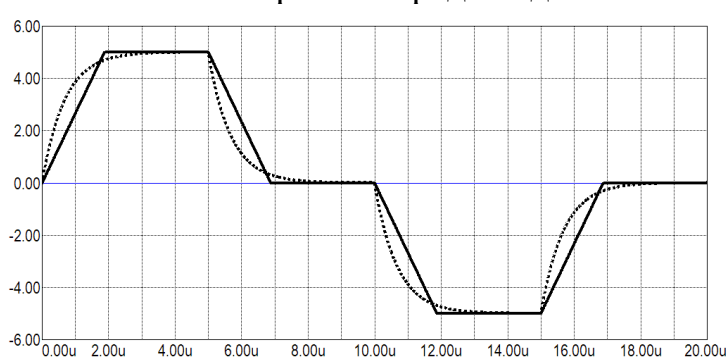


Рисунок 4 – Анализируемая периодическая последовательность импульсов с фронтами линейной и экспоненциальной формы

Полученные спектральные диаграммы представлены на рисунках 5 и 6.

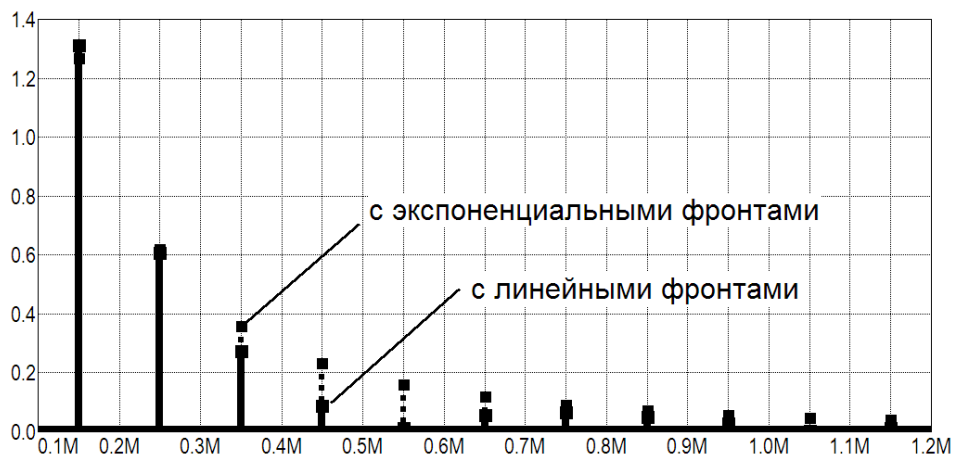


Рисунок 5 – Спектральные диаграммы периодической последовательности импульсов

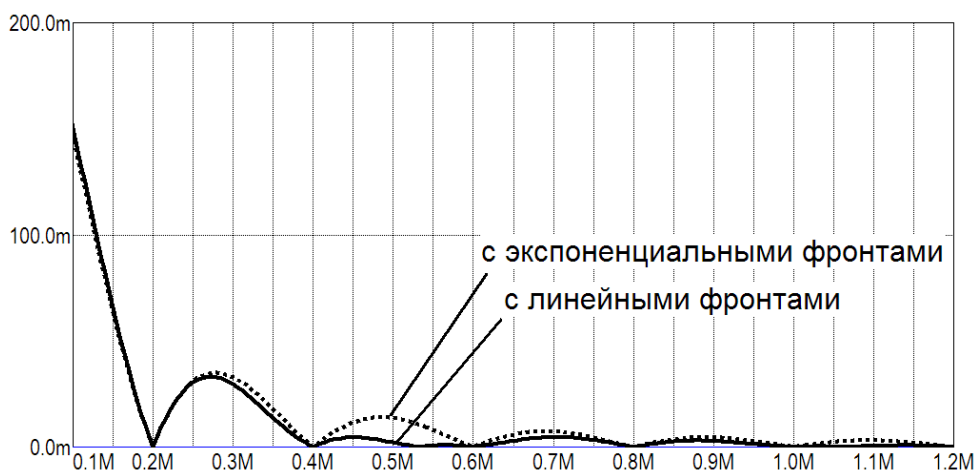


Рисунок 6 – Спектральные диаграммы одиночных импульсов

Из результатов моделирования видно, что импульсы с экспоненциальными фронтами имеет значительно большую амплитуду гармоник на частотах от 350 кГц и выше. Причем разница на частотах от 450 кГц до 600 кГц может быть в несколько раз. Объясняется это значительно большей скоростью нарастания и спада сигнала в начальной части экспоненты, что обогащает спектр высокочастотными гармониками.

Таким образом, при построении формирователей сигналов интерфейса ARINC-429 все-таки следует стремиться к обеспечению линейных фронтов кодовых импульсов, хотя это и усложняет схемотехническую реализацию.

Логическую часть микросхемы целесообразно выполнить на основе КМОП-структур, т.е. формирование логических единиц положительного уровня +5В и логических нулей отрицательного уровня -5В в каждом канале (прямым и инвертированным).

Полученный в каждом канале сигнал необходимо буферизовать с помощью усилителя (как правило, повторителя – конвертера выходного сопротивления). Это обеспечит возможность работы на волновое сопротивление кабеля 75 Ом в режиме согласованной нагрузки с выдачей дифференциального сигнала с

уровнями примерно 10В, 0В, -10В (HIGH, NULL, LOW соответственно) на вход приемника с входным сопротивлением порядка 10 кОм. Усилитель также должен строиться на основе КМОП-структур. Упрощенная функциональная схема формирователя импульсов с линейными фронтами одного из каналов представлена на рисунке 7.

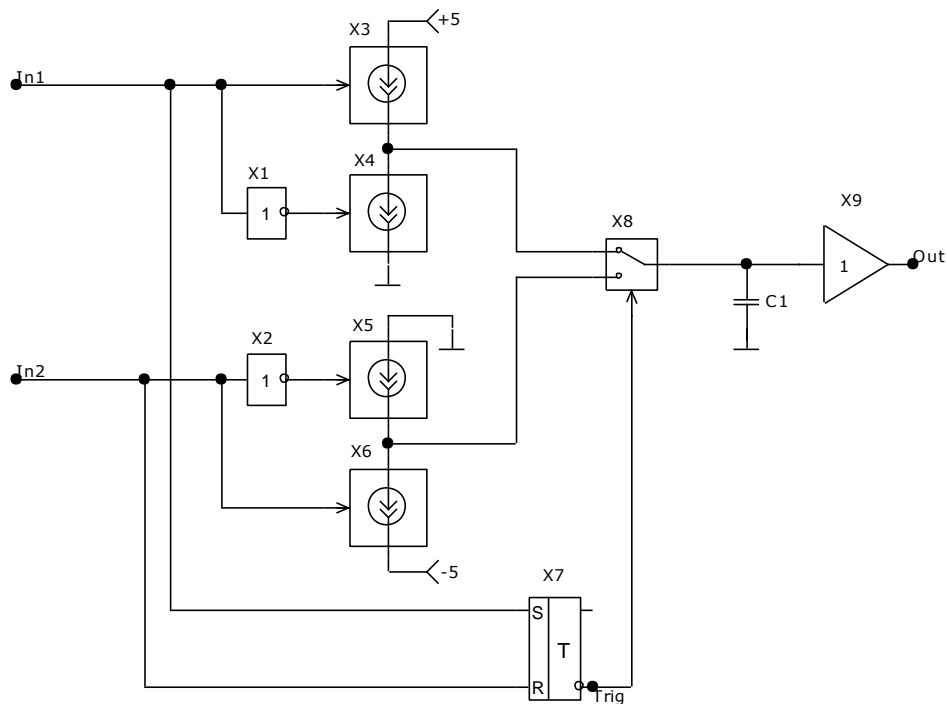


Рисунок 7 – Предлагаемая функциональная схема формирователя импульсов с линейными фронтами

Как показало схемотехническое моделирование, такая структура формирует импульсы, полностью соответствующие стандарту ARINC-429. При реализации этой структуры в виде КМОП-микросхемы будет решена задача создания отечественной микросхемы передатчика для шины этого интерфейса.

Литература

1. ARINC 429 Specification Tutorial // Официальный сайт компании AIM GmbH URL: <https://www.aim-online.com/wp-content/uploads/2019/07/aim-tutorial-oview429-190712-u.pdf> (дата обращения: 25.09.2025).
2. ARINC 429 Line Driver HI-8585, HI-8586 Datasheet // Официальный сайт компании HOLT INTEGRATED CIRCUITS URL: https://www.holtic.com/documents/47-hi-8585_v-rev-ppdf.do (дата обращения: 25.09.2025).
3. Stephen Woodward Схема передатчика данных стандарта ARINC 429 // РадиоЛоцман. 2023. № 11, 12
4. Амелина, М. А. Программа схемотехнического моделирования Micro Cap. Версии 9, 10 : учебное пособие для вузов / М. А. Амелина, С. А. Амелин. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 632 с. – ISBN 978-5-507-49739-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/401204> (дата обращения: 01.07.2025).

АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНФРАКРАСНОГО ПУЛЬТА ПРОЕКТОРА

В современном мире технологии удаленного взаимодействия с устройствами становятся все более важным способом повышения удобства пользования ими, что в свою очередь улучшает качество повседневной жизни. Одним из наиболее распространенных средств удаленного управления электронными устройствами являются инфракрасные (ИК) пульты дистанционного управления. Эти устройства позволяют пользователям управлять телевизорами, проекторами, кондиционерами и другими приборами на расстоянии.

Актуальность использования ИК-пультов обусловлена рядом преимуществ, таких как:

- простота реализации: технология изготовления ИК-пульта не требует больших экономических затрат, что положительно для потребителя сказывается на цене;

- совместимость: ИК-технология является распространенным методом передачи сигнала для большинства современных бытовых приборов, что позволяет создавать и использовать универсальные ИК-пульты, с возможностью формирования сигналов управления сразу несколькими устройствами;

- возможность использования в качестве пульта дистанционного управления смартфона с ИК-портом и соответствующим программным приложением.

Как правило, при продаже каждое устройство комплектуется только одним ИК-пультом. Однако нередки случаи, когда пользователю нужны сразу несколько пультов, например, при коллективном пользовании каким-либо устройством. Именно так преподаватели вузов используют проекторы в ходе проведения лекций. Если пульт один, то приходится организовывать место для его хранения и выдачу на время проведения занятий, что создает определенные неудобства. Кроме того, пульт любого устройства может потеряться или выйти из строя и ему потребуется замена. В условиях возросшего числа устройств с ИК-пультом и числа производителей таких устройств поиск такой замены может стать серьезной проблемой – пульты различных производителей несовместимы друг с другом, а пульт к конкретному устройству может не оказаться в продаже. В большинстве случаев проблему создания дубликата ИК-пульта можно решить использованием универсального программируемого пульта или смартфона с ИК-портом. Однако в некоторых случаях производители используют нестандартные системы команд, и эти способы оказываются неработоспособными. Примером такого нестандартного устройства является проектор NEC VT47 [1], использующийся в лекционной аудитории А5 нашего вуза. Выявление причин его неработоспособности с универсальными пультами, а также со смартфоном является актуальной задачей, которая позволит в конечном итоге создать дубликат этого пульта для использования в учебном процессе, а также

разработать универсальный пульт, который может управлять в том числе и нестандартными устройствами.

Единого стандарта на систему кодирования сигналов, передаваемых по ИК-каналу нет. Однако большинство современных устройств с дистанционным ИК-управлением используют стандартные приемники ИК-излучения, в которых совмещается сразу несколько функций: преобразование инфракрасного оптического излучения в электрический сигнал, усиление, фильтрация и демодуляция (входной оптический сигнал является модулированным). Примером такого приемника являются микросхемы серий TSOP22..., TSOP24..., TSOP48..., TSOP44..[2]. Структурная схема этих ИК-приемников представлена на рисунке 1.

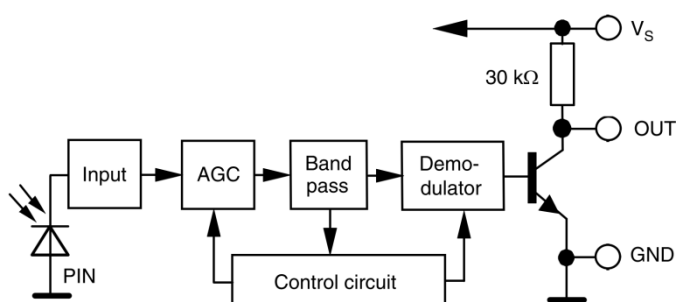


Рисунок 1 – Структурная схема ИК-приемников серий TSOP22..., TSOP24..., TSOP48..., TSOP44..

На вход оптического приёмника должен поступать оптический сигнал ИК-диапазона с импульсной модуляцией (рисунок 2). На выходе формируется логический электрический сигнал.

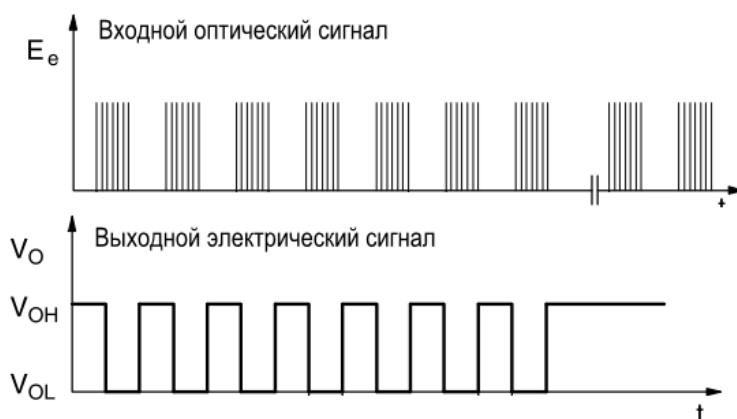


Рисунок 2 – Входной оптический и выходной электрический сигналы ИК-приемника

Частота несущей для импульсной модуляции лежит в диапазоне от 30 кГц до 56 кГц в зависимости от того, для продукции какой фирмы используется ИК-приемник. ИК-пульты фирм NEC, Sharp, R-step, Mitsubishi используют несущую частоту 38 кГц [2]. На такой частоте работают ИК-приёмники TSOP4438 и TSOP2438. Поскольку объектом исследования является ИК-пульт проектора

фирмы NEC, то именно такие ИК-приемники должны использоваться для получения временных диаграмм кодовых посылок, формируемых этим пультом.

Для проведения исследования была собрана лабораторная установка, состоящая из модуля инфракрасного приемника на основе TSOP4438, логического анализатора и микроконтроллера ATmega328P, установленного на отладочной плате Arduino Nano (рисунок 3). Микроконтроллер использовался для формирования электрических сигналов в соответствии с временной диаграммой, формируемой пультом ДУ, а также для питания модуля ИК-приемника.

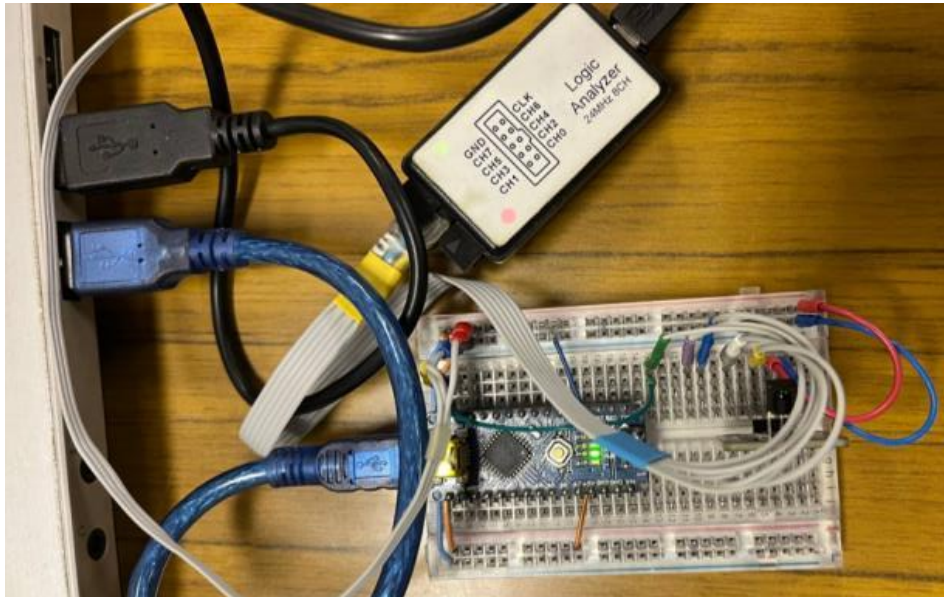


Рисунок 3 – Лабораторная установка для исследования работы пульта

На модуль инфракрасного датчика подавался оптический сигнал с ИК-пульта проектора NEC. Полученные с модуля электрические сигналы регистрировались логическим анализатором. Временные диаграммы были построены при помощи программы Logic 1.2.18.

Сигнал на выходе ИК-приёмника является инвертированным (см. рисунок 2). Поэтому для дальнейшего анализа закодированного сигнала его необходимо еще раз проинвертировать. Используемый логический анализатор не позволяет это делать, поэтому инвертирование временных диаграмм проводилось при помощи графического редактора.

Рассматриваемый проектор NEC включается длительным нажатием кнопки включения (не менее 1 с). Временная диаграмма сигнала при длительном нажатии кнопки включения проектора представлена на рисунке 4.

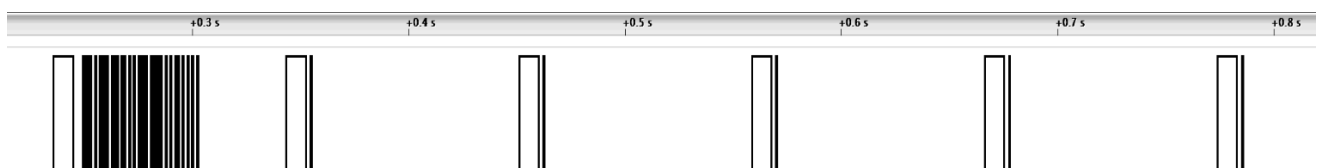


Рисунок 4 – Временная диаграмма команды включения с оригинального пульта проектора NEC

Универсальный программируемый пульт, который был запрограммирован на выполнение команды включения формировал следующую временную диаграмму (рисунок 5).

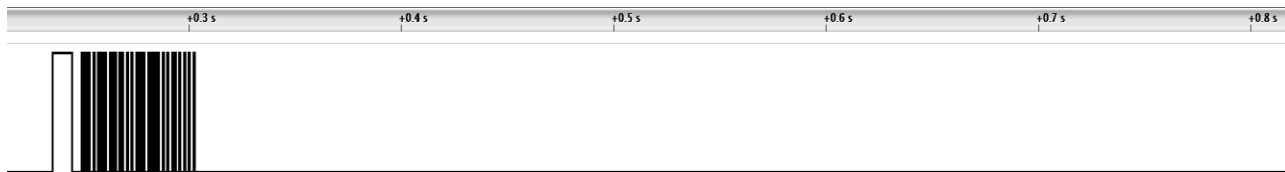


Рисунок 5 – Временная диаграмма команды включения с программируемого пульта

Также был исследован сигнал, формируемый смартфоном с ИК-интерфейсом и соответствующим приложением. Временная диаграмма полученного сигнала представлена на рисунке 6.

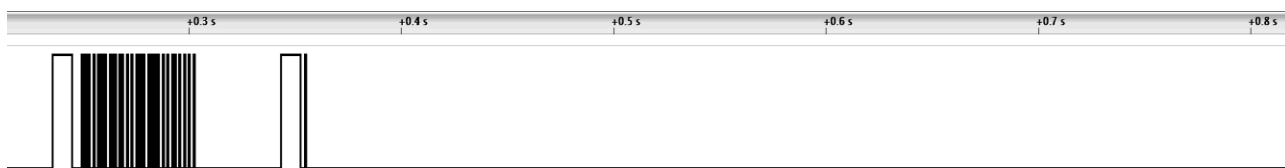


Рисунок 6 – Временная диаграмма команды включения со смартфона

Как показал анализ полученных диаграмм, первая пачка импульсов (закодированная команда включения) во всех трех случаях одинаковая. Однако при длительном нажатии на клавишу включения оригинальный пульт проектора NEC начинает периодически посылать команды повтора (Repeat) согласно протоколу NEC [3]. Эти команды должны повторяться через каждые 110 мс (рисунок 7).

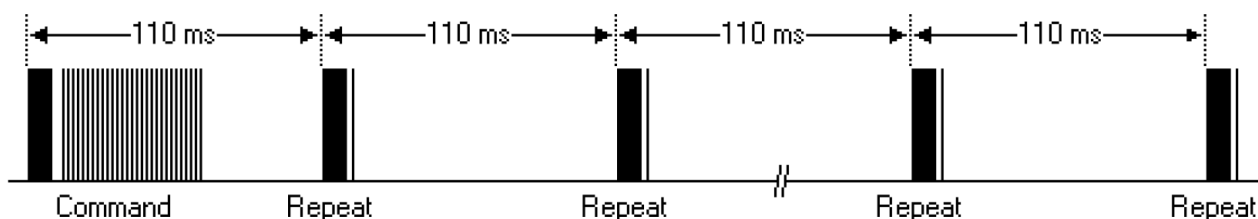


Рисунок 7 – Временная диаграмма формирования команды при длительном нажатии кнопки пульта (согласно протоколу NEC)

Программируемый пульт таких команд не посылает, а приложение смартфона формирует только одну команду повтора, что недостаточно для включения проектора. Однако позже выяснилось, что программируемый пульт все-таки можно запрограммировать и на формирование команд повторов. Только происходит это программирование нестабильно, видимо, в зависимости от того, какую именно последовательность сигналов пульт воспринял в качестве команды и сохранил в памяти.

Литература

1. NEC Portable Projectors VT47. Product Sheet. https://www.projectorcentral.com/pdf/projector_spec_2519.pdf (дата обращения: 16.09.2025).
2. TSOP22.., TSOP24.., TSOP48.., TSOP44.. IR Receiver Modules for Remote Control Systems. <https://www.vishay.com/docs/82459/tsop48.pdf> (дата обращения: 16.09.2025).
3. DFU IR Protocol (NEC) https://www.ad-notam.com/download/RS232/ad_notam_IR_protocol_DFU.pdf (дата обращения: 16.09.2025)
4. AN-1184 Remote Control IR Receiver/Decoder. <https://www.renesas.com/en/document/apn/1184-remote-control-ir-receiver-decoder?srsrtid=AfmBOoppdEM-s2tx8NriV5N13-CZK8x0Ex6L0nQDp6eat95JzMjXDeTw> (дата обращения: 16.09.2025).

*С.П. Астахов, к. т. н., доц.; Т.С. Астахова, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СПОСОБ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

На выбор того или иного оптического метода контроля влияют, прежде всего, условия, в которых он осуществляется: если объект контроля находится на значительном удалении (порядка десятков – сотен метров), целесообразно использовать телевизионный способ получения первичной информации, применяя в качестве первичного информативного параметра амплитудное значение собственного или индуцированного излучения объекта [1].

Входящий в состав комплекса обустройства пешеходного перехода пассивный обнаружитель транспортных средств, структурная схема которого показана на рисунке 1 [2,3], обеспечивает контроль движущегося транспорта в пределах ограниченного (контрольного) участка проезжей части.

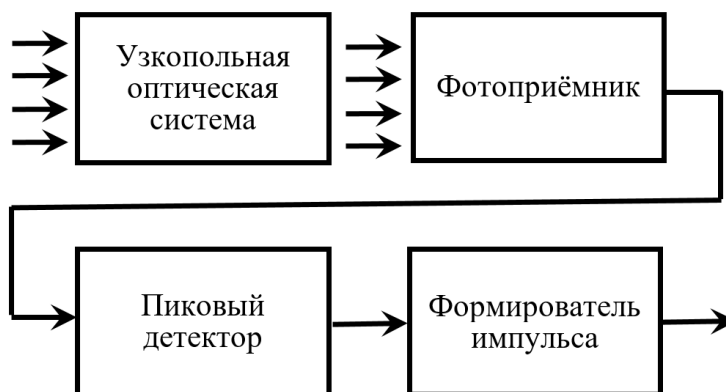


Рисунок 1 – Структурная схема пассивного обнаружителя транспортных средств

Узкопольная оптическая система пассивного обнаружителя транспортных средств, ориентируется в пространстве таким образом, чтобы в её поле зрения попадал только контрольный участок проезжей части с движением в сторону пешеходного перехода, находящийся на удалении от него не менее чем в 150 м (рисунок 2).

Следовательно, любое локальное изменение яркости в пределах участка

проезжей части, находящегося в поле зрения оптической системы пассивного обнаружителя транспортных средств, обусловленное появлением на нем транспортного средства и излучением его фар или дневных ходовых огней, может быть зафиксировано по изменению сигнала на выходе фотоприёмника.

Вместе с тем, наряду с появлением в пределах контрольного участка проезжей части транспортного средства, любое носящее импульсный характер оптическое воздействие естественного или искусственного происхождения будет приводить к такому же результату.

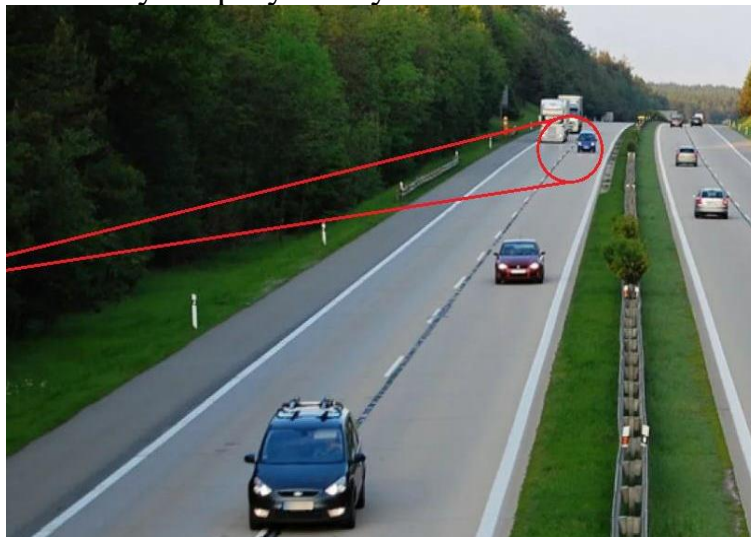


Рисунок 2 – Пример возможной ориентации поля зрения обнаружителя транспортных средств на контрольный участок проезжей части

Опико-электронный способ получения информации на основе переноса изображения по неподвижному растру [4], реализуемый помехоустойчивым пассивным обнаружителем транспортных средств, структурная схема которого показана на рисунке 3, позволяет обнаруживать движущийся объект за счёт его пространственно-частотного признака как периодического, ограниченного во времени сигнала (рисунок 4), при этом исключается воздействие одиночных оптических импульсных помех [5].

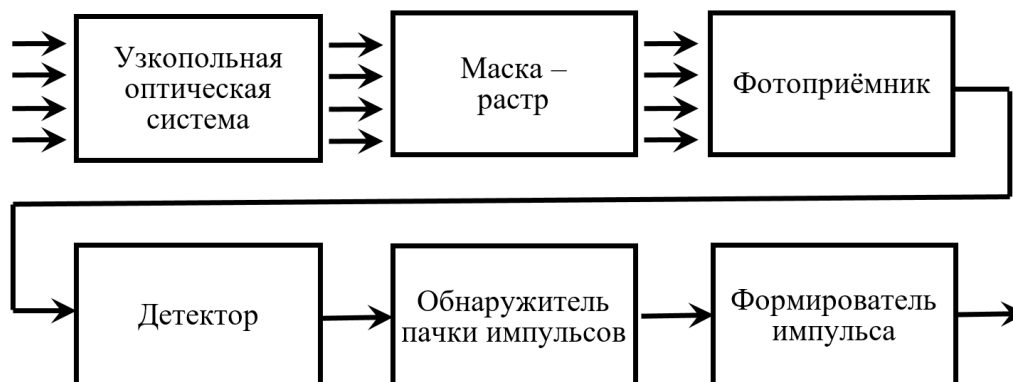
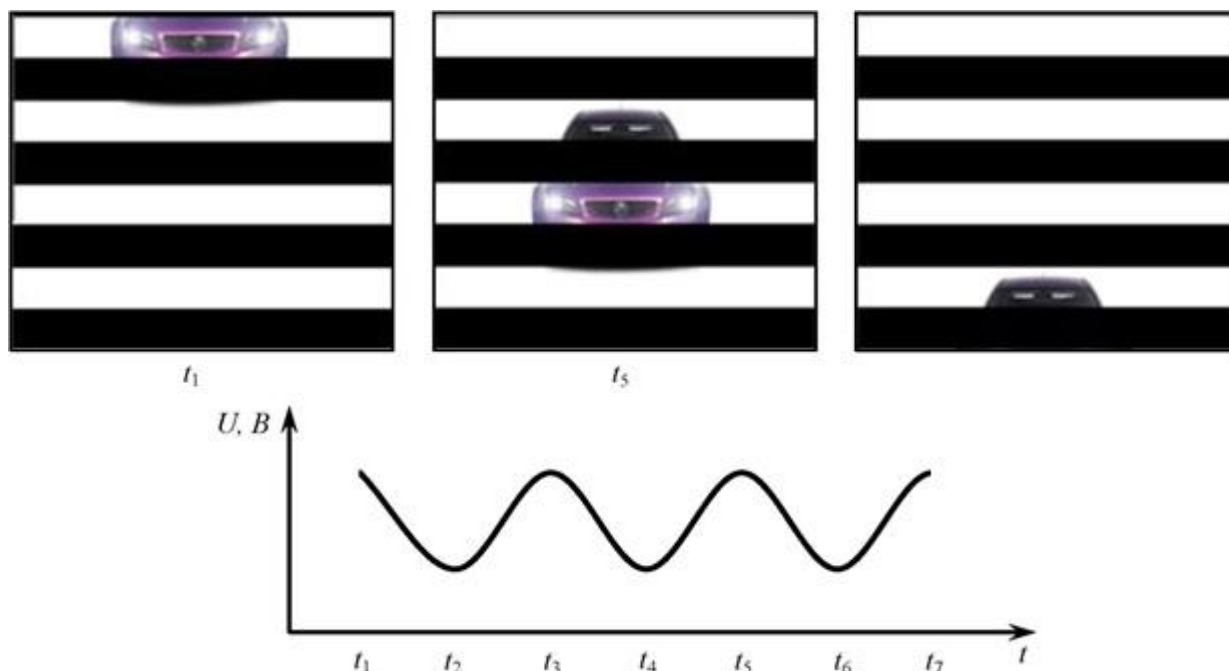


Рисунок 3 – Структурная схема помехоустойчивого пассивного обнаружителя транспортных средств



Форма сигнала на выходе фотоприёмника

Рисунок 4 – Принцип модуляции потока излучения переносом изображения движущегося транспортного средства по неподвижному растру

Частота сигнала на выходе фотоприёмника зависит от:

- угловой величины поля зрения оптической системы оптико-электронного обнаружителя транспортных средств (с учётом маски-растра);
- пространственно-частотного параметра маски – растра (количества прозрачных и непрозрачных полос) приёмника оптического излучения;
- высоты установки помехоустойчивого пассивного оптико-электронного обнаружителя транспортных средств над проезжей частью;
- скорости движения транспортного средства.

Таким образом, способ дистанционного обнаружения движущихся транспортных средств пассивным оптико-электронным обнаружителем, реализующим перенос изображения по неподвижному растру, исключает воздействие одиночных оптических импульсных помех, вследствие чего не происходит ложных срабатываний.

Литература

- 1 ГОСТ Р 58399 – 2019. Контроль неразрушающий. Методы оптические. Общие требования. – М., 2019 – 15 с.
- 2 Автономный комплекс обустройства пешеходного перехода: пат. 2753831, Рос. Федерация, МПК F21S 9/03, G08G 1/005 / Астахова Т. С., Астахов С. П., Мясина О. С., Михалев В. В., Якименко И. В.; заявитель «НИУ «МЭИ». – 2020144105; заявл. 30.12.2020; опубл. 23.08.2021. Бюл. № 24. – 9 с.
- 3 Автономный адаптивный комплекс обустройства пешеходного перехода: пат. 2786775, Рос. Федерация, МПК F21S 9/03, G08G 1/005 / Астахова Т. С., Астахов С. П., Якименко И. В.; заявитель «НИУ «МЭИ». – № 2022113944; заявл. 25.05.2022; опубл. 26.12.2022. Бюл. № 36. – 10 с.
- 4 Ю. П. Сафронов, Р. И. Эльман. Инфракрасные распознающие устройства. М., Воениздат, 1976. – 207 с.
- 5 Автономный адаптивный помехоустойчивый комплекс обустройства пешеходного перехода: пат. 2827780, Рос. Федерация, МПК G08G 1/005, G08G 1/017, G08G 1/04, G08G 1/07, F21S 9/03/ Астахова Т. С., Астахов С. П., Якименко И. В.; заявитель «НИУ «МЭИ». – № 2024108171; заявл. 28.03.2024; опубл. 02.10.2024. Бюл. № 28. – 10 с.

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ЧАСТИ ПАССИВНОГО ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ ДВИЖУЩИХСЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Структурная схема электронной части пассивного оптико-электронного обнаружителя движущихся транспортных средств (рисунок 1) состоит из узлов, обеспечивающих выполнение следующих операций:

- преобразование модулированного потока оптического излучения в электрический сигнал,
- выделение переменной составляющей электрического сигнала,
- преобразование переменной составляющей электрического сигнала в импульсную последовательность,
- обнаружение в импульсной последовательности пачки импульсов, удовлетворяющей требованиям по количеству импульсов и ее длительности,
- формирование управляющего импульса заданной длительности,
- преобразование напряжения питания до требуемого уровня.

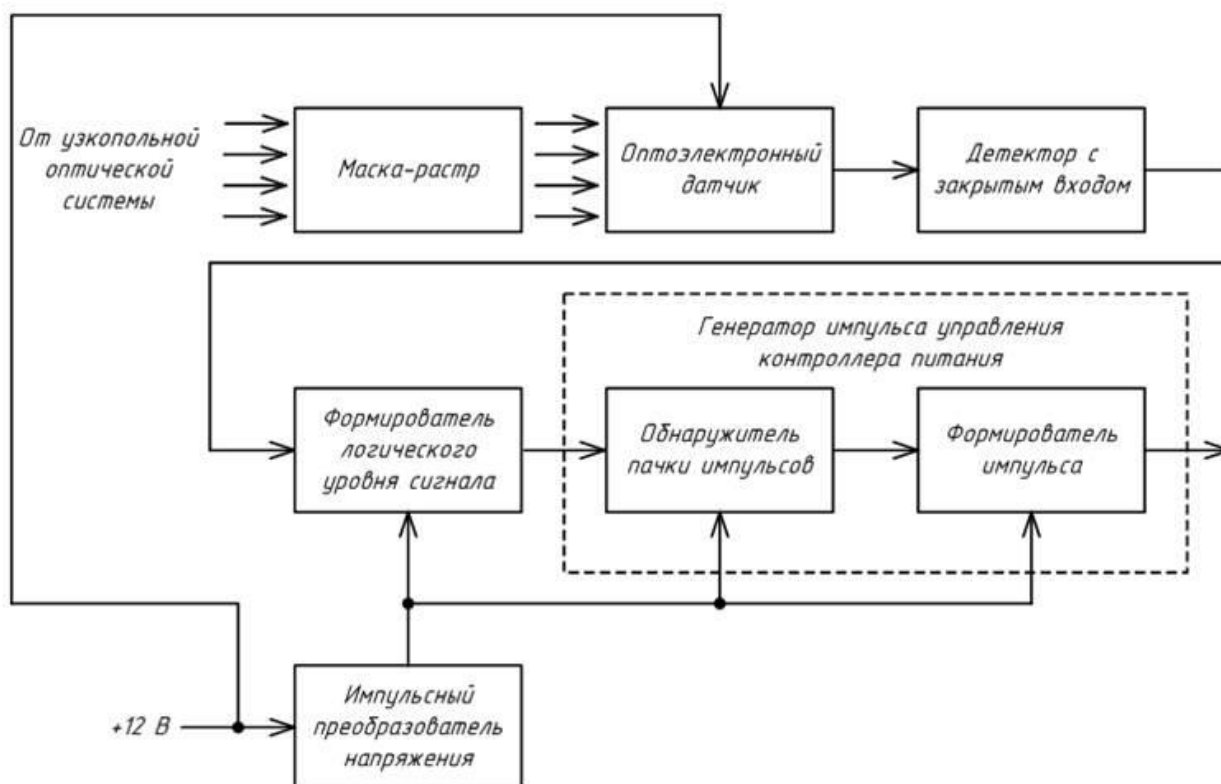


Рисунок 1 – Структурная схема электронной части пассивного оптико-электронного обнаружителя транспортных средств

Функциональная схема электронной части пассивного оптико-электронного обнаружителя движущихся транспортных средств показана на рисунке 2.

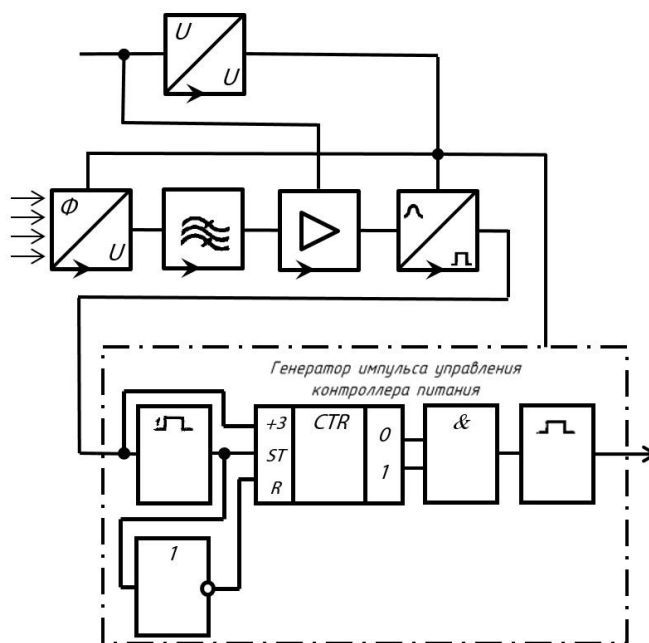


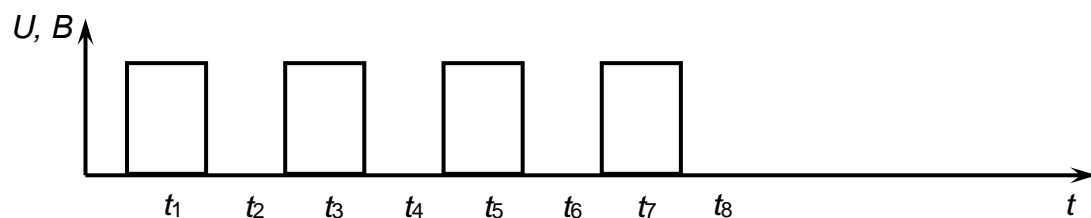
Рисунок 2 – Функциональная схема электронной части электронного части пассивного оптико-электронного обнаружителя транспортных средств

В соответствии с функциональной схемой, электронная часть пассивного оптико-электронного обнаружителя движущихся транспортных средств содержит:

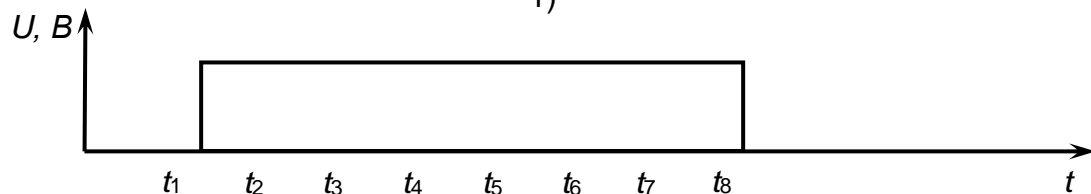
- оптоэлектронный датчик, обеспечивающий преобразование величины освещённости фотоприёмника в напряжение,
- полосовой фильтр, обеспечивающий выделение переменной составляющей электрического сигнала в заданной полосе частот наряду с подавлением высокочастотных помеховых сигналов и постоянной составляющей с выхода оптоэлектронного датчика,
- преобразователь переменной составляющей электрического сигнала в импульсную последовательность,
- генератор импульса управления контроллера питания, состоящий из:
 - а) обнаружителя пачки из трёх импульсов с длительностью, не более заданной (на логических элементах или программируемых компонентах),
 - б) формирователя управляющего импульса заданной длительности,
- преобразователь постоянного напряжения, обеспечивающий питание цифровой части оптико-электронного обнаружителя транспортных средств.

Логика работы генератора импульса управления контроллера питания поясняется рисунком 3.

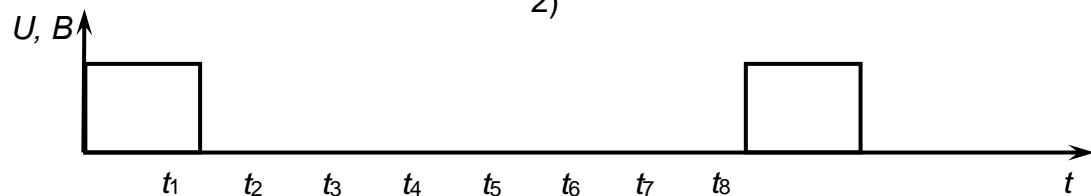
Результаты моделирования (рисунки 4-5), показывающие реакцию обнаружителя пачки импульсов на различное количество импульсов в импульсной последовательности, заключающуюся в отсутствии или наличии импульса на его выходе, подтверждают корректность функционирования алгоритма получения информации о движущемся транспортном средстве, что позволяет сделать вывод о работоспособности пассивного оптико-электронного обнаружителя движущихся транспортных средств.



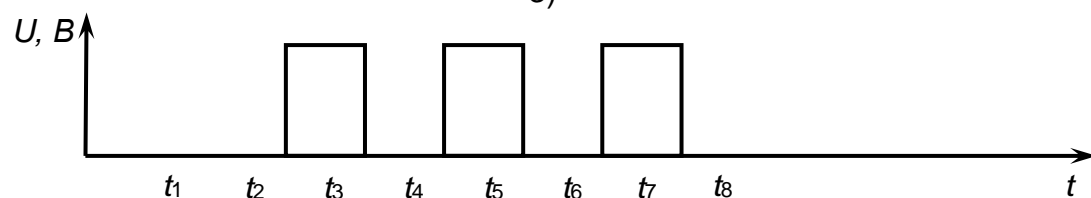
1)



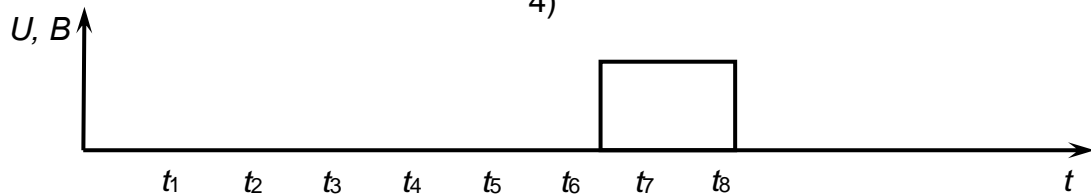
2)



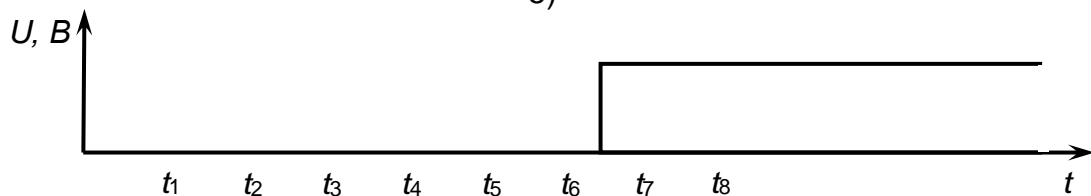
3)



4)



5)



6)

Рисунок 3 – Логика работы генератора импульса управления контроллера питания, где
 1) пачка импульсов на входе генератора импульса управления,
 2) импульс на выходе одновибратора без перезапуска (разрешение счёта),
 3) импульс сброса счётчика в 0,
 4) импульсы, прошедшие на счётчик,
 5) импульс на выходе счётчика,
 6) импульс на выходе одновибратора с перезапуском (импульс управления контроллера питания)

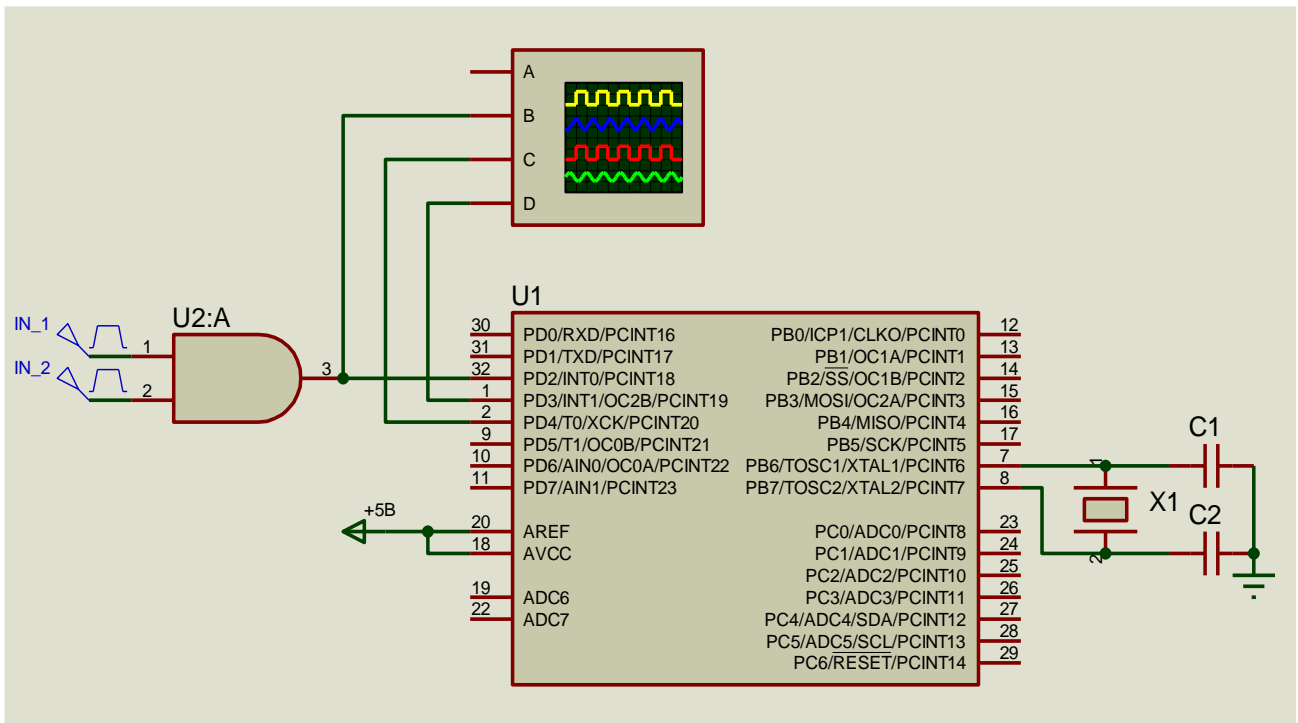


Рисунок 4 – Модель обнаружителя пачки импульсов, реализованная в среде имитационного моделирования *Proteus*

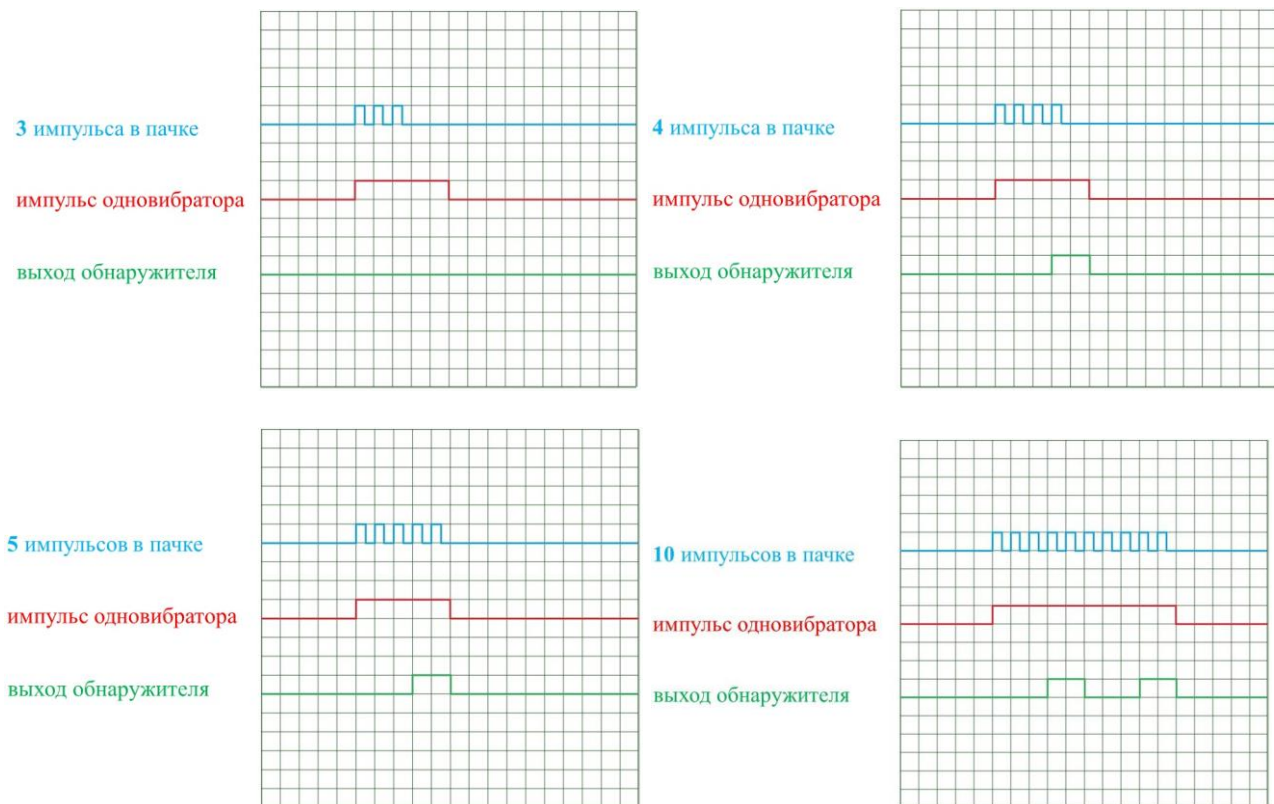


Рисунок 5 – Реакция обнаружителя пачки импульсов

Литература

- 1 Астахова Т. С., Астахов С. П., Якименко И. В. Автономный адаптивный помехоустойчивый комплекс обустройства пешеходного перехода // Патент России № 2827780. 2024. Бюл. № 28
- 2 Астахова Т. С., Астахов С. П., Якименко И. В. Повышение энергоэффективности автономных систем индикации и освещения нерегулируемых наземных пешеходных переходов. // Светотехника. – 2024. – № 1. – С. 82–85.

АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНОВ ОПТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Разработка концепции информационного и алгоритмического обеспечения перспективных оптико-электронных следящих систем, к которыми можно отнести и оптические головки самонаведения (ОГСН) из состава зенитных управляемых ракет (ЗУР), является особенно актуальной в условиях масштабного использования малых беспилотных воздушных судов (БВС) и обусловлена, прежде всего, тем, что:

- малые БВС характеризуются существенно меньшими по сравнению с пилотируемыми воздушными судами уровнями излучения двигательных установок в инфракрасном диапазоне оптической области спектра,

- малые БВС характеризуются существенно меньшими по сравнению с пилотируемыми воздушными судами скоростями полета, из-за чего у них практически отсутствует явление аэродинамического нагрева элементов планера.

В связи с этим, выбор рациональных рабочих спектральных диапазонов оптико-электронных следящих систем должен осуществляться исходя из следующих предпосылок:

– фотоприёмная система ОГСН должна воспринимать достаточный объем оптической информации, достаточный для уверенной селекции малых БВС,

– информация содержится в излучении, которое для БВС любой конструкции, состоит из собственного излучения, излучения отражаемого (рассеиваемого) планером (корпусом) БВС и излучения, эквивалентного излучению участка фона, экранируемого БВС (как правило, оно учитывается с обратным знаком),

– величина энергетического контраста излучений БВС и фона:

$$K = \frac{B_{\text{БВС}} - B_{\text{ф}}}{B_{\text{ф}}},$$

может принимать как положительные, так и отрицательные значения,

Собственное излучение подавляющего большинства типов БВС обусловлено тем, что они имеют в своем составе двигатели внутреннего сгорания или электрические двигатели, работа которых сопровождается выделением некоторого количества тепловой энергии, наиболее информативной для приема собственного излучения БВС, являются две специфические области в инфракрасной части электромагнитного спектра:

- *MWIR* (средневолновый инфракрасный диапазон, 3,5-5,5 мкм),

- *LWIR* (длинноволновый инфракрасный диапазон, 8-14 мкм),

Вероятность появления в этих диапазонах отрицательного контраста излучений БВС и фона (практически отсутствует, за исключением случая визирования БВС в присолнечной области).

Кроме того, диапазон *MWIR*, характеризуется минимальными энергетическими характеристиками излучения фона (как солнечной

составляющей излучения фона, так и собственными излучениями атмосферы и атмосферных образований), а при работе в сумерках и ночью – практически полным отсутствием помехового излучения естественного происхождения.

Вместе с тем, в этих диапазонах величины энергетических контрастов излучений БВС и фона редко достигают заметных величин, что объясняется использованием в их составе, преимущественно, двигательных установок малых мощностей.

Спектральный состав отражаемого (рассеиваемого) планером (корпусом) БВС зависит определяется исключительно его конфигурацией и спектральным альбедо применённых лакокрасочных покрытий.

Спектральный состав излучения, эквивалентного излучению участка фона, экранируемого БВС, определяется:

- временем года,
- временем суток,
- географическим положением,
- высотой полета.

В дневное время, наиболее информативными спектральными диапазонами, обеспечивающими возникновение устойчивых отрицательных контрастов, являются ультрафиолетовый и видимый диапазоны.

Ультрафиолетовое излучение занимает область спектра оптического диапазона с длинами волн 0,005-0,4 мкм [1]. Практически единственным мощным естественным источником ультрафиолетового излучения является Солнце. При этом доля ультрафиолетового излучения у земной поверхности составляет 1-3,5 % (его длинноволновая часть с длиной волны больше 0,29 мкм) от всего дошедшего до Земли солнечного излучения в оптическом диапазоне, тогда как значительная его часть (коротковолновая), поглощается атмосферой в диапазоне высот 30–200 км от поверхности Земли.

Характерными особенностями рассматриваемого диапазона являются:

- отсутствие излучения собственных источников излучения у БВС,
- наличие излучения фона, которое обуславливается прямым и рассеянным верхними слоями атмосферы излучением Солнца.

Таким образом, БВС всегда облучаются с верхней полусферы, экранируя излучение фона, т. е. соблюдается условие возникновения отрицательного энергетического контраста.

Видимое излучение занимает область спектра оптического диапазона с длинами волн 0,4 – 0,76 мкм [1]. Излучение фонов в этой области обусловлено прямым и рассеянным излучением Солнца, которое составляет 40 – 45 % от всего, дошедшего до Земли солнечного излучения.

Так как БВС не имеют собственные источники видимого излучения (не считая навигационных огней), создаются условия возникновения отрицательного энергетического контраста.

Учитывая тот факт, что максимум излучения Солнца приходится на видимую часть оптического излучения, возникновение значительных энергетических контрастов неизбежно также и на различных фоновых

неоднородностях.

SWIR (коротковолновый инфракрасный диапазон, 0,76 – 3 мкм) характеризуется наличием в нем излучения Солнца значительной интенсивности, что при определенных условиях может создавать предпосылки для возникновения как отрицательного так и положительного энергетического контраста излучений БВС и фона.

Рассмотренные области оптического излучения характеризуются зависимостью интенсивности излучения фонов от наличия солнечного излучения. В сумерках и ночью излучение фона в этих областях спектра отсутствует практически полностью или пренебрежимо мало.

Принимая во внимание достоинства и недостатки рассмотренных областей спектра оптического излучения, с учетом данных, полученных в результате полигонных испытаний, можно сделать вывод о том, что выбор рабочего спектрального диапазона оптико-электронных следящих систем должен осуществляться с учетом следующие требования, обеспечивающих возможность получения информации о БВС:

- наличие устойчивого контраста (положительного или отрицательного) излучений БВС и фона в условиях неоднородных фонов,
- возможность осуществления размерной селекции объектов, обладающих устойчивым контрастом [2].

Выбор способа адаптации оптико-электронных следящих систем к воздействию мешающих источников излучения, должен осуществляться исходя из возможности обеспечения осуществления отстройки, как от точечных, так и от протяженных источников мешающего излучения.

Таким образом, можно сделать выводы, что для оптико-электронных следящих систем:

- в дневное время, наиболее информативными спектральными диапазонами, обеспечивающими возникновение устойчивых отрицательных контрастов, являются ультрафиолетовый и видимый диапазоны,
- в ночное время наиболее информативными спектральными диапазонами, обеспечивающими возникновение устойчивых положительных контрастов, являются *MWIR* и *WIR* диапазоны.

Литература

1 Советская Военная Энциклопедия: [в 8 томах]/Пред. Гл. ред. комиссии Н. В. Огарков. –М.: Воениздат, Т. 8. 1978. – С. 191.

2 Левшин В. Л. Пространственная фильтрация в оптических системах пеленгации. –М.: Сов. Радио, 1971. – 200 с.

*В.М. Быстричкина, студ.; Д.А. Кусова, студ.; В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СРАВНЕНИЕ ОРТОСКОПИЧЕСКОГО ОКУЛЯРА АББЕ И ОКУЛЯРА ПЛЕССЛА

Окуляр – это система линз, которая преобразует промежуточное изображение объектива в наблюдаемую увеличенную картину с заданными характеристиками и минимальными искажениями. От выбора окуляра зависят функци-

ональные параметры оптической системы или прибора.

Ортокоспический окуляр Аббе является двухкомпонентным и состоит из тройной симметричной склейки крон-флинт-крон. Данная схема часто применяется в микроскопах, измерительных приборах, любительских и профессиональных телескопах.

Окуляр Плессла является усовершенствованной версией схемы окуляра Рамсдена. Оптическая система Плессла получила активное применение в телескопах, реже в микроскопах.

Ортокоспический окуляр Аббе и окуляр Плессла часто поддаются сравнению в связи с применением в одинаковых оптических приборах. Обе системы обеспечивают удобное наблюдение и до сих пор способны составить конкуренцию более совершенным моделям.

Сравнение ортокоспического окуляра Аббе и окуляра Плессла в данной работе осуществляется посредством моделирования их оптических систем в программе *Zemax* [1]. Модели оптических систем исследуемых объектов представлены на рисунке 1.

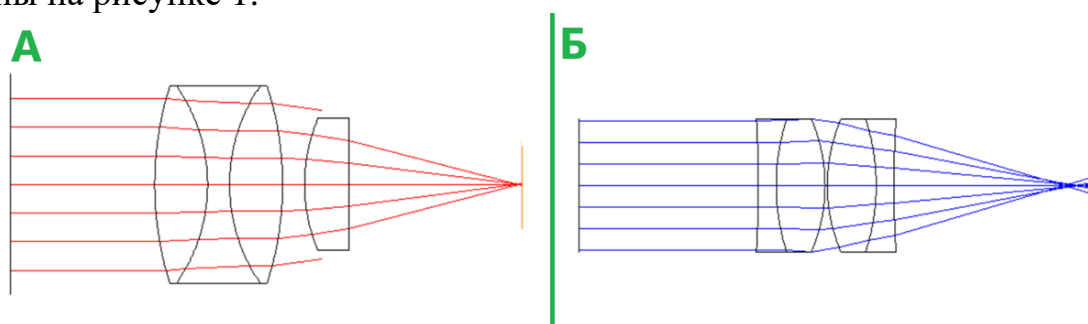


Рисунок 2 – Модели оптических системы ортокоспического окуляра Аббе (А) и окуляра Плессла (Б)

По диаграмме пятна рассеяния для ортокоспического окуляра Аббе (рисунок 2), выведенной в программе *Zemax*, можно выявить наличие остаточной сферической аберрации в центре поля. Данное искажение является незначительным, так как геометрический радиус равен 104,48 мкм, поэтому в центре поля обеспечивается достаточно высокая разрешающая способность. На краю поля пятна рассеяния ортокоспического окуляра Аббе вместо точек видны «смазы», которые указывают на присутствие в данной оптической системы аберрации кома [2]. Данное искажение является причиной ухудшения детализации по краям изображения.

Пятно рассеяния для окуляра Плессла имеет более однородную форму (рисунок 3), что является причиной более высокой разрешающей способности в центре поля, чем у ортокоспического окуляра Аббе. На краю поля пятно рассеяния окуляра Плессла немного вытянуто в эллипсис, но при этом оно симметрично относительно радиального направления. Данное изображение диаграммы пятна рассеивания указывает на наличие астигматизма, однако аберрация кома практически отсутствует. В итоге окуляр Плессла выдает более четкое изображение, чем ортокоспический окуляр Аббе.

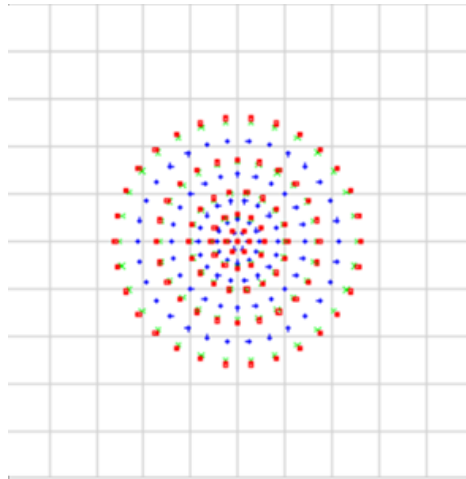


Рисунок 3 – Пятно рассеяния для ортоскопического окуляра Аббе

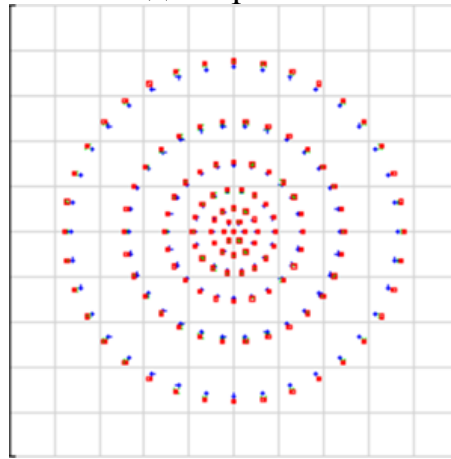


Рисунок 4 – Пятно рассеяния для окуляра Плессла

Далее для сравнения окуляров были выведены графики разностей оптических путей – OPD (рисунок 5). График OPD для ортоскопического окуляра Аббе указывает на наличие остаточных сферических aberrаций и aberrации кома, что является причиной значительного искажения волнового фронта в оптической системе.

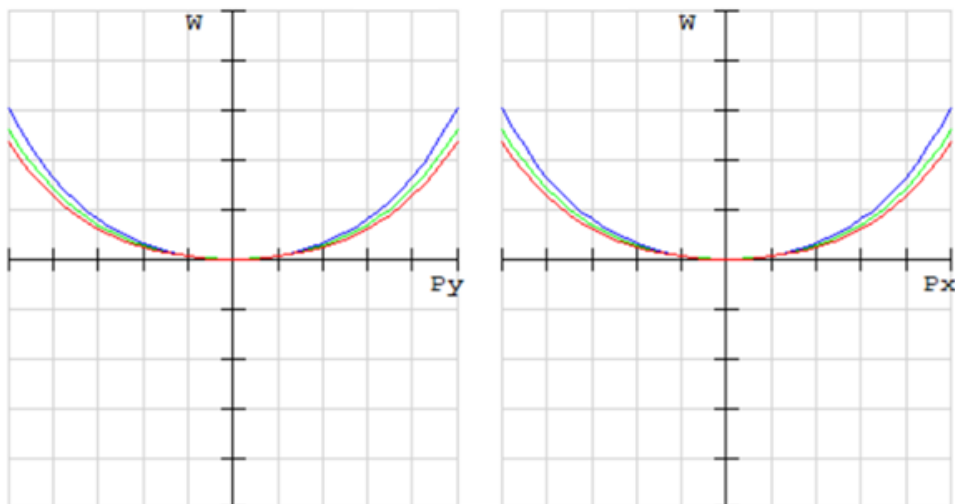


Рисунок 5 – График разности оптических путей для ортоскопического окуляра Аббе

По графику *OPD* для окуляра Плессла видно (рисунок 5), что в оптической системе практически отсутствуют сферическая aberrация и aberrация кома. Таким образом, окуляр Плессла выдает более качественное изображение, чем ортоскопический окуляр Аббе.

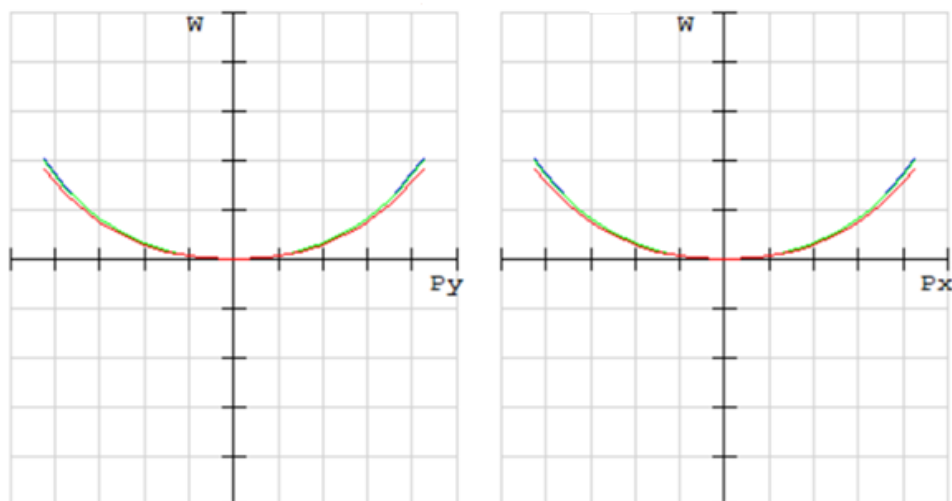


Рисунок 6 – График разности оптических путей для окуляра Плессла

Для сравнительного анализа ортоскопического окуляра Аббе и окуляра Плессла были выведены графики поперечных aberrаций, которые показывают отклонение лучей от парааксиального фокуса. Для ортоскопического окуляра Аббе это значение равно 110 мкм, для окуляра Плессла – 390 мкм.

График поперечных aberrаций для ортоскопического окуляра Аббе подтверждает наличие aberrации кома (рисунок 6). Данное искажение достаточно сильно влияет на выводимое оптической системой изображение. Проявление aberrации Кома связано с асимметрией изображения и сильным искажением мелких деталей, т.к. значение углового размера 7,2 угловых минуты, что в 3,5 раза превышает максимальный порог.

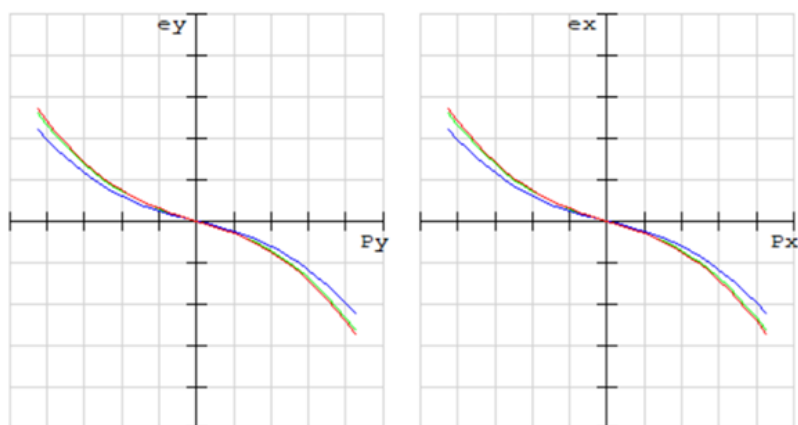


Рисунок 7 – График поперечных aberrаций для ортоскопического окуляра Аббе

Анализ графика поперечных aberrаций для окуляра Плессла подтверждает выводы о минимальном наличии сферических aberrаций (рисунок 7), что позволяет выводить более качественное изображение, чем у ортоскопического окуляра Аббе.

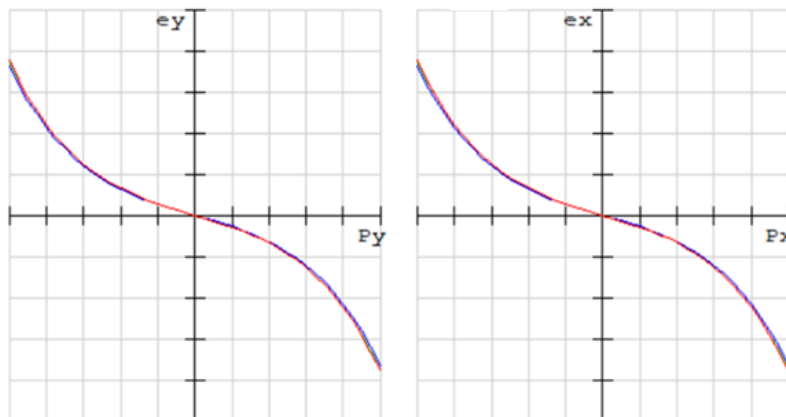


Рисунок 8 – График поперечных aberrаций для окуляра Плессла

Таким образом, окуляр Плессла обеспечивает высокое качество изображения по всему полю зрения, что связано с эффективной минимизацией aberrаций в оптической системе. Ортоскопический окуляр Аббе имеет более выраженные сферическую aberrацию и aberrацию кома, что приводит к размытию оптической системой изображения. Для более ответственных задач, как например, астрономические и медицинские, следует отдать выбор окуляру Плессла, а для наблюдений, где важна простота оптической системы, подойдет ортоскопический окуляр Аббе.

Литература

1. Качурин, Ю. Ю. Оформление оптического выпуска на основании расчетов в программе ZEMAX: учебно-методическое пособие / Ю. Ю. Качурин, А. В. Крюков, А. А. Каратеева. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 56 с. – ISBN 978-5-7038-5236-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/205556> (дата обращения: 28.09.2025).
2. Кирилловский, В. К. Оптические измерения: учебное пособие / В. К. Кирилловский, Т. В. Точилина. – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2019 – Часть 5: Aberrации и качество изображения – 2019. – 94 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/136406> (дата обращения: 28.09.2025).

*В.Р. Гафуров, маг.; В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.
(Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СОЗДАНИЕ КОРОБА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЦВЕТА РАЗНОЦВЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Управление цветом – процесс, сопутствующий повседневным операциям с цифровыми устройствами, такими как камеры, сканеры, мониторы и принтеры. Внутренние процессы этих устройств обеспечивают точное воспроизведение или отображение цветов, хотя пользователям часто не нужно знать о подобных механизмах. Человеческий глаз и устройства способны воспринимать определенный спектр цветов, который численно выражается в цветовых пространствах через цветовые модели. Однако различные устройства имеют свои осо-

бенности, и при записи или отображении цветов они могут немного отличаться. Управление цветом включает в себя преобразование цветовых данных между различными гаммами устройств для обеспечения согласованности цветов.

В настоящее время важно, чтобы цветопередача в продукте оставалась стабильной на протяжении всего производственного процесса, который может продолжаться несколько лет. Поэтому широко используются колориметры как в промышленности, так и в частном секторе для контроля стабильности цвета продукции. Они позволяют обнаруживать отклонения цвета, что позволяет корректировать или останавливать производство для предотвращения повреждений. Кроме того, колориметры помогают определить точные цветовые характеристики продуктов без наличия документации.

Колориметрия – это физическое описание человеческого восприятия цвета, связанное с измерением и анализом цвета объектов. Для таких измерений используются колориметры, которые находят применение в полиграфии, фотографии и смешении цветов. Существует разнообразие типов колориметров (например, фотоколориметры, спектроколориметры, фотометры и др.), способных определять цвет объектов. Однако на сегодняшний день нет колориметров, способных точно определить цвета сложных многоцветных объектов. Таким образом, данная тема остается весьма актуальной для дальнейших исследований.

Научная работа состоит из четырех основных частей. Первая часть посвящена методологии измерения цвета, включая основные факторы, такие как источник света, геометрия освещения и стандартный колориметрический наблюдатель [1, 2]. Вторая часть описывает процесс разработки корпуса для устройства [3, 4]. Третья часть посвящена выбору источника и приемника излучения. В четвертой части описывается процесс создания программного обеспечения и его подробное описание.

В данной работе описывается процесс разработки корпуса для экспериментального образца устройства.

Создание экспериментального образца устройства для измерения цвета разноцветных объектов производилась в несколько этапов:

1) Подготовка к печати

На первом этапе разработки бокса для устройства измерения цветности объектов было проведено моделирование в *SolidWorks* (рисунок 1). Была создана 3D-модель с точными размерами, учитывающая все необходимые функциональные элементы: отверстия для крепления камеры, датчиков и других электронных компонентов, а также стыковочные места для сборки бокса.



а)



б)

Рисунок 1 – 3D-модель короба разрабатываемого устройства:
а) вид спереди, б) вид в перспективе

После завершения моделирования файл экспортируется в формат, поддерживаемый программным обеспечением для 3D-принтера *STL*. Далее происходит разбиение 3D-модели на слои с помощью слайсера (*PrusaSlicer*), где задаются параметры печати: высота слоя, скорость печати, температура, процент заполнения, и поддержка конструкций, если необходимо.

2) Печать деталей бокса

3D-печать бокса осуществляется методом послойного наплавления (*FDM - Fused Deposition Modeling*) на 3D-принтере. Для печати используется пластик, такой как *PLA* (полилактид), который обеспечивает необходимую прочность и устойчивость к внешним воздействиям.

Основные параметры печати:

- Материал: *PLA*, в зависимости от требований к прочности и устойчивости к температурным воздействиям.
- Температура сопла: 170-1800 °C для *PLA*.
- Температура стола: 60-100 °C для хорошего прилипания слоев.
- Высота слоя: 0.1-0.3 мм в зависимости от требуемого качества поверхности.
- Заполнение: 50% для обеспечения прочности при сохранении легкости конструкции.

Процесс печати длится в зависимости от размера бокса и сложности геометрии, и может занимать от нескольких часов до суток. Для оптимальной прочности печать проводится с различными заполнениями внутренней части детали.

3) Постобработка деталей

После завершения печати деталей проводится их постобработка:

1. Удаление поддержек, если они использовались.
2. Зачистка краев и поверхностей для обеспечения точной стыковки и сборки.
3. Также были использованы дополнительные методы обработки, такие как шлифовка, чтобы улучшить внешний вид.

4) Сборка бокса

Сборка бокса осуществляется после завершения постобработки всех деталей. В процессе сборки основания корпуса использовались клеевые соединения, а дополнительные комплектующие фиксируются с помощью резьбового крепления.

Соединение частей бокса: скрепляются основные части корпуса, начиная с нижней части и стенок. В качестве соединения используется сварка для пластика, для более прочной фиксации. Установка бленды, светодиодов и предметного стола: в бокс монтируется бленда, светодиоды и предметный стол, которые фиксируются на специально предусмотренных резьбовых креплениях (рисунок 2).



Рисунок 2 – Финальная версия сборки короба устройства

Процесс моделирования позволил учесть все необходимые функциональные элементы, включая крепежные отверстия для камеры и датчиков. Использование 3D-печати методом FDM обеспечило высокую точность и соответствие конструкции заданным параметрам. Параметры печати были оптимизированы для достижения необходимого баланса между прочностью и легкостью конструкции. Постобработка деталей позволила достичь высокого качества сборки, а использование клеевых соединений и резьбовых креплений обеспечило надежную фиксацию элементов.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям (Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере).

Литература

1. Гафуров В.Р. Усовершенствование устройства для исследования цветовых параметров объектов // XXX Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов». Москва, 2023. Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова. 10 - 21 апреля 2023
2. Жбанова В.Л., Жбанов И.Л., Метод исследования цветопередачи цифровых камер // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. Т. 21, № 3. С. 326–333.
3. Парвулюсов Ю.Б., Родионов С.А., Солдатов В.П., Шехонин А.А., Якушенков Ю.Г., Якушенков Ю.Г. Проектирование оптико-электронных приборов: Учебник для вузов 2-е изд. М.: Логос, 2000. 488 с.
4. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. 4-е изд. М.: Логос. 1999. 480 с.

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ МОДУЛЕЙ СТЕНДА «ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ»

В настоящее время подготовка будущих высококвалифицированных специалистов в области электроники требует комплексного подхода, сочетающего в себе как теоретическое обучение, так и практическое освоение базовых элементов и принципов. Важную роль в этом процессе играет использование специализированного учебного оборудования. В связи с этим актуальной задачей стала разработка учебного стенда «Введение в электронику», который ознакомит студентов с основополагающими принципами в области электроники. Ранее уже были определены и описаны основные модули стенда, их состав и предназначения, а также была разработана структурная схема стенда, представленная на рисунке 1 [1].

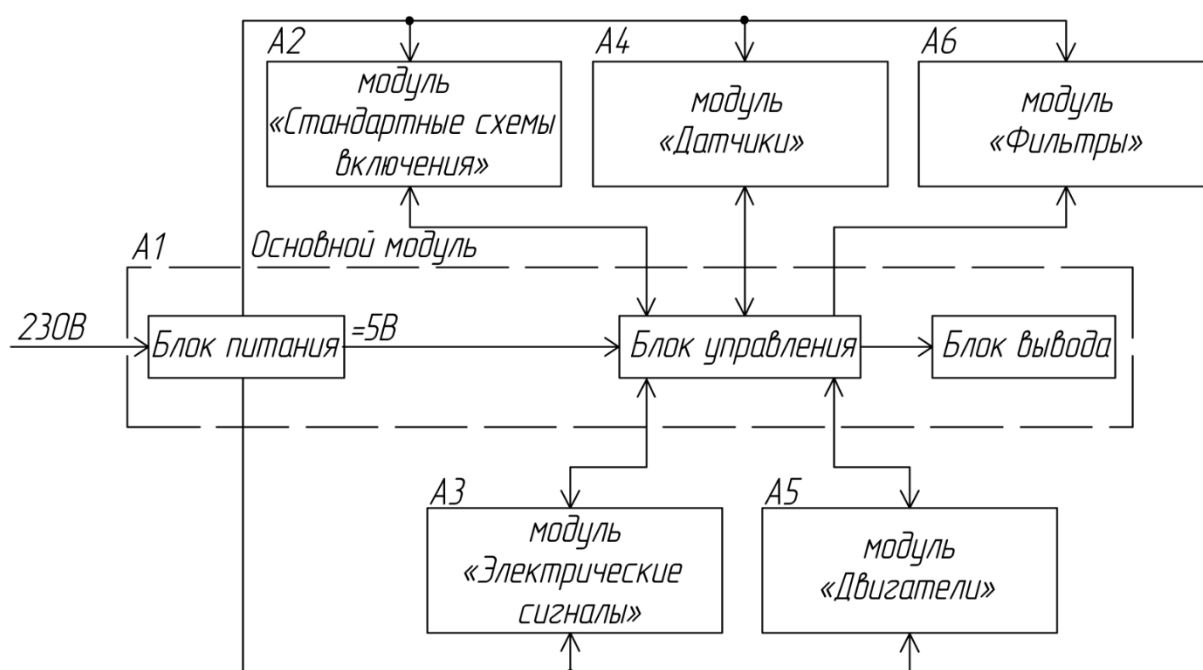


Рисунок 1 – Структурная схема стенда «Введение в электронику»

Для дальнейшей реализации данного стенда необходимо детально разработать каждый модуль и проработать его техническую часть. Для этого была проведена разработка функциональных схем модулей, которые определяют внутреннюю структуру, взаимодействие элементов и методы управления.

Включение модуля «Стандартные схемы включения» осуществляется при помощи кнопки SB1, выбор схемы для изучения осуществляется при помощи кнопок SB2-SB6. Микроконтроллер A1 формирует входные сигналы для выбранной схемы включения, отвечает за обработку полученных данных и управление выводом информации. Энкодеры A3-A10 и A15-A17 используются для программной регулировки параметров схем. Отображение информации о том, какая схема используется в данный момент, а также осциллограммы сигналов

на входе и выходе выбранной схемы осуществляется при помощи дисплея А2. Функциональная схема модуля представлена на рисунке 2.

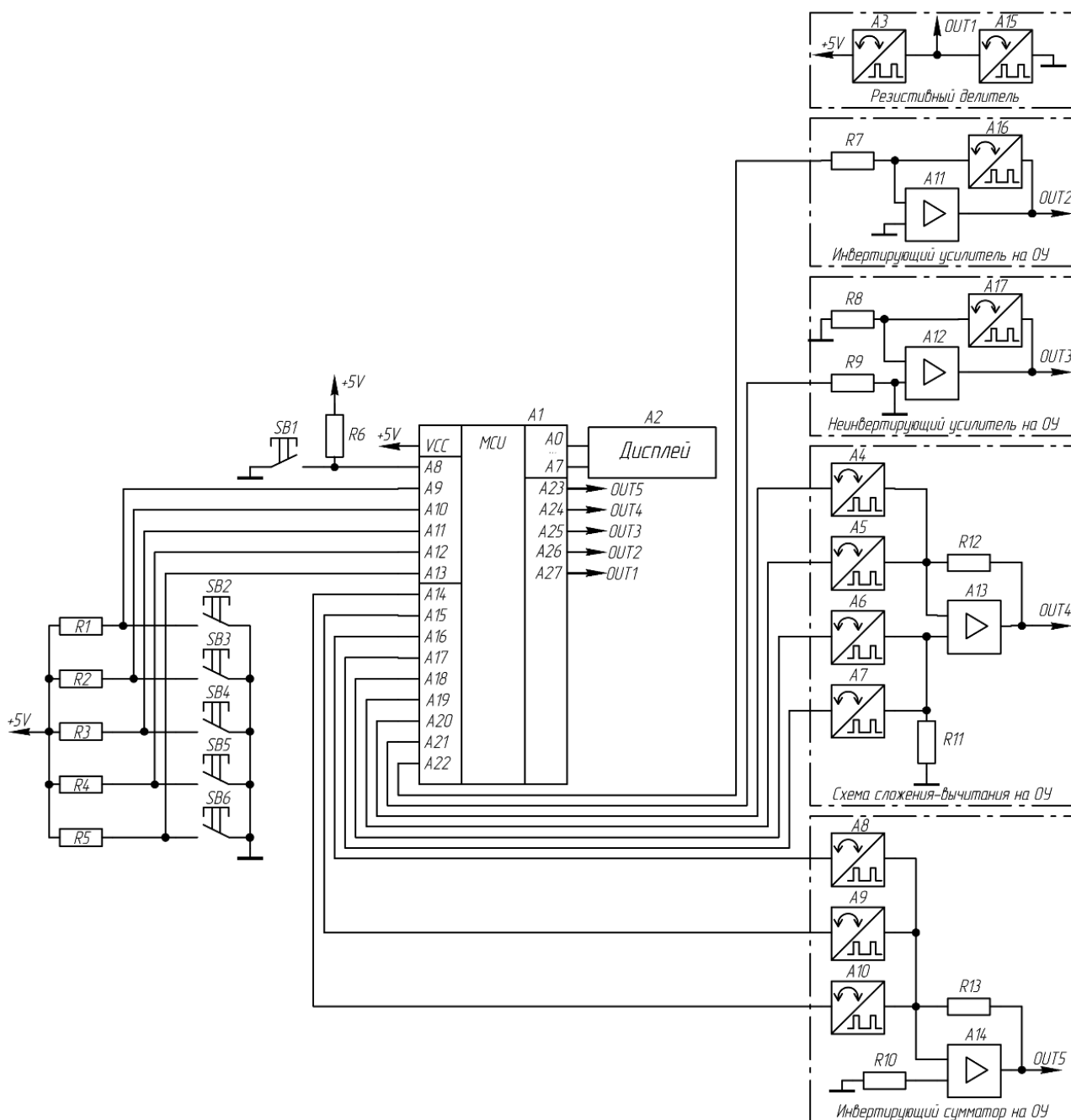


Рисунок 2 – Функциональная схема модуля «Стандартные схемы включения»

Включение модуля А3 «Электрические сигналы» осуществляется при помощи кнопки SB1, выбор сигнала осуществляется при помощи кнопок SB2-SB5. Микроконтроллер А1 используется для генерации сигналов путем прямого цифрового синтеза, а также для обработки полученной информации. Для формирования аналоговых сигналов используются цифро-аналоговые преобразователи А7-А10. Регулировка характеристик сигналов осуществляется при помощи энкодеров А3-А6. Дисплей А2 служит для вывода осциллограммы выбранного

сигнала и визуализации ее изменений. Функциональная схема данного модуля представлена на рисунке 3.

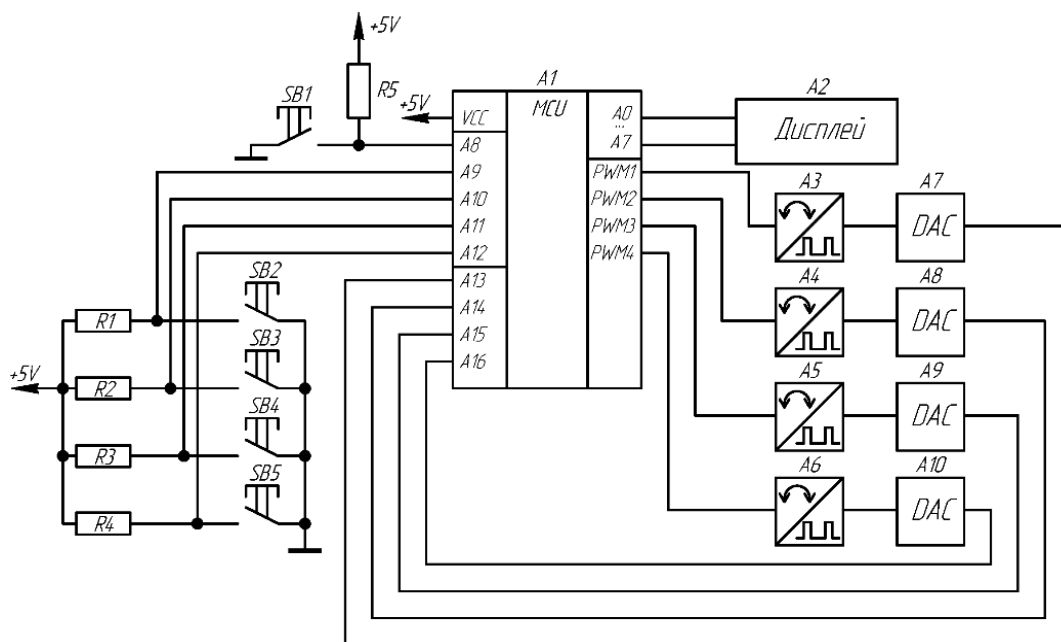


Рисунок 3 – Функциональная схема модуля «Электрические сигналы»

Включение модуля A4 осуществляется при помощи кнопки SB1. Микроконтроллер A7 отвечает за обработку информации, полученной от датчиков и её вывод. Для отображения информации с датчика углекислого газа A3, терморезистора A4, гироскопа A5, и датчика расстояния A6 используется дисплей A9. Для отображения информации с фототранзистора A1 и фоторезистора A2 используется светодиодная линейка A8. Функциональная схема модуля «Датчики» представлена на рисунке 4.

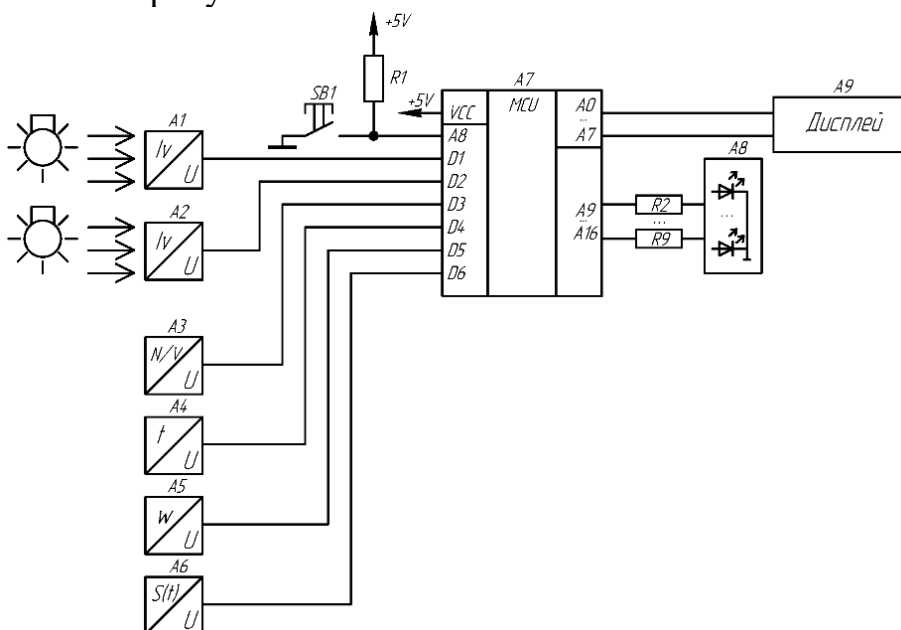


Рисунок 4 – Функциональная схема модуля «Датчики»

Модуль «Двигатели» включает в себя 3 типа двигателей: шаговый $M1$, постоянный $M2$ и серводвигатель $M3$. Включение модуля осуществляется при помощи кнопки $SB1$, выбор двигателя для изучения осуществляется при помощи кнопок $SB2-SB4$. Переменные резисторы $RP1-RP3$ служат для изменения параметров двигателей (скорости вращения для постоянного, скорости вращения и угла поворота для шагового и угла поворота для серводвигателя). Микроконтроллер $A1$ генерирует ШИМ-сигнал и обрабатывает данные с датчиков. Управление шаговым и постоянным двигателями осуществляется при помощи драйверов $A2-A3$. Для считывания характеристик двигателей используются датчики вращения $A5-A6$ и акселерометр $A7$. Информация о параметрах выбранного для изучения двигателя отображается на дисплее $A4$. Функциональная схема модуля представлена на рисунке 5.

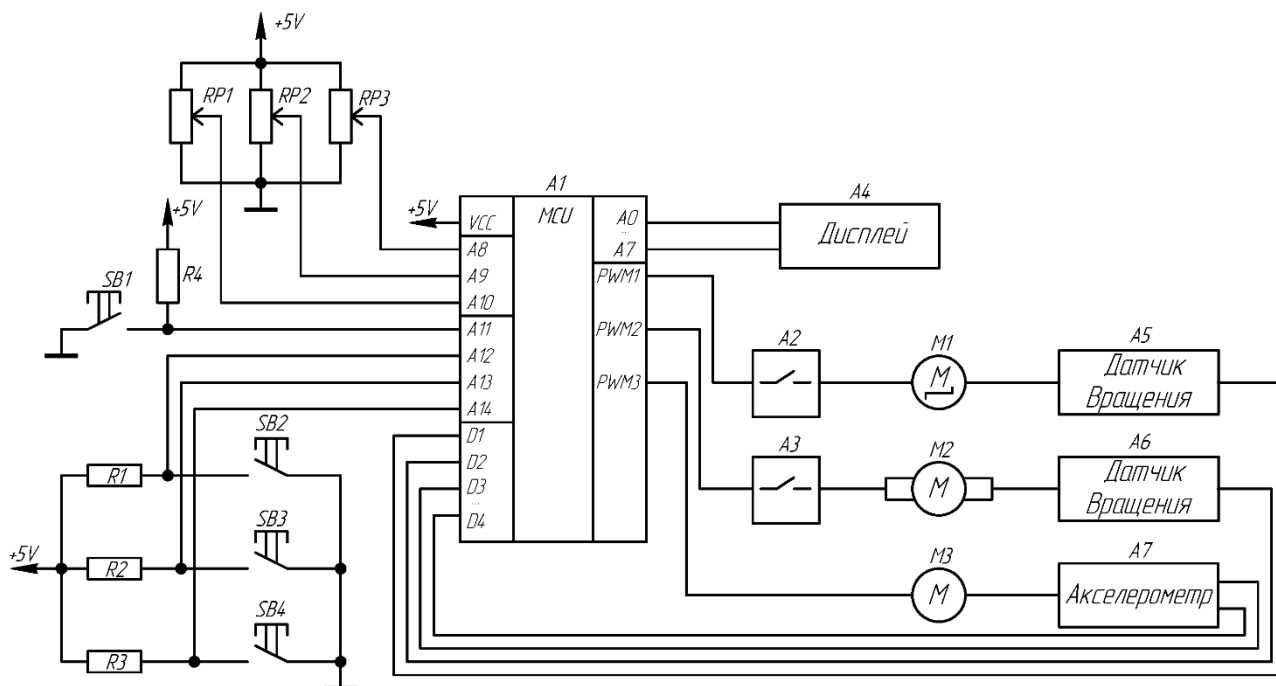


Рисунок 5 – Функциональная схема модуля «Двигатели»

Принцип работы модуля $A6$ «Фильтры» основан на пропускании звукового сигнала через электрические фильтры, полосы задерживания и пропускания которых соответствуют границам звукового спектра. Входной звуковой сигнал подается через динамик $BA1$. Для обработки сигнала используется операционный усилитель $A1$. В качестве ключей для фильтров используются биполярные транзисторы $VT1-VT7$. Светодиоды $VD1-VD7$ служат для визуальной индикации работы фильтров. Функциональная схема модуля «Фильтры» представлена на рисунке 6.

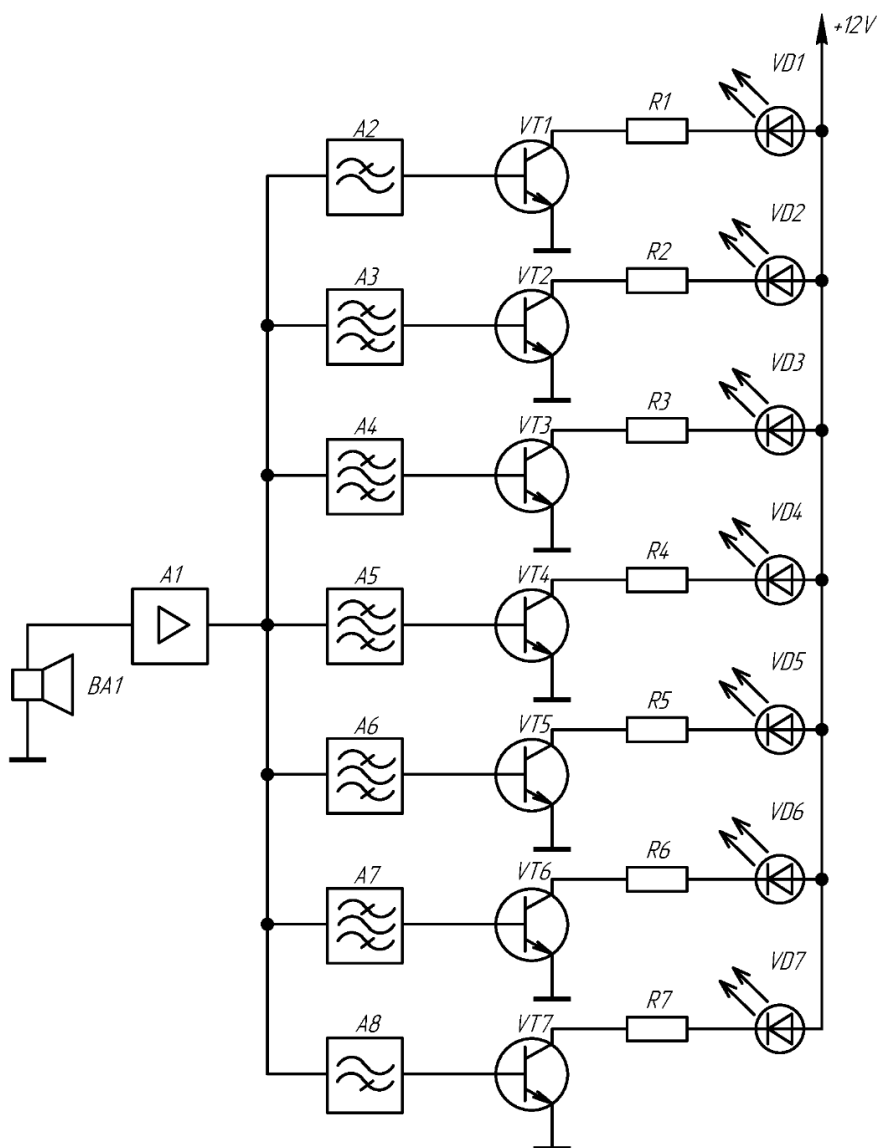


Рисунок 6 – Функциональная схема модуля «Фильтры»

Таким образом, была выполнена разработка функциональных схем модулей учебного стенда «Введение в электронику». Данные схемы помогут при дальнейшей разработке принципиальной схемы стенда и создании его тестового образца.

Литература

1. М.С. Ковалева, асс.; Е.А. Макарова, студ. РАЗРАБОТКА СТЕНДА «ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ» // ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2024 (математическое моделирование и информационные технологии в производстве и строительстве, микроэлектроника и оптотехника). Сб трудов XIV-ой Межд. науч.-техн. конф. В 3 т. Т 2. – 2024. – 196-198 с.
2. М.С. Ковалева, асс.; Е.А. Макарова, студ. МОДУЛЬ «СТАНДАРТНЫЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ» // ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА (микроэлектроника и оптотехника, технологии и оборудование в промышленности, экономика и менеджмент, научные исследования в области физической культуры, спорта, общественных наук и лингвистики). Сб трудов XXII -ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 2 т. Т 2. – 2025. – 134-139 с.

ОБЗОР И СОЗДАНИЕ БЛОКА ПИТАНИЯ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ЛАБОРАТОРИИ

В эпоху быстрого развития технологий и увеличения доступности электронных компонентов, создание домашней лаборатории становится все более популярным хобби.

Основная сложность при организации домашней лаборатории заключается в обеспечении стабильного и безопасного питания, без которого дальнейшие эксперименты могут быть ограничены или небезопасны.

Бесспорно, можно пойти в магазин и купить подходящий лабораторный блок питания, но это действие может оказаться довольно затратным, при этом, за выделенную сумму характеристик покупного блока питания может не хватить, поэтому было принято решение собрать недорогой блок питания, который будет удовлетворять необходимые потребности домашней лаборатории: мощность 145 Вт , возможность регулировки выходного тока от 0 А до 5 А и напряжения от $0,5 \text{ В}$ до 29 В . Дисплей будет показывать выходные параметры.

За основу была взята схема из интернета (рис.1) на основе биполярного транзистора *MJE13009* и стабилизатора напряжения *LM317* [1].

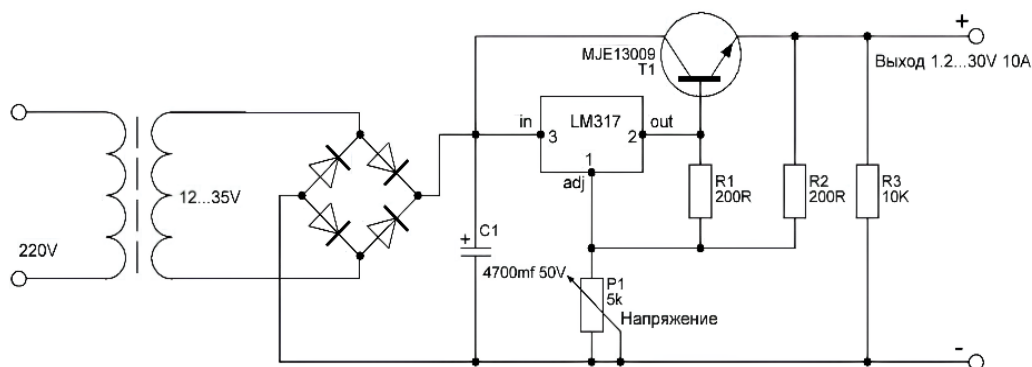


Рисунок 9 – Схема блока питания для домашней лаборатории взятая из интернета

Этот блок питания предоставляет возможность регулировать и настраивать выходные напряжение и ток. Однако параметры блока питания, взятого из интернета, не отвечали требованиям решаемой задачи. Для удобства настройки выходных параметров был добавлен дисплей, регулирование напряжения в режимах «грубо» и «точно», дополнительная розетка с регулированием выходного переменного напряжения. Поэтому схема требовала доработки, используя при этом дешевые компоненты, которые легко приобрести.

С учетом доработок, получается следующая схема блока питания (рисунок 2).

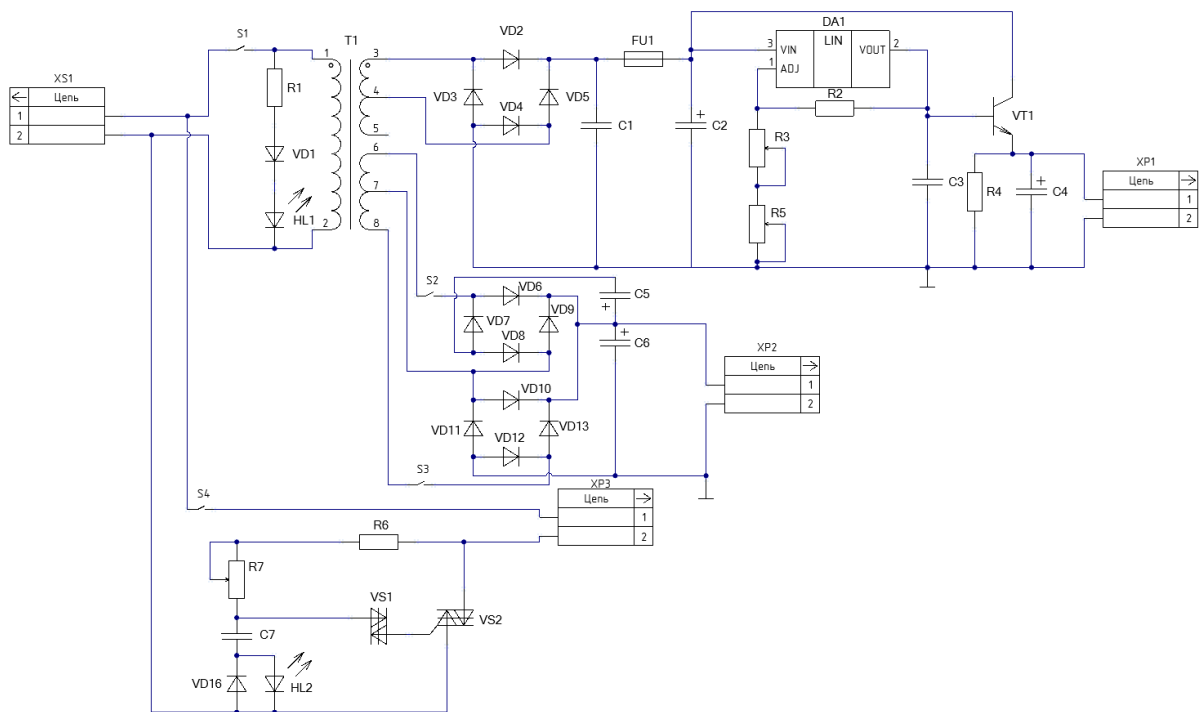


Рисунок 10 – Схема блока питания для домашней лаборатории после доработки

Разработанный блок питания для домашней лаборатории имеет следующие характеристики:

- блок питания обеспечивает грубую и точную регулировку выходного напряжения от 0 до 29 В, что позволяет питать различные устройства, включая приемники и другие совместимые устройства,

- максимальный ток нагрузки составляет 5 А. Однако, данный блок питания можно модернизировать, добавив второй транзистор параллельно первому или выбрав транзистор с большим допустимым током, тем самым увеличить максимальный ток нагрузки. Это обеспечивает возможность работы с более высокими нагрузками,

- блок питания обеспечивает примерно 145 Вт мощности, учитывая возможность модернизации предел может расширяться до 300 Вт. Этого достаточно для большинства задач домашней лаборатории, что делает его подходящим как для небольших проектов, так и для более требовательных задач,

- одним из преимуществ этого БП является простота подбора компонентов. Для всех используемых компонентов легко найти аналоги со схожими характеристиками, что обеспечивает глубокую модернизацию и упрощает обслуживание,

- в функционал блока питания входит розетка, позволяющая изменять выходное переменное напряжение при помощи потенциометра R7,

- экономичность – нельзя не отметить, что себестоимость компонентов блока питания при сборке составит примерно 1000 р, при этом основные затраты приходятся на трансформатор, в то время как аналоги на рынке могут стоить 5000 ÷ 6000 р,

Разработанный блок питания состоит из следующих компонентов:

- шесть различных резисторов, R3 – потенциометр, который служит для точной регулировки напряжения, R5 – потенциометр, который служит для грубой регулировки напряжения, R1, R2, R4, R6 выполняют роль гасящих резисторов;

- TP1 – Трансформатор на $\sim 30 В$;

- S1-S4 тумблеры;

- C1 – керамический конденсатор, выполняющий роль сглаживания высокочастотных помех, C2, C4, C5, C6 – электролитические для сглаживания пульсаций, C3, C7 – керамические для сглаживания высокочастотных помех;

- VT1 – транзистор, который отвечает за регулирование выходного напряжения, за счет смещения тока на базе;

- VD1 – диод служащий для выпрямления сигнала;

- VD2-5, VD6-9, VD10-13, диодные мосты;

- FU1 – предохранитель, рассчитанный на 5 А;

- VS1 – динистор, который выступает в качестве ключа;

- VS2 – симистор, в данной схеме служит для регулировки выходного напряжения, вместе с потенциометром R7;

- HL1, HL2 – светодиоды, указывающие на поступление питания в устройство.

При использовании перечисленных компонентов получается одноканальный блок питания, для подключения устройства. А также розеткой, в которой регулируется напряжение от 100 В до 220 В. Данный блок можно легко модернизировать, добавив второй канал для подключения устройства.

Разработанный и собранный лабораторный блок питания способен обеспечивать различные уровни напряжения, что позволяет использовать его для широкого спектра электронных устройств. Кроме того, он оснащен защитой от перегрузки и короткого замыкания, благодаря предохранителю, что обеспечивает безопасность его использования.

Литература

1 Создание блока питания с регулировкой напряжения и тока на lm317t для автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ac-ch.ru/zapchasti-i-aksessuari/blok-pitaniya-na-lm317t-s-regulirovkoynapryazheniya-i-toka.php?utm_medium=organic&utm_source=yasmartcamera (Дата обращения: 29.09.2025).

2 Кашкаров А. П., Импульсные источники питания: схемотехника и ремонт. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 184 с

3 Рогов И.Е. Конструирование источников питания звуковых усилителей. – М.: Инфра-Инженерия, 2011. – 160 с.

*С.С. Котова, студ., В.В. Аверкиев, студ., В.А. Смолин, к.т.н., доцент
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СОЛАРОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОДЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ-ОБСКУРЫ

Соларография – это уникальное направление в фотографии, находящееся на стыке искусства и науки. Она заключается в получении изображений траектории Солнца (солнечных треков) с помощью камеры-обскуры с экстремально длительной выдержкой от нескольких дней до нескольких месяцев. Данная

техника является современным развитием одного из древнейших оптических принципов.

Камера-обскура является простейшим оптическим устройством, принцип работы которого основан на прямолинейном распространении света (рисунок 1). Её работа демонстрирует фундаментальный закон формирования изображения: световые лучи, проходя сквозь малое отверстие в светонепроницаемом корпусе, создают на противоположной стенке (экране) перевёрнутое изображение внешнего объекта.

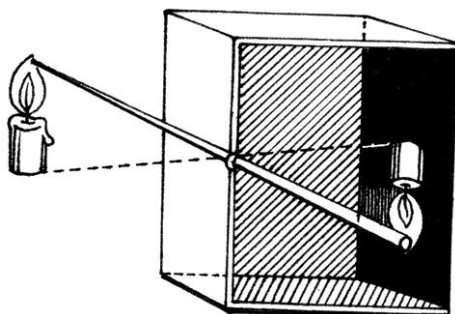


Рисунок 1 – Схема работы камеры-обскуры

Основой для проведения эксперимента послужила самодельная камера-обскура, изготовленная из доступных материалов. Корпус камеры был выполнен из стандартной жестяной банки объемом 0,33 литра, внутренняя поверхность которой для поглощения паразитных отражений была покрыта матовой черной краской. Формирование изображения обеспечивалось апертурой, малым отверстием диаметром приблизительно 0,3 мм, которое было пробито в стенке банки с помощью инсулиновой иглы, что гарантировало точный размер и чистоту краев. В качестве светочувствительного материала внутри камеры, напротив апертуры, была закреплена черно-белая фотобумага.

Все манипуляции с бумагой проводились в условиях красного слабого искусственного света в избежание засвета фотобумаги. Для обеспечения полной герметичности, крышка банки после закрепления в нее фотобумаги была тщательно заклеена армированным скотчем, в местах соединения и апертура снаружи дополнительно обклеены черной изолентой (рисунок 2).



Рисунок 2 – Внешний вид самодельной камеры-обскуры

Методика экспонирования заключалась в жестком закреплении подготовленной камеры на неподвижной вертикальной поверхности, ориентированной апертурой в южном направлении, что обеспечивало оптимальный охват траектории движения Солнца. Угол наклона камеры был выбран эмпирически. Экспозиция была начата [15.05.2024] и непрерывно продолжалась в течение 92 суток, завершившись [15.08.2024]. Период долгой экспозиции был выбран не случайно, цель была получить как можно больше треков Солнца, летний сезон преобладает ясной солнечной погодой с минимальными пасмурными днями.

После завершения указанного срока камера была аккуратно снята и вскрыта в затемненном красном помещении. Фотобумага с зафиксированным изображением была извлечена для последующей оцифровки. Поскольку в классической соларографии полученное изображение часто является прямым позитивом, не требующим химического проявления. Итоговый результат был оцифрован с использованием цифровой камеры высокого разрешения. Исходный снимок получился в эффекте негатива (рис. 3). Для улучшения качества изображения и устранения возможного низкого контраста оно было дополнительно обработано в графическом редакторе с помощью стандартных инструментов коррекции уровней и кривых. При этом исходная информация о треках солнца не была искажена.



Рисунок 3 – Полученный кадр в негативе переведенный в позитив

Полученные результаты полностью соответствуют теоретическим ожиданиям. Наклон земной оси и движение Земли по орбите вокруг Солнца являются причиной наблюдаемых сезонных изменений в траекториях. Проведенный эксперимент доказал, что метод соларографии является высокоэффективным и доступным инструментом для наглядного изучения астрономических явлений (рисунок 4).

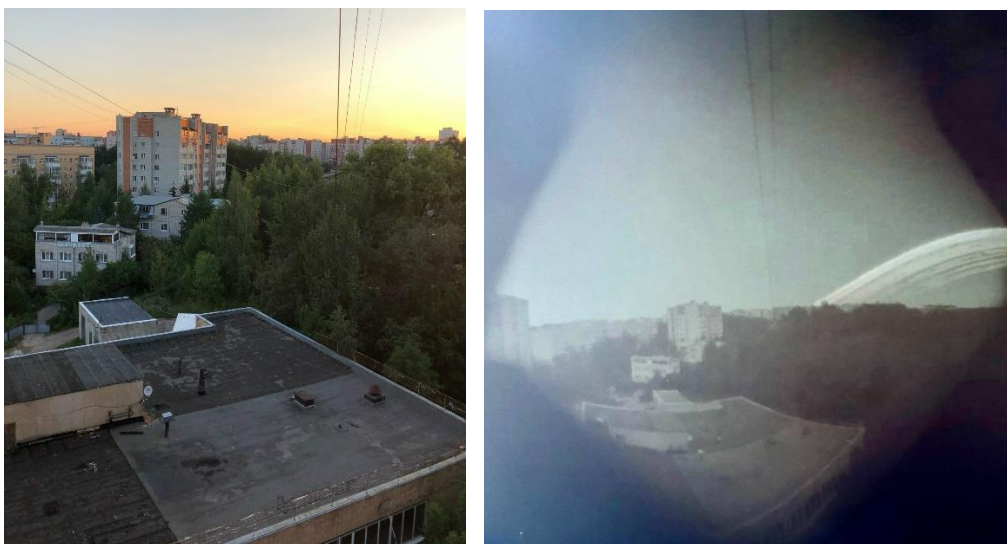


Рисунок 4 – Полученный кадр

С помощью самодельной камеры-обскуры удалось зафиксировать и визуализировать сезонную динамику движения Солнца по небесной сфере за трехмесячный период.

Литература

1. Колесник, Т. (2020). Соларография: документирование траекторий Солнца с помощью длительной пинхол-фотографии. Журнал науки и искусства.
2. Иванов, А.С. (2019). Использование самодельных камер-обскур для изучения сезонной динамики солнечной активности. Вестник молодого ученого.

*С.С. Котова, студ., В.А. Смолин, к.т.н., доцент
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ШУМОВ ЦИФРОВОЙ ФОТОКАМЕРЫ

Повышение точности данных, получаемых с помощью цифровой фотоаппаратуры, актуально для задач машинного зрения, промышленной автоматизации и научных измерений. Одним из основных факторов, ограничивающих качество изображения, являются шумы матрицы, особенно проявляющиеся в условиях низкой освещенности и при высоких значениях ISO . В работе предложена методика экспериментального исследования шумовых характеристик матрицы, позволяющая количественно оценить уровень шума и визуализировать его пространственное распределение.

Для получения экспериментальных данных был разработан и собран стенд [1]. Все измерения выполнялись в условиях темного помещения с целью исключения влияния сторонних источников света.

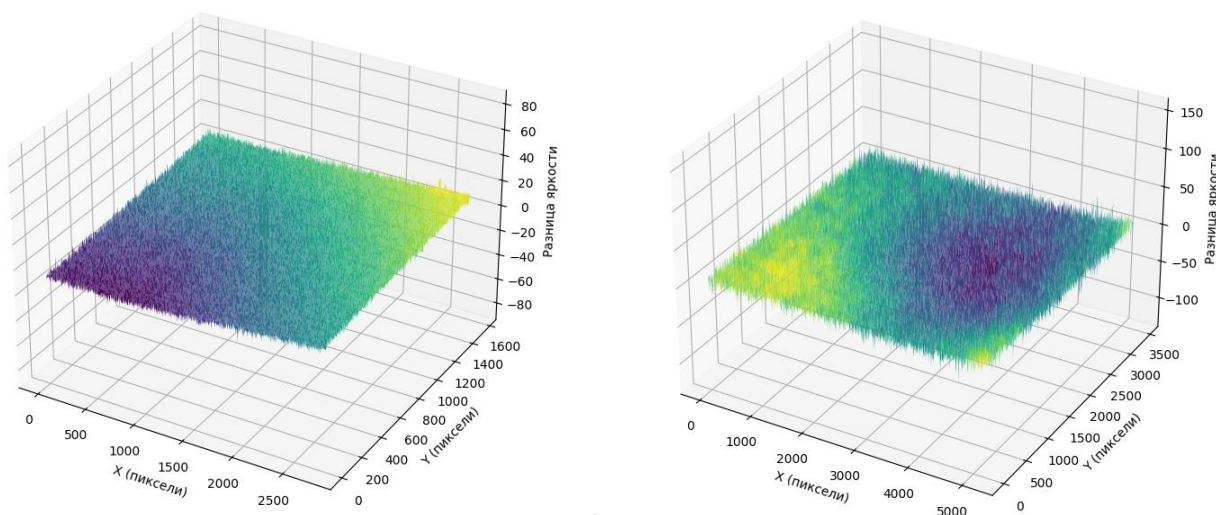
Процедура проведения съемки включала строгую последовательность операций [2]. Камера переводилась в полностью ручной режим (M) с фиксированным значением диафрагмы ($f/16$). Фокусировка на мишени выполнялась вручную с последующей блокировкой. Под каждое значение ISO , подстраивались значения выдержки и яркость источника света регулировалась для достижения нулевой экспозиции по встроенному экспонометру. Для каждого набора пара-

метров делалось по 100 снимков для последующего усреднения и статистического анализа.

Таблица 1 – Набор параметров съемки для *Canon EOS 2000D*

№	ISO	Диафрагма	Выдержка	Яркость
1.	100	<i>f16</i>	1/5	100%
2.	400	<i>f16</i>	1/20	100%
3.	800	<i>f16</i>	1/50	100%
4.	1600	<i>f16</i>	1/60	85%
5.	3200	<i>f16</i>	1/60	75%
6.	6400	<i>f16</i>	1/60	45%

Анализ 3D-графиков (рисунок 1) распределения яркости и гистограмм подтвердил рост уровня шума с увеличением параметра *ISO* для всех исследованных камер. Наиболее выраженная разница наблюдалась между полнокадровой камерой *Sony A7S* и камерами *Canon* с матрицами формата *APS-C*.



а) б)
Рисунок 1 – 3D график яркости а) *Sony A7S ISO-6400* б) *Canon 600D ISO-6400*

Наименьший уровень шума продемонстрировала полнокадровая камера *Sony A7S*, график имеет наиболее гладкую поверхность с минимальными отклонениями. Даже при высоких значениях *ISO* (например, 6400) амплитуда отклонений и хаотичность структуры были значительно меньше, чем у камер *Canon* при *ISO* 1600-3200. Это прямо связано с большим физическим размером пикселя (8,4 мкм против 3,72 мкм у *Canon 2000D* и 4,3 мкм у *Canon 600D*), что обеспечивает лучшее соотношение сигнал/шум (*SNR*).

Камеры *Canon 2000D* и *600D* показали схожий характер нарастания шума, однако модель *2000D* (24,1 Мп) продемонстрировала довольно высокий уровень шума на средних и высоких *ISO* по сравнению с *600D* (18 Мп). Например, при *ISO* 3200 стандартное отклонение сигнала для камеры *2000D* составило **18,5 усл. ед.**, в то время как для модели *600D* – **14,2 усл. ед.**, что объясняется меньшим размером пикселя. Для обеих камер были критичны теневые области кадра, которое появлялись при *ISO* 800.

Важным результатом работы стало построение карты неоднородности матрицы (рисунок 2). Методом разбиения кадра на участки 16×16 пикселей и расчета среднего значения шума в каждом из них. Была получена модель, визуализирующая пространственное распределение шума по полю кадра. Для камер *Sony A7S* модель показала высокую однородность. У камер *Canon 2000D* и *600D* были выявлены области с устойчиво повышенным уровнем шума, что указывает на наличие фиксированного паттерн-шума (*FPN*) и технологическую неоднородность сенсора.

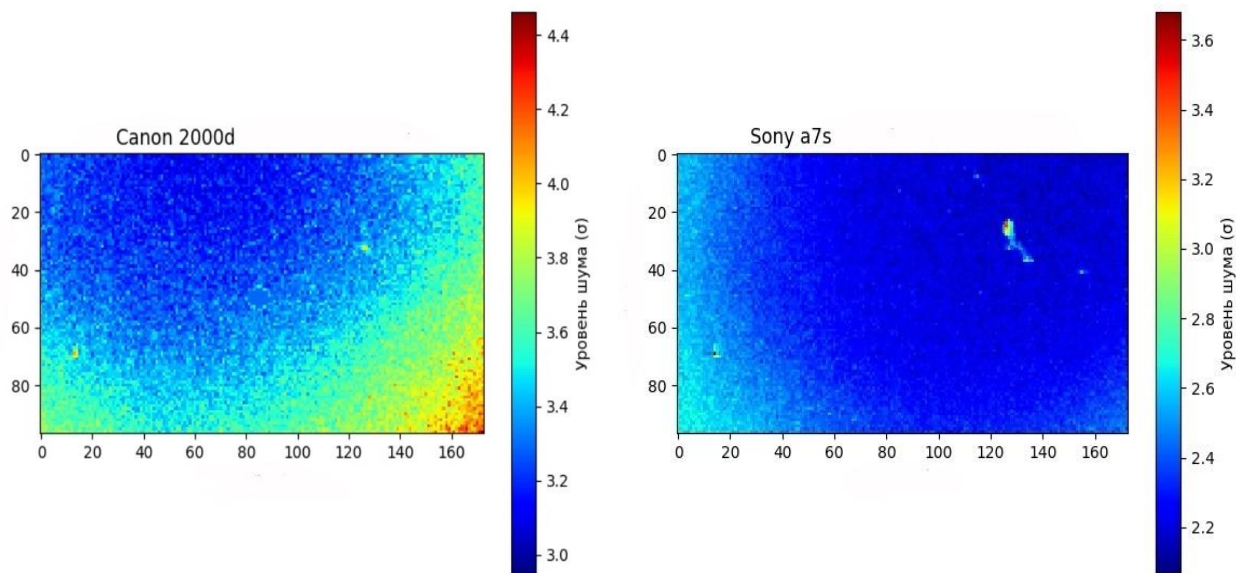


Рисунок 2 – Модель неоднородности матриц

Практическая значимость результатов заключается в создании основы для разработки пространственно-адаптивных алгоритмов шумоподавления на базе построенной модели неоднородности матрицы. Это позволит применять к различным участкам изображения, получаемого с конкретной камеры, индивидуальные параметры фильтрации, что повысит общее качество итоговых данных.

Перспективы работы включают анализ шумов по цветовым каналам, исследование теплового шума при длительной экспозиции, а также создание программного модуля для автоматизированной обработки данных. Проведенное исследование представляет собой лишь первоначальный этап в комплексном изучении шумовых характеристик цифровых фотокамер.

Важно отметить, что работа имеет ряд методологических ограничений, которые должны быть учтены при интерпретации результатов и планировании дальнейших исследований. Существенным ограничением являлось использование различных объективов для каждой тестируемой камеры, что не позволяет полностью исключить влияние оптических характеристик на результаты измерений шумов матрицы.

Литература

3. С.С. Котова, студ.; рук В.А. Смолин, доцент. Разработка стенда для измерения шумов цифровой фотокамеры //XIV Международной научно-технической конференции «ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ - 2024» - Сборник трудов, 13-14 ноября 2024 года, Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске-Смоленск: Универсум – 2024 - том2. - С. 228-231

4. С.С. Котова, студ.; рук В.А. Смолин, доцент. Методика измерения шумов матрицы цифровой фотокамеры // XXI Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА» - Сборник трудов, 24 – 25 апреля 2024 года, Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске-Смоленск: Универсум – 2024 - том2. - С. 166-168

*С.С. Котова, студ., В.А. Смолин, к.т.н., доцент
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОПТИКО-ЛАЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ 3D- КОНТРОЛЯ И КОРРЕКЦИИ ОБЪЕКТА

В современных условиях развития высокотехнологичных отраслей промышленности, таких как микроэлектроника, резко возросли требования к качеству и точности изготовления миниатюрных деталей. Ключевым параметром качества является микрорельеф поверхности, наличие на котором даже незначительных дефектов (заусенцев, наплывов, микротрещин) может привести к выходу из строя всего узла или устройства.

Традиционные технологические цепочки контроля и постобработки разделены во времени и пространстве: сначала деталь измеряется на координатно-измерительной машине или оптическом микроскопе, затем, подвергается механической или ручной доводке. Этот процесс характеризуется высокой трудоемкостью, зависимостью от человеческого фактора и, что наиболее критично, возникновением погрешностей, снижающих общую точность.

В связи с этим, создание интегрированных автоматизированных систем, объединяющих функции высокоточного контроля и прецизионной обработки в едином цикле, является актуальной научно-технической задачей. Подобные комплексы позволяют реализовать принцип «измерил-обработал» на одном базисе, что гарантирует высокую точность и значительное сокращение времени производства.

Необходимо разработать архитектуру обеспечивающего высокоточное 3D-сканирование поверхности с последующей лазерной коррекцией выявленных дефектов (рисунок 1).

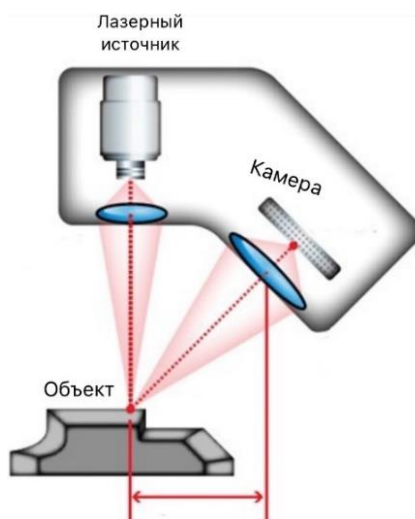


Рисунок 1 – Схематический вид опτικο-лазерного сканера

Принцип действия комплекса является замкнутым технологическим циклом, заключающийся в 3д контроле и коррекции.

В производстве встречаются разнообразные дефекты, которые можно условно разделить на несколько основных категорий. Наиболее распространены являются геометрические отклонения, такие как заусенцы и грат (рисунок 2), возникающие при механической обработке кромок, наплывы материала при литье или аддитивных технологиях, а также локальные вмятины и впадины. Поверхностные дефекты включают в себя царапины, микротрещины, поры, раковины и неоднородную шероховатость, часто являющиеся следствием неправильных режимов обработки или свойств исходного материала.



Рисунок 2 – Дефект заусенцы и обработанная деталь

Для построения объекта в трехмерном пространстве используется метод лазерной триангуляции. Тонкая линия («лазерный ножик»), формируемая малоточным лазерным модулем (длина волны 450-650 нм), проецируется на поверхность объекта. Высокоскоростная CMOS-камера, ось которой не фиксирована и может располагаться под углом от 20° до 45° к плоскости лазерного луча, фиксирует искривление этой линии (рисунок 3). По геометрии смещения точек линии с помощью специализированного программного обеспечения производится расчёт трёхмерных координат поверхности объекта.

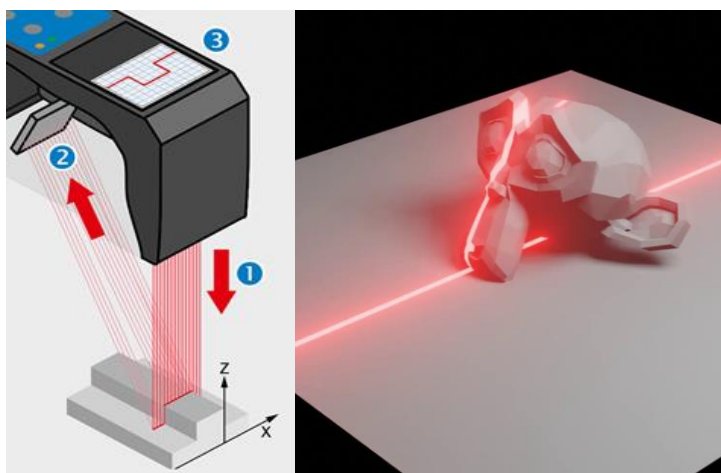


Рисунок 3 – Лазерный луч

Для бесконтактного удаления дефектов с максимальной точностью применяется метод лазерной абляции, где в качестве инструмента используется импульсный УФ-лазер. Ключевым параметром, определяющим точность, является длина волны излучения – 355 нм (ультрафиолетовый диапазон). Эта короткая длина волны позволяет фокусировать лазерный луч в исключительно малое пятно, диаметром в несколько микрометров. При выборе лазера для таких задач необходимо обратить внимание на несколько критериев, чтобы минимизировать зону термического влияния и обеспечить чистоту обработки.

Длина волны УФ-излучения (355 нм) обладает высокой фотонной энергией и поглощает тонкий поверхностный слой большинства материалов (полимеры, металлы, керамика) лучше, чем инфракрасные или видимые. Это предотвращает глубокий прогрев и обеспечивает точное, локализованное воздействие.

Длительность импульса для достижения эффекта «холодной» абляции необходимы короткие (наносекунды) импульсы. Энергия такого импульса передается материалу так быстро, что она не успевает рассеяться в виде тепла в окружающие области. Вместо этого материал мгновенно испаряется, что и приводит к мизерному термическому влиянию. Энергия и частота повторения импульсов должна быть точно откалибрована, чтобы ее хватило для испарения материала, но не возникло побочных эффектов, таких как плавление или образование нагара. Частота импульсов влияет на производительность: высокая частота позволяет быстрее сканировать поверхность, но требует точного управления и может потребовать более мощного лазера.

Литература

1. Жуков В. П. Лазерная триангуляция в задачах контроля формы и деформаций поверхностей / В. П. Жуков, А. Г. Власов // Оптический журнал. – 2018. – Т. 85, № 4. – С. 65–72.
2. Фотов В. В. Гальванометрические сканаторы в лазерных технологиях / В. В. Фотов, С. М. Першин // Компоненты и технологии. – 2019. – № 11. – С. 88–93.

*В.В. Малышкин, ст. преп.; С.А. Бехтер, студент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЕМЯН ОВСА МЕТОДОМ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ

Работа посвящена анализу автокорреляционной функции (АКФ) люминесценции семян овса с целью установления устойчивых зависимостей в их световых свойствах. Дополнительной задачей выступает оценка влияния ряда факторов на люминесцентный отклик. Востребованность таких исследований связана с перспективой применения люминесцентной диагностики в качестве быстрого и неразрушающего метода контроля качества семян растений

Спектры фотолюминесценции регистрировали в соответствии с методикой, изложенной в литературе [1]. Их последующую математическую обработку проводили с использованием программного обеспечения *Microcal Origin* версии 7.

На подготовительной стадии обработки осуществляли перевод шкалы измерений: длинам волн ставили в соответствие энергию фотонов по формуле $E = 1240/\lambda$. После пересчета исходную кривую спектра сглаживали и нормировали до единицы. Перед проведением обратного преобразования Фурье спектр подвергали интерполяции по следующему алгоритму:

1. Исходные данные, отражающие зависимость интенсивности от энергии, интерполировали на равномерную сетку, содержащую 256 точек. Для подавления краевых эффектов интенсивность на границах интервала принудительно обнуляли.

2. С целью увеличения разрешения полученную кривую повторно интерполировали, на этот раз на сетку из 1024 точек.

После выполнения операции интерполяции необходимо выполнить переход к шкале условной частоты, для чего из полученного спектра по оси абсцисс вычтем начальное значение энергии.

Обратное преобразование Фурье выполнялось с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ) в обратном направлении (поскольку исходными данными являлся частотный спектр). Перед расчетом была отключена опция автоматического развертывания фазы (Unwrap Phase).

В результате преобразования была получена автокорреляционная функция (АКФ) сигнала во временной области. Для последующего анализа из результирующего набора данных были исключены все точки с отрицательным набором времени. Вещественная часть АКФ была нормирована, после чего для нее была установлена базовая линия на уровне 0,05 [2].

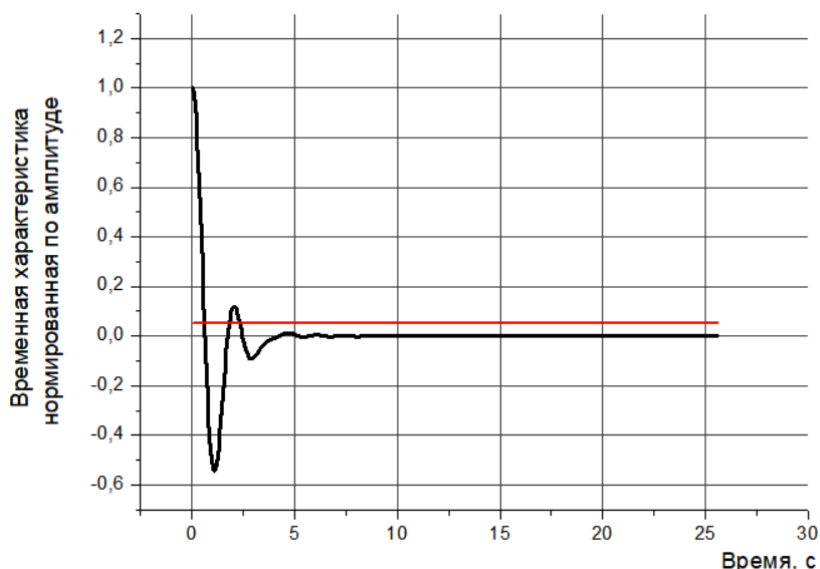


Рисунок 1 – Временная зависимость сигнала фотолюминесценции овса

На рисунке 1 представлена вещественная часть автокорреляционной функции, огибающей спектра люминесценции, отображенная в декартовой системе координат. На рисунке 2 показана векторная диаграмма данной АКФ в полярных координатах. Анализ диаграммы выявляет следующую динамику: радиус-

вектор, модуль которого соответствует значению АКФ, вращается против часовой стрелки. При этом с увеличением полярного угла φ его длина $R(\varphi)$ монотонно уменьшается. Траектория конца радиус-вектора формирует сужающуюся спиралевидную кривую.

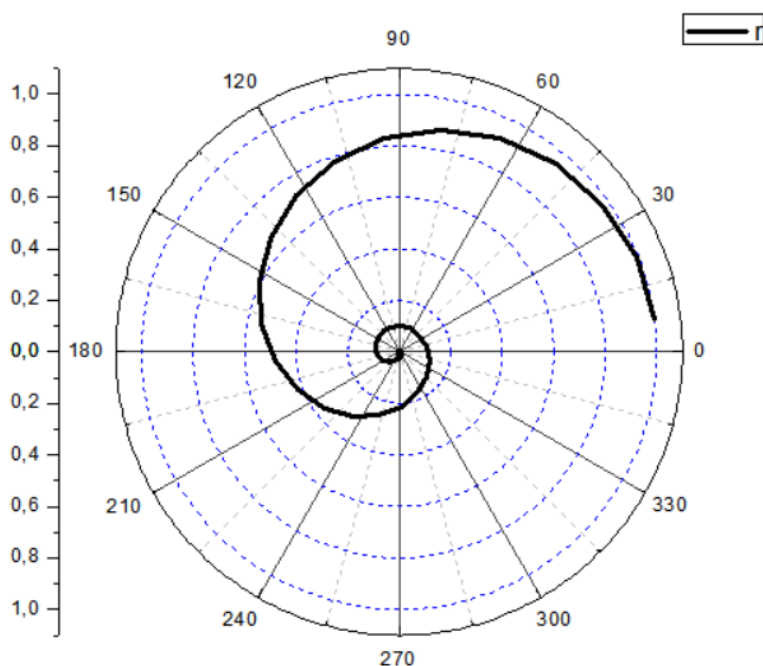


Рисунок 2 – Векторная диаграмма сигнала фотолюминесценции ячменя в полярных координатах

Важно отметить, что реальное физическое время t составляет $t \cdot 4.1 \cdot 10^{-15}$ секунд, что переводит наблюдаемые процессы в фемтосекундный диапазон.

Из анализа рисунка 1 можно сделать следующие выводы:

1. Практически весь процесс затухания люминесценции завершается в течение ~ 100 фемтосекунд (25 условных единиц на графике). Начальный, наиболее интенсивный спад происходит еще быстрее – за первые ~ 5 фемтосекунд. Это указывает на чрезвычайно высокую скорость релаксации возбужденных состояний в молекулах семян.

2. Тот факт, что основная энергия свечения выделяется в столько короткий временной интервал, является прямым экспериментальным подтверждением импульсной природы фотолюминесценции семян. Это согласуется с данными автокорреляционного анализа, представленным в работе.

3. Форма кривой затухания не является простой экспонентой, что свидетельствует о наличии нескольких конкурирующих процессов релаксации с разными временами жизни. Такая сложная динамика характерна для неоднородных биологических систем.

Из анализа рисунка 2 можно сделать следующие выводы:

1. Наблюдается ярко выраженное спиралевидное затухание радиус-вектора. Затухание происходит примерно за 1,5 – 2 оборота, что свидетельствует о быстротечном характере процесса.

2. Наиболее интенсивное затухание происходит в первом полуобороте ($0^\circ - 180^\circ$). После 180° амплитуда колебаний существенно уменьшается.

3. Спиралевидная форма диаграммы указывает на наличие колебательного компонента в процессе релаксации. Быстрое затухание соответствует короткому времени жизни возбужденных состояний. Форма траектории свидетельствует о сложном характере электрон-фононного взаимодействия.

4. Диаграмма демонстрирует более выраженное затухание по сравнению с классическими гармоническими системами. Отсутствие равномерных витков спирали указывает на нелинейность процессов релаксации.

Основное преимущество полярного представления автокорреляционной функции заключается в ее исключительной чувствительности к незначительным вариациям формы спектральных огибающих. Это позволяет надежно дифференцировать визуально сходные спектральные кривые.

Проведенный комплекс исследований наглядно демонстрирует эффективность использования Фурье-анализа и автокорреляционного подхода для изучения быстропротекающих процессов в люминесценции растительных объектов, в частности семян овса. Установлено, что форма АКФ в полярных координатах служит высокочувствительным индикатором спектральных характеристик, а ее спиралевидная структура с резким затуханием подтверждает импульсную природу испускания люминесценции. Полученные результаты углубляют понимание быстропротекающих фотофизических явлений в биологических системах и создают предпосылки для разработки неразрушающих технологий экспресс-анализа качества и физиологического состояния семян.

Литература

1. Беляков М. В. Методика исследования люминесцентных свойств семян растений на спектрофлуориметре «Флюорат02-Панорама» // Научная жизнь. – 2016. – № 3. – С. 18–26.
2. Богданов А.А. Визуализация данных в Microcal Origin. - Альтекс-А, 2003.

*И.И. Мелешко, студ.; А.Н. Суханов, студ.; Д.С. Рассказа, ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ В МЕДИЦИНСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Современные светодиодные технологии находят всё более широкое применение в медицинском оборудовании: от хирургических светильников и эндоскопических систем до установок фототерапии и диагностических приборов. Высокая яркость, компактность, долговечность и возможность точной настройки спектральных характеристик делают мощные светодиоды незаменимыми в условиях, где критически важны стабильность освещения, безопасность и надёжность работы. Однако вместе с ростом мощности возрастает и тепловыделение, что ставит перед разработчиками задачу эффективного теплового управления [1].

Основной проблемой, ограничивающей эффективность и надёжность мощных светодиодов в медицинских устройствах, является значительное тепловыделе-

ние в процессе их работы. При преобразовании электрической энергии в световую до 70–85 % потребляемой мощности рассеивается в виде тепла, что приводит к нагреву р-п-перехода. Превышение допустимой температуры (85–100 °С) вызывает необратимую деградацию кристалла, снижение светового потока, смещение цветовой температуры и резкое сокращение срока службы [1]. В медицинской сфере такие отклонения недопустимы, даже незначительные колебания параметров освещения могут повлиять на точность диагностики или хода хирургической процедуры. Поэтому выбор оптимальной системы охлаждения становится ключевым фактором при проектировании светодиодных модулей для медицинского применения [2].

В связи с этим выбор эффективной системы охлаждения становится ключевой задачей при проектировании светодиодных модулей для медицинского оборудования. Целью является сравнительный анализ существующих систем теплового управления с учётом специфики медицинской эксплуатации: бесшумности, отсутствия вибраций, гигиеничности, стабильности световых характеристик и соответствия нормативным требованиям к медицинским изделиям [3].

Тепловыделение в светодиодах происходит вследствие неидеальности преобразования электрической энергии в световую. При мощности светодиодов от 3 до 100 Вт и более эффективный теплоотвод становится критически важным. Системы охлаждения предназначены для отвода тепла от р-п-перехода к окружающей среде, поддерживая температуру кристалла в допустимых пределах (не выше 85-100°С). Основным параметром, характеризующим эффективность теплоотвода, является тепловое сопротивление системы «переход-окружающая среда» [1].

Существует три типа систем охлаждения для мощного светодиода: пассивный, активный и гибридный.

К пассивным системам охлаждения относятся Радиаторы и тепловые трубки:

Алюминиевые и медные радиаторы – наиболее распространённый способ отвода тепла. Их эффективность зависит от площади поверхности, формы и материала.

Радиаторы более распространённый способ отвода тепла. Алюминиевые радиаторы обладают хорошей теплопроводностью (200 Вт/м·К) и низкой стоимостью. Медные – дороже, но эффективнее (400 Вт/м·К) [2].

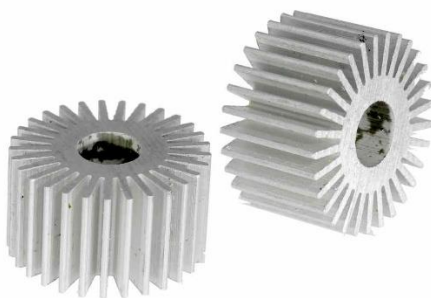


Рисунок 1 – Внешний вид радиатора

Тепловые трубки используют фазовый переход жидкости для переноса тепла. Их тепловое сопротивление может быть ниже $0.1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Особенно эффективны в компактных конструкциях, где невозможно установить массивный радиатор [1].



Рисунок 2 – Внешний вид тепловых трубок для светодиода.

К активным системам охлаждения относятся вентиляторы, элемент Пельтье и жидкостное охлаждение:

Принудительное воздушное охлаждение увеличивает теплоотдачу до 2-5 раз по сравнению с естественной конвекцией. Однако вентиляторы подвержены загрязнению, создают шум и требуют регулярного обслуживания [2].



Рисунок 3 – Внешний вид вентилятора

Элементы Пельтье создают температурный градиент за счёт эффекта Зеебека. КПД таких систем низкий (5-10%), но они позволяют точно контролировать температуру. Требуют дополнительного отвода тепла с горячей стороны [1].



Рисунок 4 – Внешний вид элемента Пельтье.

Наиболее эффективный способ отвода тепла. Используются насосы, теплообменники и радиаторы. Теплоёмкость воды ($4.18 \text{ кДж}/\text{кг}\cdot\text{К}$) позволяет стабилизировать температуру даже при высокой плотности тепловыделения [1].

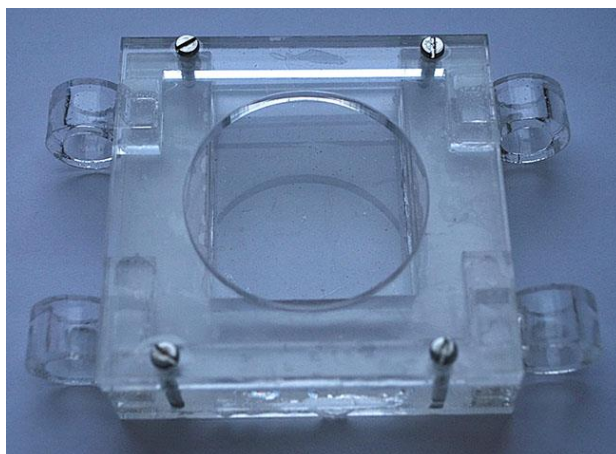


Рисунок 5 – Внешний жидкостного охлаждения

Таблица 1 – Сравнительный анализ систем охлаждения

Система охлаждения	Эффективность	Стоимость	Надёжность	Тепловое сопротивление	Пригодность в медицине
Радиаторы	Средняя	Низкая	Высокая	1.5–5 °C/Вт	Средняя
Тепловые трубки	Высокая	Средняя	Высокая	0.1–0.5 °C/Вт	Высокая
Вентиляторы	Средняя	Средняя	Средняя	0.5–2 °C/Вт	Низкая
Элементы Пельтье	Низкая	Высокая	Средняя	2–10 °C/Вт	Низкая
Жидкостное охлаждение	Очень высокая	Очень высокая	Средняя	<0.1 °C/Вт	Высокая

Для оценки систем охлаждения использовалась формула теплового сопротивления:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{P},$$

где, T_1 - температура p-n перехода T_2 -температура окружающей среды, а P- мощность тепловыделения.

Сравнивая различные типы систем охлаждения, можно сделать вывод, что тепловые трубки и жидкостное охлаждение демонстрируют наибольшую эффективность благодаря способности быстро и равномерно отводить тепло от мощных светодиодов при минимальном тепловом сопротивлении. Эти технологии особенно востребованы в медицинском, где критически важны стабильность светового потока, точность цветопередачи, бесшумность и надёжность работы [2].

В то же время традиционные алюминиевые радиаторы, несмотря на простоту конструкции и низкую стоимость, ограничены в эффективности из-за зависимости от естественной конвекции и габаритов, а вентиляторы неприемлемы в большинстве медицинских сред из-за шума, вибраций и риска загрязнения [2]. Элементы Пельтье, хотя и обеспечивают точный температурный контроль, обладают низким КПД и требуют дополнительного теплоотвода, что усложняет

их интеграцию в компактные и энергоэффективные медицинские устройства [1].

Таким образом, выбор системы охлаждения для мощных светодиодов в медицинском оборудовании должен основываться на комплексной оценке требований к температурной стабильности, надёжности, гигиеничности, уровню шума и соответствию нормативным стандартам, предъявляемым к медицинским изделиям [1]. Сбалансированными решениями выступают пассивные высокопроизводительные системы: тепловые трубки, а при высоких тепловых нагрузках - замкнутые жидкостные контуры.

Литература

1. Козлов В.А. Теплоотвод в светодиодных системах. – М.: Техносфера, 2021. – 256 с.
2. Иванов С.П. Промышленные светодиоды: конструкция и термоменеджмент. – СПб.: Питер, 2020. – 192 с.
3. ГОСТ Р ИСО 13485–2017. Изделия медицинские. Системы менеджмента качества. Требования для регулирующих целей. – Введ. 2018-07-01. – М.: Стандартиформ, 2017. – 48 с.

*С.А. Образцов, к.т.н., доцент.; И.В. Туматов, студ.,
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА УСТРОЙСТВА ПРОЕКЦИИ ИНФОРМАЦИИ БОРТОВОГО КОМПЬЮТЕРА НА ЛОБОВОЕ СТЕКЛО АВТОМОБИЛЯ

В современном мире, когда технологии стремительно развиваются и проникают во все сферы жизни, автомобиль перестаёт быть просто средством передвижения – он становится умным, безопасным и комфортным пространством, адаптированным под потребности водителя и пассажиров. Производители автомобилей и разработчики автомобильных систем всё чаще обращаются к инновациям, которые позволяют не только улучшить комфорт и функциональность транспортного средства, но и повысить уровень концентрации и внимания водителя на дороге. Одной из таких технологий является система проекции на лобовое стекло, или, как её чаще называют, Head-Up Display (HUD). Эта технология, изначально разработанная для авиации, сегодня активно внедряется в автомобильную промышленность, открывая новые горизонты для взаимодействия человека и машины.

Однако внедрение подобных решений не ограничивается новыми автомобилями. Благодаря развитию стандартов и унификации автомобильной электроники, такие технологии становятся доступны и для владельцев более старых моделей. Например, использование сервисного разъёма OBD-2 и подключения к CAN-шине позволяет создавать универсальные решения, которые могут быть установлены без глубокой модификации штатной электроники. Это делает возможным оснащение автомобилей дополнительными функциями, такими как проекция информации на лобовое стекло, даже если они не были предусмотрены заводом-изготовителем.

В данной статье будет разработана структурная схема прототипа

устройства проекции на лобовое стекло автомобиля, которое будет использовать CAN-шину для получения данных о состоянии автомобиля и подключаться к стандартному разъёму OBD-2. Такой подход обеспечивает высокую степень совместимости с различными моделями автомобилей, упрощает установку и позволяет минимизировать вмешательство в штатные системы. Это делает устройство не только технически грамотным, но и практичным решением для дооснащения транспортных средств, позволяя водителям получать важную информацию о скорости, оборотах двигателя, уровне топлива, температуре охлаждающей жидкости в удобной и безопасной форме – прямо в поле зрения.

Выбор компонентной базы для разрабатываемого устройства проекции на лобовое стекло (HUD) играет ключевую роль в обеспечении надёжности, функциональности и экономической целесообразности проекта.

Микроконтроллер ATmega328P-AU – это компактное и экономичное решение, которое обеспечивает достаточную вычислительную мощность для обработки данных, управления дисплеем и взаимодействия с CAN-шиной. Его низкая стоимость, широкая доступность и поддержка экосистемы Arduino делают его отличным выбором для проектов, где важны простота разработки и энергоэффективность.

CAN-контроллер с SPI интерфейсом MCP2515 – обеспечивает логический уровень CAN-протокола и позволяет микроконтроллеру обмениваться данными с CAN-шиной автомобиля. MCP2515 совместим с Arduino и другими популярными платформами, имеет встроенный SPI-интерфейс, что упрощает программирование и интеграцию.

CAN-трансивер TJA1050T – это популярная и надёжная микросхема, обеспечивающая физический уровень связи по CAN-протоколу. Совместим с большинством контроллеров CAN-шины, включая MCP2515, и поддерживает стандартные скорости CAN-шин (до 1 Мбит/с). Имеет минимальное количество внешних компонентов, необходимых для работы, упрощает схемотехнику и снижает стоимость.

Семисегментный индикатор GNQ-3641AS-21 – используется в качестве источника света для проекции информации на лобовое стекло. Он обладает высокой яркостью, компактными размерами. Простота управления и доступность позволяют эффективно реализовать отображение ключевых параметров в виде чисел и символов.

Понижающий преобразователь AMS1117-5.0 – обеспечивает стабилизацию напряжения питания для всех компонентов устройства. Он преобразует напряжение бортовой сети автомобиля (до 15В) в стабильное 5 В, необходимое для работы микроконтроллера и других цифровых модулей. Надёжность, компактность и низкая стоимость делают его оптимальным выбором.

В качестве органа управления устройством используется тактовая кнопка. Она позволяет водителю активировать или переключать режимы отображения информации на HUD, например, включать/выключать проекцию, переключать отображаемые параметры или регулировать яркость.

Особенностью данного устройства является возможность его повторения с использованием готовых модулей, что значительно упрощает сборку и отладку. Например, вместо отдельного микроконтроллера можно использовать популярный модуль Arduino Nano, в котором уже встроены необходимые элементы, такие как чип ATmega328P, кварц и стабилизатор напряжения. Это позволяет сократить время разработки и снизить требования к знаниям в области радиоэлектроники у начинающих разработчиков.

Также для реализации CAN-интерфейса можно использовать готовый модуль CAN Bus MCP2515, который включает в себя CAN-контроллер MCP2515 и CAN-трансивер TJA1050T. Такой модуль обеспечивает простой и надёжный способ подключения к CAN-шине автомобиля и совместим с Arduino и другими платформами. Это делает проект более доступным для повторения и позволяет быстро прототипировать устройство.

На основе выбранной компонентной базы была разработана структурная схема устройства, отражающая логическую организацию подсистем и взаимодействие между компонентами (рисунок 1).

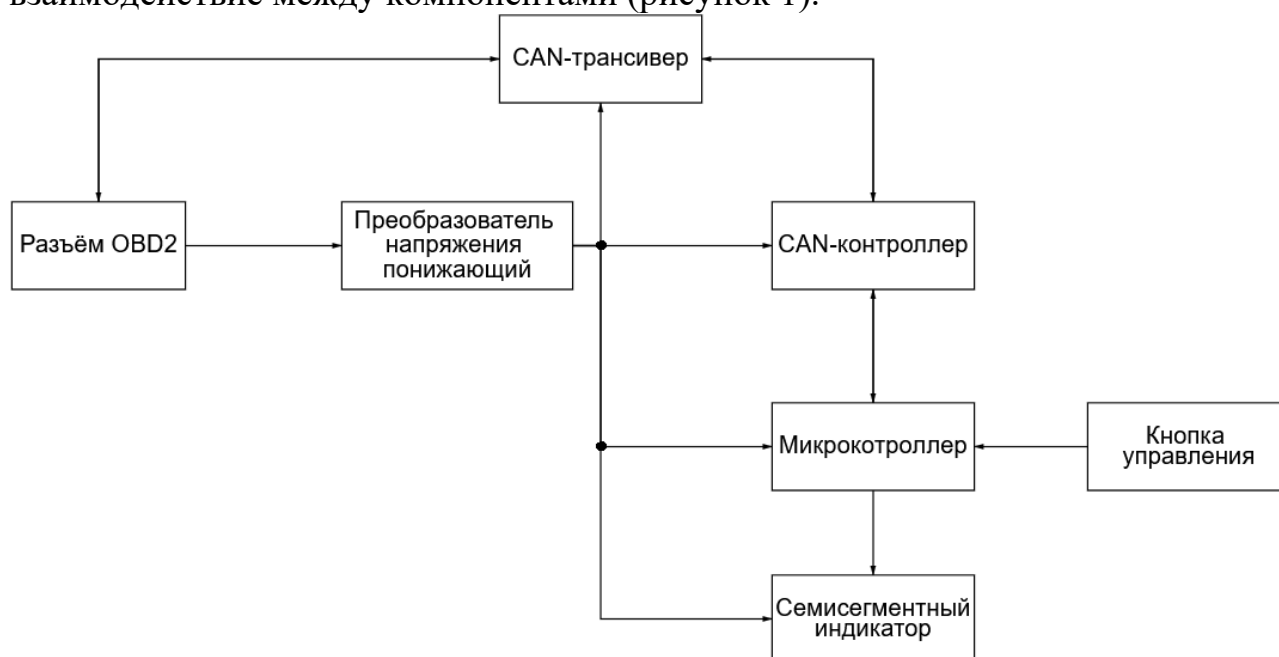


Рисунок 1 – Структурная схема устройства проекции на лобовое стекло автомобиля

В случае реализации устройства на готовых модулях, структурная схема будет иметь следующий вид (рисунок 2):

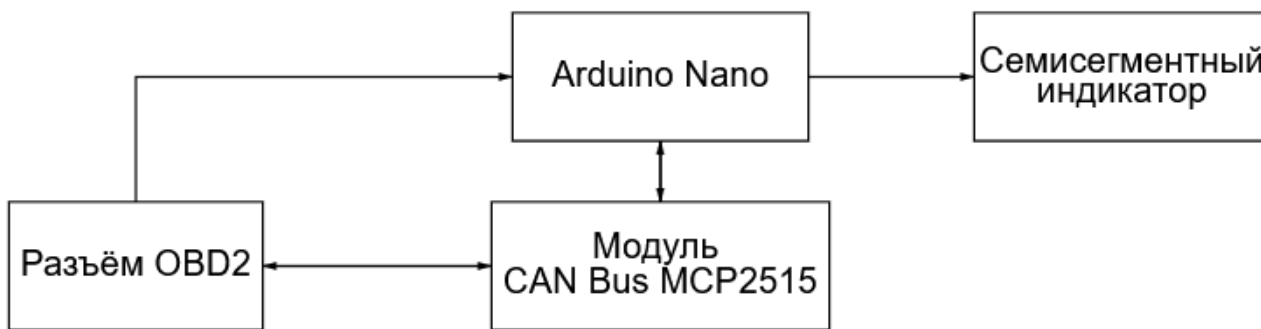


Рисунок 2 – Структурная схема устройства проекции на лобовое стекло автомобиля на готовых модулях

Выбранные компоненты обеспечивают надёжную, экономичную и технологически обоснованную реализацию устройства проекции, которое может быть установлено как на новые, так и на более старые модели автомобилей. Благодаря использованию готовых модулей, проект становится доступным для повторения даже начинающими разработчиками, что открывает широкие возможности для самостоятельной реализации и модернизации автомобильных систем.

Литература

1. НАВР // Электрон. Текстовые дан. 2019. [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/articles/479672/>
2. Плата Arduino Nano: схема, описание, подключение устройств // Электрон. Текстовые дан. 2024 [Электронный ресурс] URL: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-nano/>

*Ю.С. Петрова, студ.; М.А. Амелина, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПОРТАТИВНЫЙ КАЛИБРАТОР-ПОВЕРИТЕЛЬ ТОКОВОЙ ПЕТЛИ СРЕДСТВ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

В автоматизированных системах управления технологическими процессами и контрольно-измерительных приборах промышленной автоматизации одним из наиболее распространённых стандартов передачи информации является токовая петля 4-20 мА (или 0-20 мА). Основным преимуществом данного интерфейса является высокая помехозащищённость, чем обусловлена его применимость для передачи аналоговых сигналов от датчиков давления, температуры, уровня и других параметров технологического процесса к средствам промышленной автоматизации и приборам регистрации [1].

При монтаже нового оборудования, плановом техническом обслуживании или же при поиске неисправностей необходимо выполнение диагностики токовой петли. Для решения данной задачи, как правило, используются дорогостоящие профессиональные поверительные комплексы, которые зачастую нерентабельны в приобретении малыми и средними предприятиями ввиду высокой стоимости. С другой стороны, простейшие средства проверки токовой петли (например, мультиметры) не предоставляют возможности для генерации эталонных сигналов для имитации работы датчика, чем и

обусловлена актуальность проектирования доступного и функционального портативного устройства для решения обозначенных задач.

Целью настоящего исследования является разработка портативного калибратора-поверителя токовой петли 4-20 мА (или 0-20 мА), который совмещает в себе функции генератора эталонного тока и прецизионного измерителя тока в петле. Актуальность разработки заключается в проектировании универсального, доступного по стоимости и простого в использовании прибора для решения повседневных задач специалистов при проверке работоспособности контрольно-измерительных приборов.

Для обеспечения полноценной комплексной проверки токовой петли предлагаемое устройство должно обеспечивать работоспособность как в режиме генератора тока, так и в режиме измерителя тока. В микропроцессорной технике для формирования заданного выходного тока, как правило, используется схема источника тока, управляемого напряжением (ИТУН), на вход которого подается напряжение с выхода ЦАП (внешнего или встроенного в микроконтроллер), линейно связанное с требуемым выходным током [2]. Задача линейного преобразования напряжения в ток в аналоговой схемотехнике решается на основе биполярного транзистора и операционного усилителя, охваченных отрицательной обратной связью по току (рисунок 1). В данной конфигурации входное управляющее воздействие подается на неинвертирующий вход операционного усилителя.

Принцип работы данной схемы заключается в действии отрицательной обратной связи, при которой операционный усилитель стремится поддерживать одинаковое напряжение на своих входах. Следовательно, падение напряжения на резисторе $R2$, создаваемое протекающим через него током эмиттера, постоянно сравнивается с управляющим напряжением. Любая девиация (вызванная, например, изменением сопротивления нагрузки или температуры) компенсируется путем изменения напряжения на базе транзистора таким образом, чтобы при протекании тока эмиттера через резистор $R2$ падение напряжения на нем соответствовало управляющему напряжению. Поскольку ток коллектора транзистора практически равен току эмиттера, то ток через резистор $R2$ является выходным током схемы.

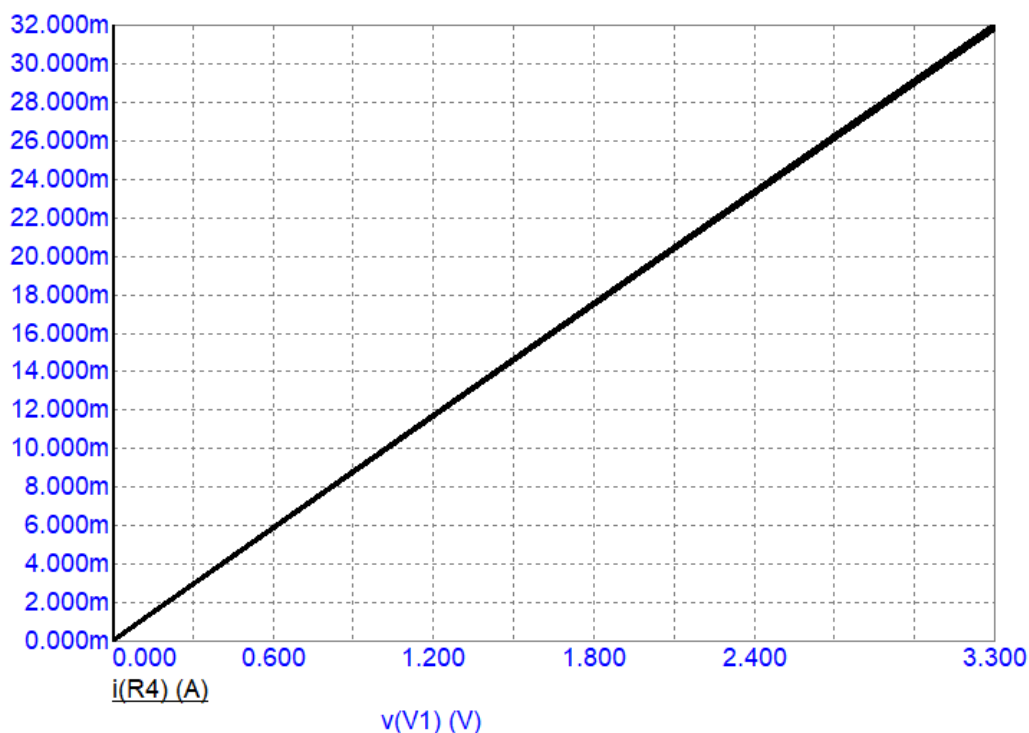


Рисунок 2 – Семейство выходных характеристик ИТУН при изменении питающего напряжения силового каскада

При проверке датчика величина тока в петле устанавливается внешним поверяемым устройством. При этом для выполнения данной проверки достаточно переключить цепь питания $V7$ на вход датчика тока (коллектор $Q3$) с применением аналогового переключателя. Предлагаемое техническое решение при этом можно представить в виде структурной схемы устройства (рисунок 3). Каскад формирования и измерения параметров токовой петли управляется микроконтроллером семейства *STM32* [3], имеющего в своем составе встроенный ЦАП (формирование входного напряжения ИТУН) и АЦП (оцифровка выходного напряжения датчика тока). Для работы с устройством предлагается использование кнопок управления и индикатора *OLED*. Аналоговые переключатели необходимы для переключения источника питающего напряжения каскада, а также для переключения устройства между режимами «Генератор/Измеритель».

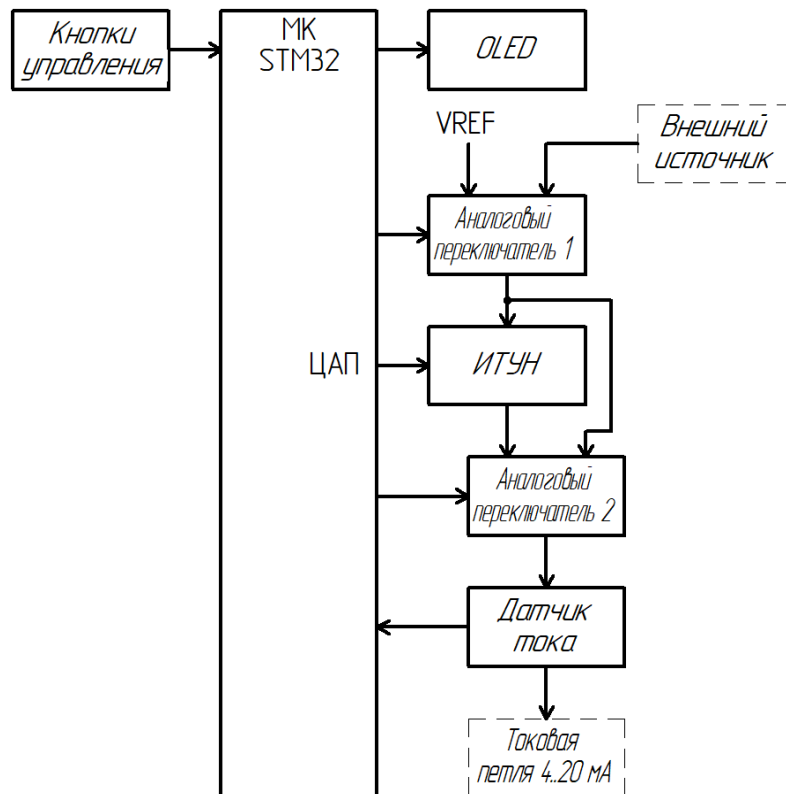


Рисунок 3 – Структурная схема портативного калибратора-поверителя токовой петли

Основное назначение предлагаемого портативного калибратора-поверителя токовой петли заключается в диагностике токовой петли средств промышленной автоматизации на малых и средних предприятиях, для которых приобретение дорогостоящего оборудования нерентабельно. Предлагаемое техническое решение является доступным по стоимости и простым в использовании прибором для решения повседневных задач специалистов при проверке работоспособности контрольно-измерительных приборов.

Литература

1. Применение промышленных контроллеров при автоматизации технологических процессов и производств: методические указания / составители М. В. Овечкин [и др.]. – Оренбург: ОГУ, 2025. – 45 с.
2. Пирхавка, А. П. Устройства генерирования и формирования сигналов: методические указания / А. П. Пирхавка, А. А. Судаков, И. М. Шаров. – Москва: РТУ МИРЭА, 2021. – 73 с.
3. Иоффе, В. Г. Архитектура, принципы функционирования и программные средства микроконтроллеров STM32: учебное пособие / В. Г. Иоффе, А. В. Графкин, В. В. Графкин. – Самара: Самарский университет, 2021. – 490 с.

ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ГЕНЕРАТОР-ФОРМИРОВАТЕЛЬ ТЕСТОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ НАЛАДКИ АСУ ТП

Основу для повышения эффективности и безопасности производства современных промышленных предприятий составляют автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) [1]. В основе функционирования данных систем лежит интеграция датчиков, исполнительных механизмов и контроллеров с необходимым программным обеспечением для управления сложными производственными циклами (рисунок 1). При вводе АСУ ТП в эксплуатацию или при её техническом обслуживании необходима проверка корректности работы основных компонентов системы, например, каналов ввода данных.

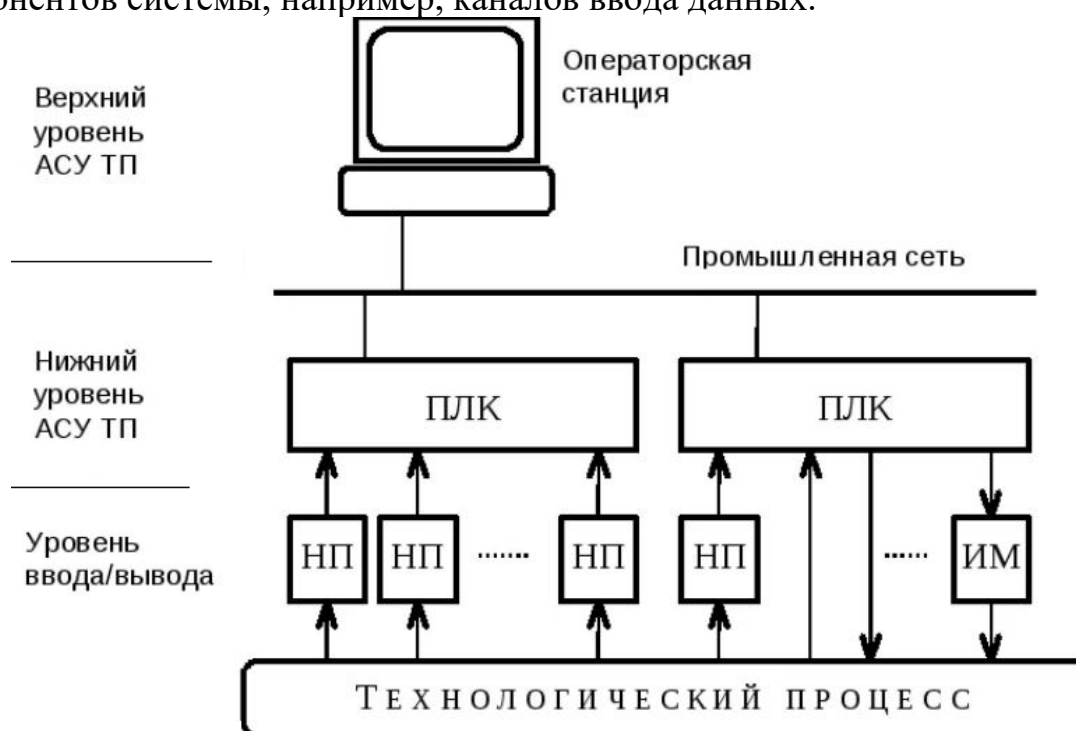


Рисунок 1 – Основные уровни АСУ ТП

Особую сложность задача наладки представляет для малых предприятий и торговых организаций неспециализированной продукции, поскольку для них приобретение дорогостоящего оборудования для входного контроля средств промышленной автоматизации (например, программируемые логические контроллеры, индикаторы токовой петли, измерители-регуляторы) является экономически нецелесообразным. В связи с этим актуальной проблемой является отсутствие доступных по цене компактных устройств, предназначенных для генерации стандартных тестовых сигналов (аналоговое напряжение и ток) для проверки дискретных и аналоговых входов средства промышленной автоматизации. Необходимость такого устройства обусловлена потребностью оперативного диагностирования неисправностей датчиков и

линий связи без использования сложных измерительных комплексов.

Существующие на рынке электронных устройств генераторы сигналов, как правило, обладают избыточным функционалом для решения задачи простой наладки средств промышленной автоматизации, что обуславливает их высокую стоимость и сложность освоения. Более доступные технические решения часто ограничены по типу выходных сигналов (только напряжение или только ток) и не имеют возможностей для программного управления и автоматизации тестовых сценариев, что снижает эффективность наладки.

Целью настоящего исследования является обозначение основных концепций проектирования программируемого генератора-формирователя тестовых сигналов, ориентированного на решение задач наладки АСУ ТП на малых предприятиях. Актуальность разработки заключается в создании недорогого, многофункционального и простого в использовании устройства, которое позволяет генерировать ключевые типы сигналов для проверки средств промышленной автоматизации.

Основные функциональные требования к предлагаемому техническому решению, востребованные в настоящее время:

1) формирование двух независимых аналоговых сигналов с программируемыми параметрами: напряжение в диапазоне 0-10 В и ток в диапазоне 4-20 мА [2]. Данные диапазоны являются промышленным стандартом для подключения датчиков к аналоговым входам средств промышленной автоматизации, что позволяет использовать устройство для проверки. Программируемость параметров генерируемых сигналов заключается в возможности установки формы сигнала (постоянный уровень, периодическая последовательность прямоугольных видеопульсов, синусоидальный, пилообразный и т.д.), амплитуды, частоты, коэффициента заполнения импульсов;

2) возможность дистанционного управления и настройки параметров сигнала, например, с использованием веб-интерфейса. Преимущество данного подхода заключается в том, что ответственный за входной контроль представитель рабочего персонала будет проводить наладку оборудования с использованием смартфона, планшета или ноутбука без необходимости прямого физического доступа к самому генератору (нажатия на кнопки управления, контроль параметров на индикаторе).

В соответствии с функциональными требованиями был разработан программируемый генератор-формирователь тестовых сигналов для наладки АСУ ТП, показанный в виде структурной схемы устройства (рисунок 2).

Достижение обозначенных функциональных требований возможно при использовании в основе устройства микроконтроллера из семейства микросхем *STM32*, обладающего достаточной производительностью и набором необходимых периферийных узлов (ЦАП и таймеры для генерации сигналов с заданными характеристиками и согласно требуемому сценарию) [3]. При этом для микроконтроллеров данного семейства предусмотрена библиотека программного обеспечения *LWIP*, позволяющая при использовании внешнего

драйвера физического уровня организовать высокоскоростную передачу данных по сети *Ethernet*. Предлагаемое техническое решение при этом будет представлять *WEB*-сервер, при подключении к которому клиенту передается *HTML*-страница с основными параметрами работы генератора и формируемых сигналов. Функционал сервера будет сохраняться и при подключении устройств по беспроводному интерфейсу при использовании, например, *Wi-Fi* роутера, преобразующего проводной интерфейс *Ethernet* в беспроводной.

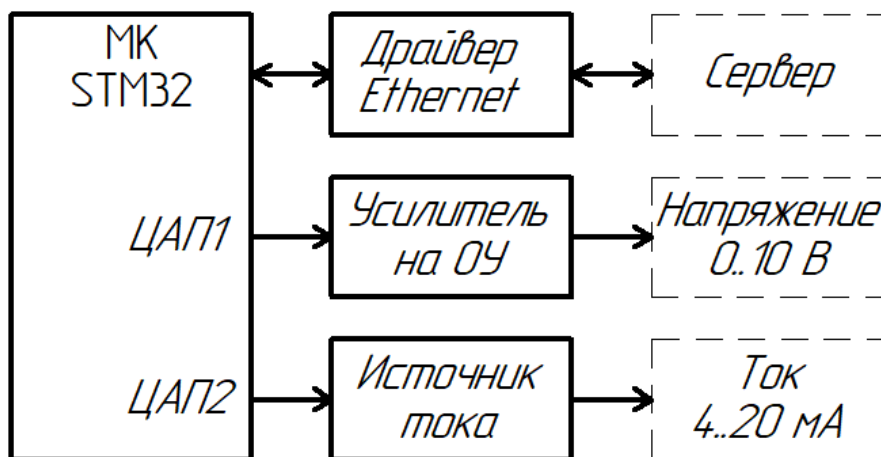


Рисунок 2 – Структурная схема предлагаемого технического решения

Для формирования выходных аналоговых сигналов в требуемых диапазонах предлагается использование встроенных в микроконтроллер ЦАП с использованием промежуточных преобразователей: усилитель на операционном усилителе (ОУ) в неинвертирующей схеме включения для формирования выходного напряжения в диапазоне от 0 до 10 В и источник тока, управляемый напряжением, для формирования токовой петли в диапазоне от 4 до 20 мА.

Основное назначение предлагаемого программируемого генератора-формирователя тестовых сигналов заключается в решении задачи наладки и входного контроля средств промышленной автоматизации на малых предприятиях и торговых организациях неспециализированной продукции, для которых приобретение дорогостоящего оборудования является экономически нецелесообразным. Предлагаемое техническое решение является недорогим, многофункциональным и простым в использовании устройством, позволяющим генерировать ключевые типы сигналов для проверки средств промышленной автоматизации.

Литература

1. Применение промышленных контроллеров при автоматизации технологических процессов и производств: методические указания / составители М. В. Овечкин [и др.]. – Оренбург: ОГУ, 2025. – 45 с.
2. Пирхавка, А. П. Устройства генерирования и формирования сигналов: методические указания / А. П. Пирхавка, А. А. Судаков, И. М. Шаров. – Москва: РТУ МИРЭА, 2021. – 73 с.
3. Иоффе, В. Г. Архитектура, принципы функционирования и программные средства микроконтроллеров STM32: учебное пособие / В. Г. Иоффе, А. В. Графкин, В. В. Графкин. – Самара: Самарский университет, 2021. – 490 с.

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Одними из наиболее востребованных источников энергии для широкого спектра устройств (от портативной электроники и систем бесперебойного питания до электромобилей и возобновляемой энергетики) являются литий-ионные и свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (АКБ). Важной характеристикой батареи является её остаточный ресурс, который определяет оставшееся количество рабочих циклов заряда-разряда (иными словами, эксплуатационный срок до достижения критического снижения емкости, после которого использование источника питания невозможно) [1]. Раннее прогнозирование остаточного ресурса необходимо для предотвращения внезапных отказов, оптимизации планового технического обслуживания и обеспечения безопасности эксплуатации.

Традиционные методы оценки состояния аккумулятора, такие как контроль напряжения под нагрузкой или кулонометрический подсчет (учет отданного и полученного заряда), часто оказываются недостаточно эффективными. Данные методы позволяют оценить текущее состояние заряда, но практически не отражают глубинные процессы деградации элементов АКБ, такие как старение электродов, потеря активной массы и рост внутреннего сопротивления [2]. Более перспективным является метод импедансной спектроскопии, который заключается в воздействии на батарею переменным напряжением малой амплитуды (порядка 10–50 мВ) в широком диапазоне частот – от 0,1 Гц до 10 кГц. Измеряя отклик батареи в виде комплексного электрического импеданса (сопротивления) на каждой частоте, можно построить импедансный спектр, как правило, называемый диаграммой Найквиста (рисунок 1).

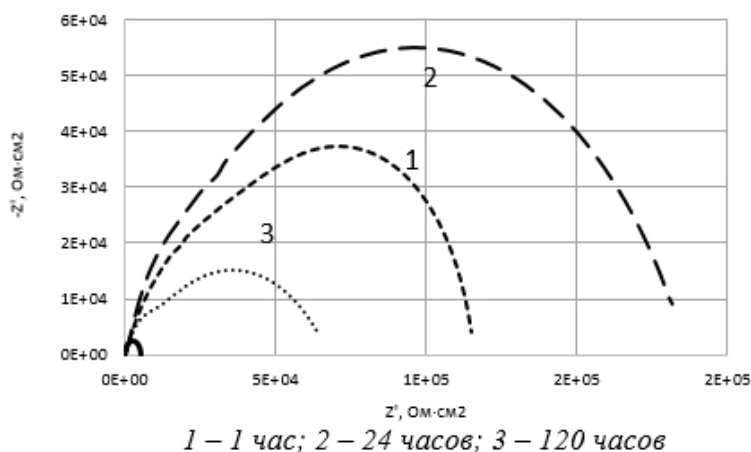


Рисунок 1 – Импедансные спектры АКБ, представленные в виде диаграмм Найквиста

Каждому физико-химическому процессу внутри батареи (диффузия ионов, кинетика электрохимических реакций на границе раздела электрод-электролит) соответствует определенный элемент на спектре – полукруг или наклонная прямая. С течением времени при деградации батареи эти элементы смещаются и изменяют свою форму. Например, увеличение диаметра высокочастотного полукруга напрямую коррелирует с ростом сопротивления переносу заряда, что является прямым индикатором деградации и старения элементов АКБ [3]. При сравнении полученного спектра с эталонными характеристиками новой батареи или с библиотекой данных по деградации, можно с высокой точностью диагностировать тип износа и спрогнозировать остаточный ресурс элементов АКБ.

Импедансная спектроскопия с применением микропроцессорной техники выполняется посредством генерации синусоидальных сигналов малой амплитуды (порядка 10–50 мВ) через буферный усилитель, датчик тока и токоограничивающий резистор. Малые значения амплитуды сигнала возмущения необходимо поддерживать для соблюдения условия линейности, при котором не происходят необратимые изменения в электрохимической системе батареи. Обход частотного диапазона от 0,1 Гц до 10 кГц осуществляется дискретно, по логарифмической шкале (например, 0,1 Гц, 1 Гц, 10 Гц и т.д.), чтобы захватить как медленные диффузионные процессы (низкие частоты), так и быстрые кинетические процессы на границе раздела электрод-электролит (высокие частоты). На каждой итерации импедансной спектроскопии выполняется синхронное измерение напряжения на АКБ (на клеммах элемента) и тока через него. По амплитудным значениям и фазовому сдвигу между напряжением и током можно вычислить комплексный импеданс на каждой из обозначенных частот спектра.

Актуальность разработки специализированного устройства для реализации описанного метода обусловлена тем, что существующие лабораторные импедансные анализаторы являются дорогостоящими, громоздкими и требуют высокой квалификации оператора. В то же время, простые встроенные системы мониторинга на основе измерения напряжения не решают задачу прогнозирования остаточного ресурса АКБ.

Целью настоящего исследования является разработка устройства для неинвазивного контроля и прогнозирования остаточного ресурса аккумуляторных батарей на основе импедансной спектроскопии. Актуальность заключается в проектировании простого в использовании технического решения, которое позволяет перейти от реактивного обслуживания (после падения емкости) к проактивному прогнозированию ресурса.

Основными функциональными возможностями предлагаемого устройства должны являться:

- генерация синусоидального тестового сигнала малой амплитуды в широком диапазоне частот;
- синхронное высокоточное измерение напряжения и тока на клеммах батареи для расчета комплексного импеданса;

- автоматическое построение диаграммы Найквиста;
- аппроксимация полученного спектра эквивалентной электрической схемой и вычисление ее параметров;
- сравнение параметров с базой данных и выдача заключения о текущем состоянии и прогнозируемом остаточном ресурсе батареи;
- передача всех данных на внешнее устройство для визуализации и архивирования.

В соответствии с функциональными требованиями было разработано устройство контроля и прогнозирования остаточного ресурса аккумуляторных батарей на основе импедансной спектроскопии, показанное в виде структурной схемы устройства (рисунок 2). Центральным вычислительным ядром устройства является микроконтроллер *ESP32* [4], обладающий высокой производительностью, необходимой для реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов в реальном масштабе времени, и наличием интегрированных периферийных модулей: два канала АЦП для измерения напряжения на АКБ и тока через него, ЦАП для формирования тестового сигнала и модуль беспроводной связи *Wi-Fi* для реализации информационного обмена с внешними устройствами (например, смартфон).

Сигнал с выхода ЦАП микроконтроллера поступает на вход буферного усилителя (операционный усилитель, включенный по схеме повторителя), основное назначение которого заключается в обеспечении необходимой нагрузочной способности по току. Выход ЦАП микроконтроллера имеет достаточно высокое выходное сопротивление и ограниченную нагрузочную способность, поэтому он не может непосредственно нагружать измерительную цепь. Буферный усилитель, обладая высоким входным и низким выходным сопротивлением, развязывает цифровую часть системы от аналоговой, предотвращает искажение сигнала и обеспечивает необходимую мощность тока для последующих каскадов.

Токоограничивающий резистор выполняет защитную функцию, гарантируя, что даже в аварийной ситуации ток через батарею не превысит безопасных значений. Датчик тока, включенный последовательно с АКБ, является фактически преобразователем измеряемого тока в эквивалентное выходное напряжение, регистрируемое микропроцессорной системой. Датчик тока используется на основе эффекта Холла, что исключает влияние датчика на величину протекающего тока.

Напряжение на клеммах аккумулятора измеряется с помощью инструментального усилителя. Его применение обусловлено необходимостью измерения дифференциального сигнала на фоне значительного синфазного напряжения, которым является постоянное напряжение самой батареи (например, 12 В или 24 В). Инструментальный усилитель обладает высоким входным сопротивлением, что исключает протекание тока через измерительные провода и, как следствие, внесение дополнительной погрешности. Помимо исключения синфазной составляющей (постоянное напряжение батареи) он усиливает разностный сигнал (малое переменное напряжение, вызванное

протеканием тестового тока) до уровня напряжения полной шкалы преобразования АЦП микроконтроллера.

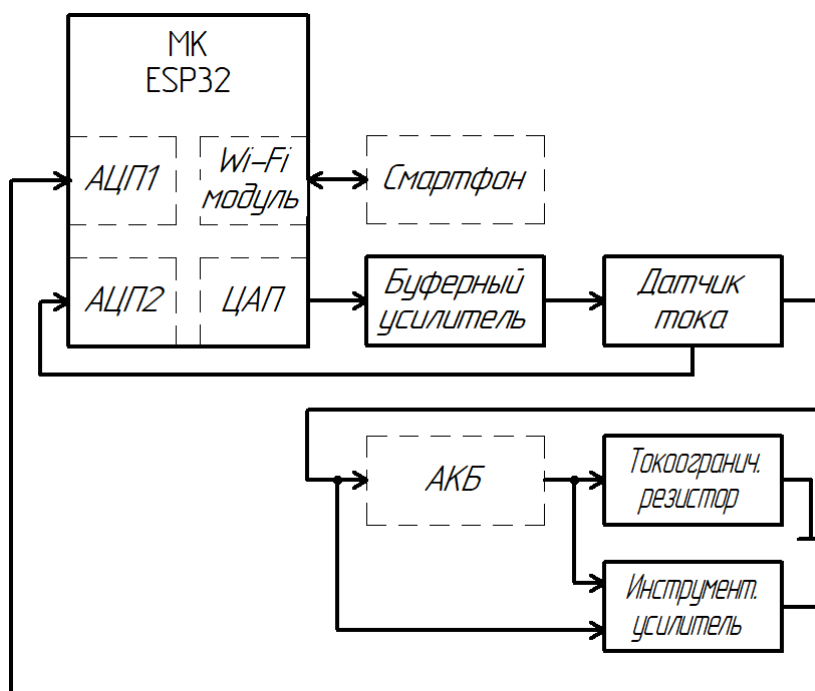


Рисунок 2 – Структурная схема устройства контроля и прогнозирования остаточного ресурса аккумуляторных батарей

Рассчитанные параметры импеданса, а также результаты аппроксимации эквивалентной схемой передаются по беспроводному интерфейсу *Wi-Fi* на внешнее устройство – смартфон или планшет, на котором установлено и запущено специализированное приложение для предоставления удобного графического интерфейса (отображение диаграммы Найквиста, индикация рассчитанных параметров эквивалентной схемы и прогноза остаточного ресурса аккумуляторной батареи).

Таким образом, предложенное устройство сочетает в себе метод измерения импедансной спектроскопии с практическими преимуществами портативности, низкой стоимости и простоты использования. Интеграция позволит повысить надежность и безопасность эксплуатации аккумуляторных батарей в различных отраслях за счет перехода к обслуживанию по фактическому состоянию.

Литература

1. Козадеров, О. А. Современные химические источники тока: учебное пособие / О. А. Козадеров, А. В. Введенский. – 3-е изд., испр. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 132 с.
2. Нефедкин, С. И. Физико-химические методы исследований в технологиях электрохимической энергетики: учебник / С. И. Нефедкин. – Москва: НИУ МЭИ, 2024. – 460 с.
3. Системы управления и мониторинга свинцово-кислотных аккумуляторов объектов специального назначения / Д. В. Батищев, D. V. Batishchev, А. А. Гуммель [и др.] // Известия вузов. Электромеханика. – 2024. – № 3. – С. 26-37.
4. Кэмерон, Н. Электронные проекты на основе ESP8266 и ESP32. Создание приложений и устройств с поддержкой *Wi-Fi* / Н. Кэмерон; перевод с английского Ю. В. Ревича. – Москва: ДМК Пресс, 2022. – 454 с.

ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И МОНИТОРИНГА

Современные задачи аэрофотосъемки, мониторинга и наблюдения, выполняемые с подвижных носителей – беспилотных летательных аппаратов, самолетов и кораблей – требуют высокой четкости и стабильности видеоданных. Основными факторами, снижающим качество изображения, являются вибрации, движение и поворот относительно объекта наблюдения. Для компенсации этих воздействий применяются гиростабилизированные подвесы (рисунок 1), обеспечивающие неизменную ориентацию оптической оси камеры в инерциальном пространстве [1].



Рисунок 1 – Вариант исполнения гиростабилизированного подвеса

Стабильность гиростабилизированных систем определяется как способность камеры сохранять заданную ориентацию при угловых колебаниях и поступательных движениях носителя. Значимость этого параметра возрастает с увеличением фокусного расстояния: чем уже поле зрения, тем заметнее даже минимальные смещения. Точность современных стабилизаторов достигает 5 мрад .

Заявленные производителями показатели являются лабораторными. Реальная стабильность зависит от совокупности факторов: качества инерциального измерительного модуля (ИИМ), алгоритмов обработки сигналов, характеристик двигателей и внешних условий эксплуатации.

Различают два понятия:

- стабильность – сохранение направления взгляда камеры относительно инерциального пространства,

- геопозиционирование – удержание камеры на конкретной точке местности, что требует компенсации не только вращения, но и поступательного движения носителя.

Для реализации геопозиционирования применяются дополнительные системы: автоматическое видеотрекинг или комплексы на основе *ИИМ* с привязкой к картографическим данным [1].

Ключевым элементом гиостабилизированной системы являются датчики, фиксирующие нежелательные движения. Используются три основных типа сенсоров [1]:

- гироскопы – основной источник данных о вращении, обеспечивающий высокую скорость отклика,
- системы видеоанализа – алгоритмы оптического потока, оценивающие смещение сцены,
- энкодеры – датчики положения подвеса относительно корпуса носителя.

На основе информации с датчиков система управления формирует сигналы для двигателей (моментных или звуковой катушки), компенсирующих движение платформы. Камера может стабилизироваться по трем осям: азимуту, тангажу и крену (рисунок 2). В ряде конструкций применяются сдвоенные приводы на одной оси, что объясняет термины «4-осевая» или «6-осевая» стабилизация.

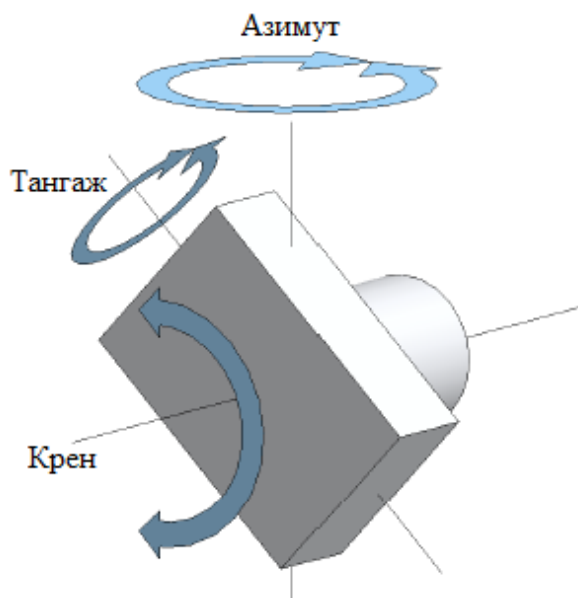


Рисунок 2 – Оси стабилизации

Альтернативой карданным подвесам являются параллельные кинематические механизмы (например, гексаподы), где линейные двигатели создают угловые перемещения, однако их рабочий диапазон перемещений ограничен [2].

Существуют два принципиально разных подхода:

механическая стабилизация – физическое перемещение камеры или оптических элементов,

- электронная стабилизация – программная компенсация движения путем анализа видеопотока.

Механическая стабилизация предпочтительнее, так как сохраняет исходное качество изображения и позволяет работать при низкой освещенности.

Электронная стабилизация снижает разрешение и не предотвращает смазывание при длинной выдержке, поэтому используется как вспомогательный метод.

Современные гиостабилизированные подвесы могут служить платформами для размещения и обеспечения функционирования [3]:

- камер видимого диапазона высокого разрешения (*CCD/CMOS*),
- камер видимого диапазона низкой освещенности,
- камер, работающих в различных диапазонах инфракрасного излучения (*SWIR, MWIR, LWIR*),
- камер, работающих в различных диапазонах ультрафиолетового излучения (*NUV, MUV, FUV*),
- лазерных дальномеров.

Для функционирования каждого из устройств этих типов должны быть соблюдены требования к точности стабилизации и алгоритмам обработки информации [3].

Гиостабилизированные подвесы представляют собой сложные мехатронные системы, эффективность которых определяется точностью сенсоров, быстродействием приводов и совершенством алгоритмов управления. Основным критерием качества остается стабильность. Несмотря на развитие электронных методов, механическая стабилизация сохраняет статус наиболее надежного способа получения высококачественного изображения с подвижных носителей. Перспективы развития связаны с повышением точности *IMU*, интеграцией с навигационными и картографическими системами, а также с совершенствованием сенсорной базы.

Литература

1 Gyro Stabilized Gimbal System Buyer's Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gyrostabilizedsystems.com/blog?offset=1562884834208> (Дата обращения: 23.09.2025).

2 Ортопедические гексаподы: история, настоящее, перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ortopedicheskie-geksapody-istoriya-nastoyaschee-perspektivy> (Дата обращения 24.09.2025).

3 Типы датчиков дронов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.xjcsensor.com/ru/drone-sensor-types/> (Дата обращения 24.09.2025).

Р.В. Поляков, асп.; И.В. Якименко, д.т.н, проф.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ВЛИЯНИЕ СЕГМЕНТАЦИИ ВИДЕОПОТОКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕЙРОСЕТЕВОГО ОБНАРУЖЕНИЯ БПЛА НА СЛОЖНОМ ФОНЕ

Проблема обнаружения и распознавания беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является одной из наиболее актуальных в области безопасности. Их малые размеры, низкая эффективная площадь рассеяния и способность летать на малых высотах по сложным траекториям значительно снижают эффективность традиционных радиолокационных методов [1-2].

Перспективной альтернативой выступают инфракрасные (ИК) оптико-электронные системы. Они обеспечивают пассивный и скрытный режим наблюдения, а также способны работать круглосуточно. Однако их эффектив-

ность ограничена при ручном управлении, так как оператору сложно долго выявлять малоразмерные цели на сложном атмосферном фоне (облака, разрывы облачности).

Решение заключается в автоматизации процесса с помощью алгоритмов компьютерного зрения на основе нейронных сетей [3]. Но и они сталкиваются с проблемами при работе с мелкими объектами на неоднородном фоне. Для повышения точности был предложен метод сегментации видеопотока – разделение кадра на меньшие части для детального анализа (рисунок 1).



Рисунок 1 – Пример разделения кадра видеопотока на сегменты размером 512x512 с перекрытием 10% от размера сегмента

Недостатком этого подхода является многократный рост вычислительной нагрузки.

В данной работе исследуется влияние размера сегментов на два ключевых параметра: эффективность обнаружения БПЛА и вычислительную нагрузку на систему.

Для экспериментов использовался специализированный аппаратный комплекс, включающий тепловизор LWIR-диапазона (8–14 мкм, разрешение 640×480 пикселей, 50 Гц) и систему записи.

Были проведены съемки полета БПЛА (размах крыла 5 м) на высоте 500 м на дистанциях от 1000 до 3700 метров. Общая продолжительность видеоматериалов составила 43 минуты.

Было проанализировано одиннадцать различных конфигураций сегментов с размерами от 1280×1024 (целый кадр) до 128×128 пикселей с различным процентом перекрытия между ними. Оценивались следующие метрики:

1. Эффективность обнаружения: Процент корректных обнаружений и идентификаций, а также процент ложных срабатываний в зависимости от дальности и размера сегмента изображения (таблица 1).

2. Вычислительная нагрузка: Условные единицы нагрузки, пропорциональные количеству обрабатываемых сегментов (таблица 2).

Таблица 1 – Анализ эффективности обнаружения и идентификации БПЛА в зависимости от дальности и размера сегмента изображения

Параметры	Дальность от ОЭС до БПЛА, в метрах										
	1000 - 1250	1250 - 1500	1500 - 1750	1750 - 2000	2000 - 2250	2250 - 2500	2500 - 2750	2750 - 3000	3000 - 3250	3250 - 3500	3500 - 3700
Тип атмосферного фона	ясное небо	ясное небо	ясное небо	ясное небо	ясное небо	ясное небо	мелкие АО	облако	облако	мелкие АО	ясное небо
Размер сегмента	1280 x 1024										
Обнаружения, %	100	87,5	63,5	58,5	46,5	33,5	12	0	0	1,5	0,6
Идентификации, %	100	87,5	63,5	58,5	46,5	33,5	12	0	0	1,5	0,6
Ложные, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Размер сегмента	800 x 650										
Обнаружения, %	100	100	100	100	97,5	86,7	71	19	28,5	68	29,9
Идентификации, %	100	100	100	100	97,5	86,7	71	19	28,5	68	29,9
Ложные, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Размер сегмента	512 x 512										
Обнаружения, %	100	100	100	100	100	100	92,5	19,5	44,5	88	56,3
Идентификации, %	100	100	100	100	100	100	92,5	19,5	44,5	88	56,3
Ложные, %	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0,2
Размер сегмента	480 x 400										
Обнаружения, %	100	100	100	100	100	100	90	22	53	84	68,9
Идентификации, %	100	100	100	100	100	100	90	22	53	84	68,9
Ложные, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Размер сегмента	400 x 400										
Обнаружения, %	100	100	100	100	100	100	94,5	21,5	51	91,5	76,4
Идентификации, %	100	100	100	100	100	100	94,5	21,5	51	91,5	76,4
Ложные, %	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0,3
Размер сегмента	400 x 320										
Обнаружения, %	100	100	100	100	100	100	93,5	20	49,5	90,5	77,6
Идентификации, %	100	100	100	100	100	100	93,5	20	49,5	90,5	77,6
Ложные, %	0	0	0,5	0	0	0,5	0	1	2,5	0	0,2
Размер сегмента	350 x 350										
Обнаружения, %	100	100	100	100	100	97,3	90,5	11,5	40,5	91,5	82,2
Идентификации, %	100	100	100	100	100	97,3	90,5	11,5	40,5	91,5	82,2
Ложные, %	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0
Размер сегмента	300 x 300										
Обнаружения, %	100	100	100	100	100	94,7	80,5	2	27,5	84,5	72,9

Продолжение таблицы 1

Идентификации, %	100	100	100	100	100	94,7	80	2	27,5	84,5	72,9
Ложные, %	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
Размер сегмента	340 x 270										
Обнаружения, %	100	100	100	100	100	93	81	14,5	30	87,5	75,1
Идентификации, %	100	100	100	100	100	93	81	14,5	30	87,5	75
Ложные, %	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0
Размер сегмента	256 x 256										
Обнаружения, %	100	100	100	100	96,5	84	69	0	13	84,5	39,5
Идентификации, %	100	100	100	100	96	83	69	0	13	84,5	39
Ложные, %	3	5,5	4,5	2	7,5	11	2,5	2,5	0	0	0,4
Размер сегмента	128 x 128										
Обнаружения, %	97	89,5	76	56	44,5	27,5	22,5	0	0	8	4,35
Идентификации, %	96,5	89,5	76	56	43	27,5	22,5	0	0	8	4,26
Ложные, %	12	15,5	14	4	12,5	10	16,5	1	13,5	5	5,8

На дистанциях до 2000 метров все конфигурации сегментов демонстрировали 100% эффективность, однако с увеличением дистанции и усложнением фона (наличие облачных образований) эффективность большинства методов снижалась.

Наихудшие результаты были зафиксированы на дистанции 2750-3000 м на облачном фоне, где эффективность падала до 0-22%, наилучшие результаты на этой дистанции показали сегменты размером 480×400 пикселей.

На предельной дистанции 3500-3700 м лучшее обнаружение обеспечивали сегменты размером 350×350 пикселей.

Наилучший баланс точности на средних и дальних дистанциях показали сегменты размером 400×400 и 400×320 пикселей.

Использование слишком мелких сегментов (128×128 пикселей) привело к резкому росту ложных срабатываний (до 16,5%) и падению точности обнаружения ниже 50%.

Таблица 2 – Зависимость роста вычислительных затрат от параметров сегментации видеопотока

Размер сегмента, в пикселях	Размер кадра, в сегментах	Размер перерыва между соседними сегментами, в %	Количество сегментов в одном кадре	Усреднённая вычисленная кратность увеличения вычислительных затрат
1280 x 1024	1 x 1	0	1	1
800 x 650	1.6 x 1.6	5	4	3.19
512 x 512	2.5 x 2	5	9	6.23
480 x 400	2.7 x 2.6	5	12	6.44
400 x 400	3.2 x 2.6	10	12	8.78

400 x 320	3.2 x 3.2	10	16	9.85
350 x 350	3.7 x 2.9	10	16	11.8
300 x 300	4.3 x 3.4	10	20	14.49
340 x 270	3.8 x 3.8	10	25	14.89
256 x 256	5 x 4	10	30	20.3
128 x 128	10 x 8	20	130	90.58

Нагрузка нелинейно возрастала с уменьшением размера сегмента. Обработка целого кадра (1280×1024) была принята за 1 условную единицу.

Использование сегментов 512×512 пикселей увеличивало нагрузку в ~6.23 раза. Оптимальные с точки зрения точности сегменты 400×400 пикселей требовали нагрузку в ~8.78 раз выше базовой. Обработка малоразмерных сегментов (128×128) занимала на 90.58 раз больше времени в сравнении с обработкой целого кадра, что неприемлемо для систем реального времени.

Проведенное исследование подтвердило, что сегментация видеопотока является эффективным методом повышения точности обнаружения малогабаритных БПЛА нейросетевыми моделями в ИК-диапазоне. Однако этот метод приводит к значительному росту вычислительных затрат.

Ключевым выводом работы является необходимость поиска компромисса между точностью и производительностью. Наилучшие результаты показали конфигурации с размером сегментов от 400×400 до 512×512 пикселей. Они обеспечивают высокую точность обнаружения на большинстве дистанций при умеренном (в 6-9 раз) увеличении вычислительной нагрузки.

Полученные данные имеют практическую ценность и могут быть использованы при проектировании и оптимизации систем мониторинга воздушного пространства в реальном времени

Литература

1. Самойлов П. В., Иванов К. А. Угрозы применения малоразмерных БПЛА и определение наиболее эффективного способа борьбы с ними // Молодой ученый. 2017. № 45. С. 59-65. - URL <https://moluch.ru/archive/179/46398/> (дата обращения: 21.09.2019).
2. Еремин Г. В., Гаврилов А. Д., Назарчук И. И. Малоразмерные беспилотники - новая проблема для ПВО // Отвага [Электронный ресурс]. 29.01.2015. № 6 (14). - URL: <http://otvaga2004.ru/armiya-i-vpk/armiya-i-vpk-vzglyad/malorazmernye-bespilotniki> (дата доступа 11.12.2019).
3. Якименко И.В., Якименко Ю.И., Поляков Р.В., Лавринков Н.Н., Оптико информационное обеспечение обнаружения артефактов на сложном фоне роботизированным комплексом с элементами нейронных сетей // МСАРД- 2025. С. 38-39.

А.В. Пучков, маг.; В.А. Смолин, к.т.н.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА МНОГОКАНАЛЬНОГО СБОРА ДАННЫХ НА ПЛИС

Современные системы сбора данных являются неотъемлемой частью промышленной автоматизации, научных исследований, мониторинга окружающей среды и множества других областей. Возрастающие требования к производительности, надежности и гибкости таких систем диктуют необходимость использования высокоэффективных аппаратных платформ. Программируемые

логические интегральные схемы (ПЛИС) предоставляют уникальные возможности для создания специализированных устройств обработки данных благодаря своей способности к параллельным вычислениям, высокой скорости работы и реконфигурируемости.

Разрабатываемое устройство осуществляет параллельный опрос 10 датчиков с интерфейсом подключения *1-Wire*. Данный интерфейс является популярным решением среди простых датчиков, измеряющих физические величины (например, датчики температуры), а также позволяет реализовать единую сеть мониторинга разнесенных на расстоянии датчиков (до 300 метров). Параллельный опрос на ПЛИС реализуется за счет опроса физически выделенных каналов для каждого датчика. Полученные данные ПЛИС обрабатывает и сохраняет на подключенный энергонезависимый носитель – *microSD*. В устройстве предусмотрен интерфейс *USB* для взаимодействия с персональным компьютером (ПК) с целью обеспечения упрощенного доступа пользователю к сохраненным данным и их последующему анализу.

Основное питание устройства осуществляется от источника напряжения 5 В. В устройстве предусмотрено наличие компонентов, которые питаются как от 5 В, так и от 3,3 В, и от 1,2 В (необходимо для ряда входных каналов ПЛИС). Для этого в цепи питания установлены стабилизаторы напряжения *ST1* и *ST2*, схема подключения которых изображена на рисунке 1.

На входах схем конденсаторы *C13* и *C14* установлены для подавления пульсаций напряжения. Для обеспечения стабильности схемы на выходе устройства установлены танталовые конденсаторы *C17* и *C18* 0.1 мкФ в соответствии с рекомендацией производителя.

Для защиты от перегрузки по току и от короткого замыкания на входе установлен плавкий предохранитель *FU1*, а для защиты от выбросов напряжения установлен *TVS*-диод.

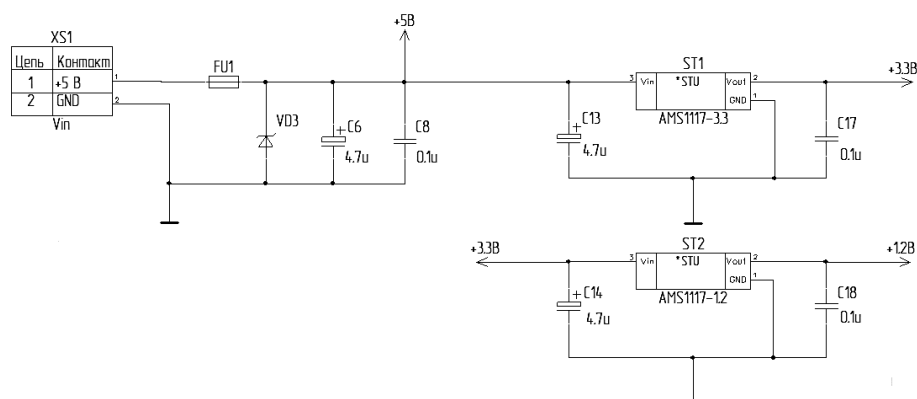


Рисунок 1 – Схема цепи питания с блокировочными конденсаторами

В качестве интерфейса для взаимодействия устройства с ПК выбран *USB 2.0* из-за его универсальности, достаточной пропускной способности в рамках обозначенных задач и надежности. Для упрощения настройки и уменьшения требуемых ресурсов для реализации стека *USB* протокола в устройстве

предусмотрено использование конвертора из *USB* интерфейса в *FIFO*. Подключение микросхемы *FT232HL* и *USB* разъема *XS2* представлено на рисунке 2.

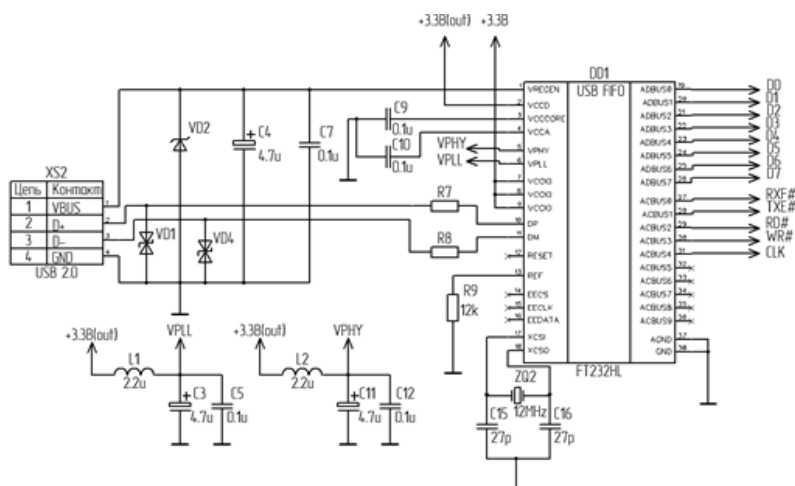


Рисунок 2 – Схема подключения микросхемы *FT232HL* и *USB* разъема

Для защиты от выбросов напряжения (например, в результате статического разряда) на входе *USB*-коннектора установлены *TVS*-диоды.

Микросхеме моста *USB-FIFO* необходимо наличие источника тактового сигнала для синхронизации тактов при обмене, поэтому также установлен кварцевый резонатор с частотой резонирования 12 МГц. Этот же тактовый сигнал микросхема передает по линии *CLK*.

Микросхема часов реального времени *DD3* подключается по схеме, как на рисунке 3. У микросхемы предусмотрено два источника питания: основное питание 5 В на входе *V_{cc}* и резервное 3 В с подключенной литиевой батарейки ко входу *V_{bat}*. В случае, когда питание на входе *V_{cc}* падает ниже 3.75 В (порог равен $1.25 * V_{bat}$), для бесперебойной работы микросхемы происходит переключение на питание от батарейки.

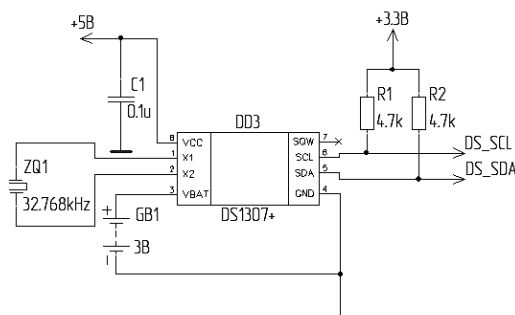


Рисунок 3 – Схема подключения микросхемы *DS1307+*

Общение между микросхемой и микроконтроллером происходит через линии связи *SDA* и *SCL* интерфейса *I2C*.

Для тактирования микросхемы подключается внешний кварцевый резонатор с частотой тактирования 32.768 кГц.

Схема подключения микросхемы памяти *DD2* представлена на рисунке 4.

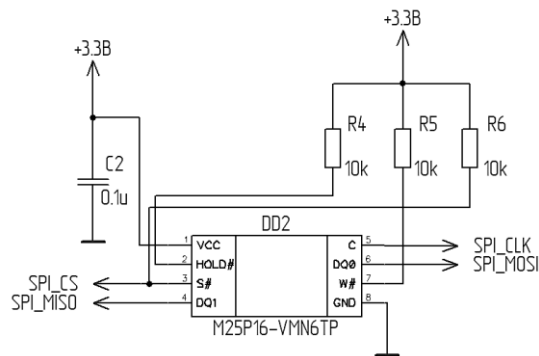


Рисунок 4 – Схема подключения микросхемы памяти

Данная микросхема хранит текущую конфигурацию ПЛИС на случай, если понадобится загрузить её повторно, без необходимости пользователю вручную каждый раз перепрограммировать устройство. Интерфейс подключения микросхемы к ПЛИС – *SPI*. Линии выбора чипа, а также линии *HOLD#* и *W#* подтянуты резисторами 10к Ом к питанию.

microSD-карта устанавливается в устройство через разъем *XS13*. Схема подключения представлена на рисунке 5.

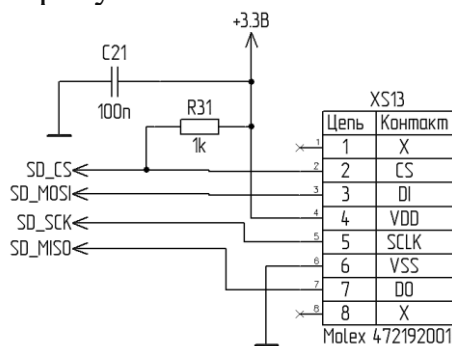


Рисунок 5 – Подключение *SD*-карты

Также в устройстве предусмотрено наличие разъема для *JTAG*-программатора на случай, если возникнет необходимость перепрограммировать конфигурацию ПЛИС или загрузить на микросхему памяти новую. Разъем 14-ти пиновый.

На цифровых линиях, подключаемых к ПЛИС, установлены токоограничивающие резисторы номиналом 1к Ом.

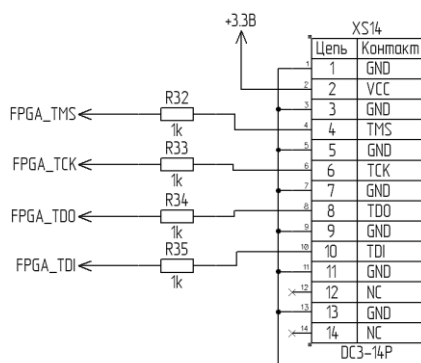


Рисунок 6 – *JTAG* разъем для подключения программатора

Интерфейс *1-Wire* представляет собой двунаправленную шину связи, в которой данные передаются по цепи питания (то есть используется два провода – общий (*GND*) и сигнальный (*DQ*); может быть также предусмотрен отдельный провод для питания (*Vdd*), но если он не используется, то подтягивается к общему проводу).

Подключение датчиков осуществляется через установленные на плате разъемы, как на рисунке 7. Таких в устройстве 10 экземпляров.

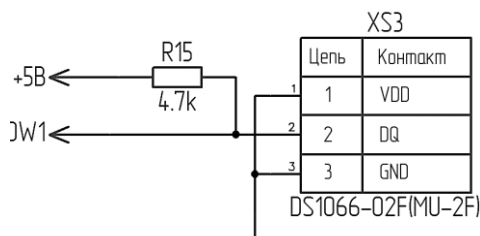


Рисунок 7 – Подключение датчика 1-Wire

Цифровые линии, они же линии питания, подтягиваются через резистор 4.7к Ом к напряжению питания. Причем, чем дальше находится устройство (чем длиннее соединительный кабель), тем меньшее значение номинала сопротивления должно быть.

На рисунке 8 представлено подключение кнопок сброса *SA1* и перезагрузки конфигурации ПЛИС *SA2*. Также изображен вывод *DONE* с подключенным светодиодом, который является внешним индикатором конца загрузки прошивки.

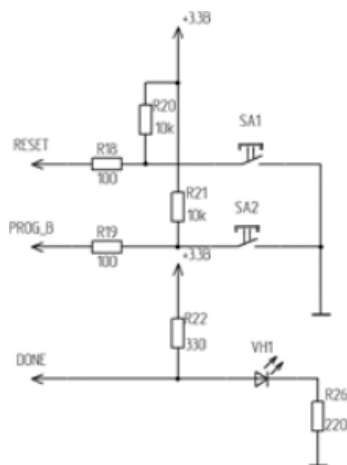


Рисунок 8 – Подключение конфигурационных выводов ПЛИС

Схема подключения самой ПЛИС изображена на рисунке 9.

это электронное устройство, которое предназначено для регулирования частотного баланса звука. Оно позволяет усиливать или ослаблять определённые частотные диапазоны звукового сигнала, подавляя нежелательные шумы и наводки или подчёркивая нужные звуковые характеристики [2]. Создание собственной схемы полупараметрического эквалайзера для гитарного педалборда открывает широкие возможности для экспериментов со звуком и достижения оптимального звучания инструмента.

Разрабатываемая схема полупараметрического эквалайзера должна обладать широким диапазоном регулировки усиления (от -12 до 12 дБ), минимальным уровнем шума и нелинейных искажений, особенно в области средних и высоких частот, поскольку именно там чаще всего возникают нежелательные артефакты, иметь надёжную конструкцию и быть устойчивой к внешним воздействиям, охватывать весь спектр звуковых частот, характерных для электрогитары (от 80 Гц до 20 кГц), а также иметь 4 области регулирования частот, 2 из которых, будут меняться (80-110Гц, 300-1000Гц, 1-5кГц, 5-20кГц).

Для реализации схемы полупараметрического эквалайзера необходимо использовать высококачественные компоненты, способные обеспечить её стабильную работу и низкий уровень шума.

Основным элементом схемы разрабатываемого полупараметрического эквалайзера является операционный усилитель. Он используется в качестве активного элемента для создания различных электрических фильтров, а также для усиления мощности сигнала. Операционный усилитель, для создания качественного звука, должен обладать следующими характеристиками:

- уровень шумов менее 50 нВ/Гц;
- скорость нарастания напряжения более 10 В/мкс;
- ток смещения на входе не более 0,1 нА;
- гармонические искажения менее 0,1%;

Операционным усилителем, обладающим вышеперечисленными характеристиками, является усилитель TL072. Он обладает высоким уровнем производительности, оснащён JFET-входом и биполярным выходом, отличается низким входным током смещения, высокой скоростью нарастания напряжения, а также низким уровнем шума и искажений. Это делает его отличным выбором для широкого спектра задач в области обработки звука и сигналов. Благодаря высокому входному сопротивлению, это устройство является оптимальным решением для минимизации нагрузки на цепь. На рисунке 1 представлена принципиальная схема полупараметрического эквалайзера.

На входе схемы установлены конденсатор С1 и резистор R2, образующие фильтр верхних частот.

Переменные резисторы R8, R11, R15 и R21 образуют с резисторами R6 и R23 частотно зависимые делители. При минимальном сопротивлении переменных резисторов сигнал отрицательной обратной связи усиливается, что приводит к ослаблению выбранного частотного диапазона. При максимальном сопротивлении переменных резисторов сигнал отрицательной обратной связи ослабляется, что приводит к усилению выбранного частотного диапазона. В среднем

положении переменного резистора, фильтры не оказывают никакого влияния на сигнал.

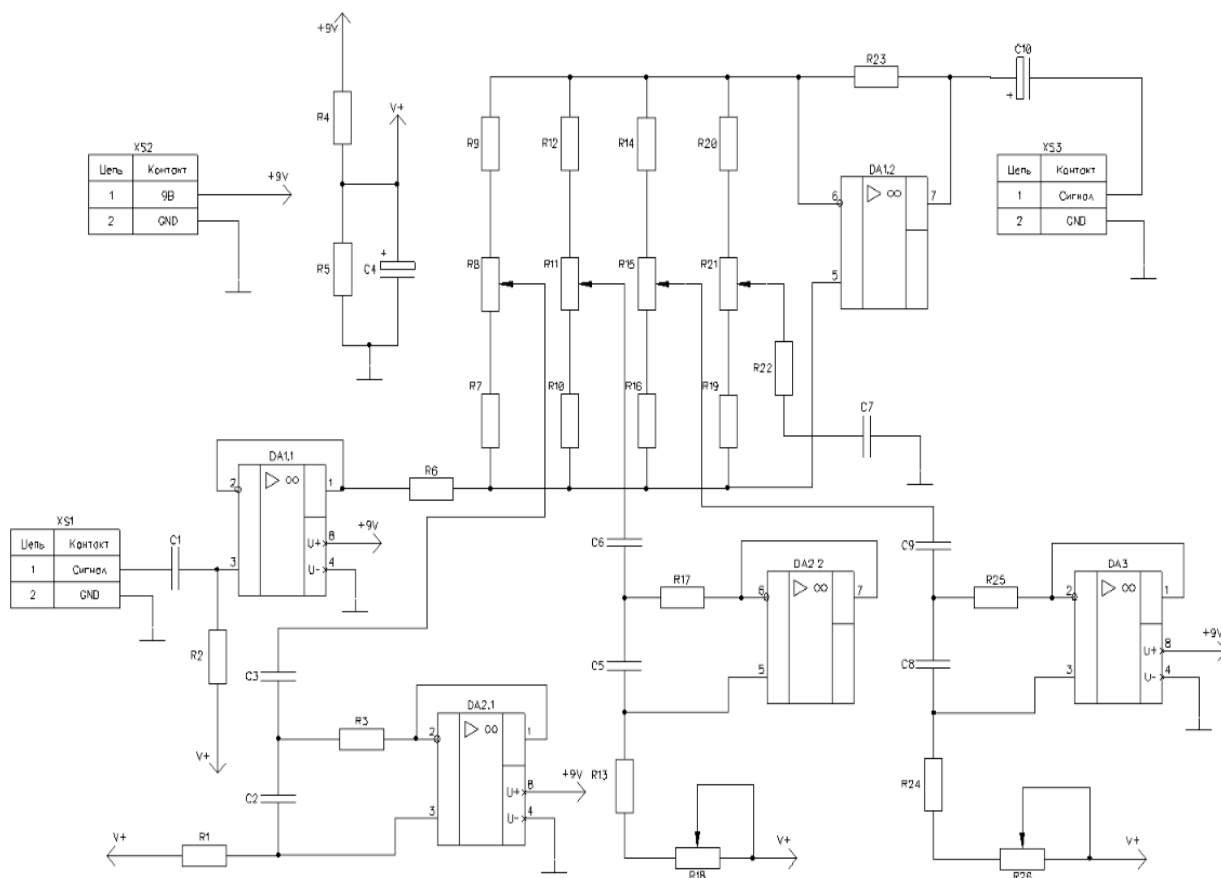


Рисунок 1 – Принципиальная схема полупараметрического эквалайзера

Полосовые фильтры представлены в виде конденсатора и гиратора. Гиратор – это аналог индуктивности. Основное достоинство гиратора – настройка эквивалентной индуктивности, а, следовательно, и частоты получившегося контура. Гиратор состоит из операционного усилителя, двух резисторов и конденсатора [1]. В схеме 3 гиратора. Операционный усилитель DA2.1, резисторы R1 и R3, конденсатор C2 образуют гиратор.

Конденсатор C7 и резистор R22 образуют фильтр верхних частот. Конденсатор C10 является разделительным.

Результаты моделирования схемы полупараметрического эквалайзера представлены на рисунках 2-3.

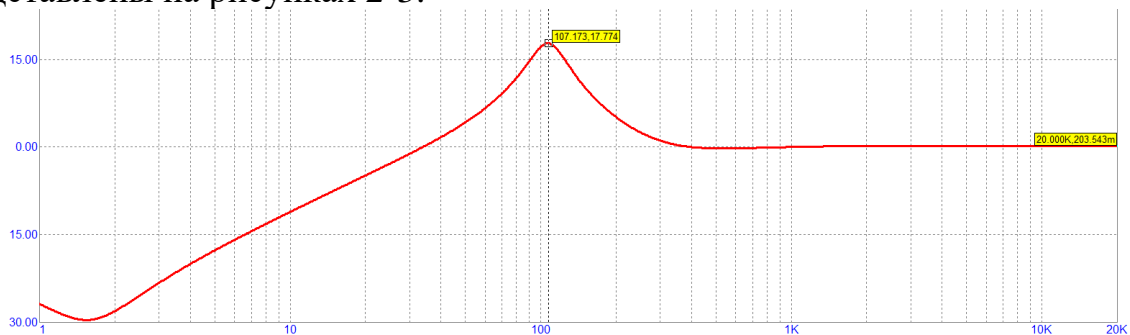


Рисунок 2 – Результаты моделирования схемы полупараметрического эквалайзера
На рисунке 2 показано усиление сигнала на частоте 100 Гц.

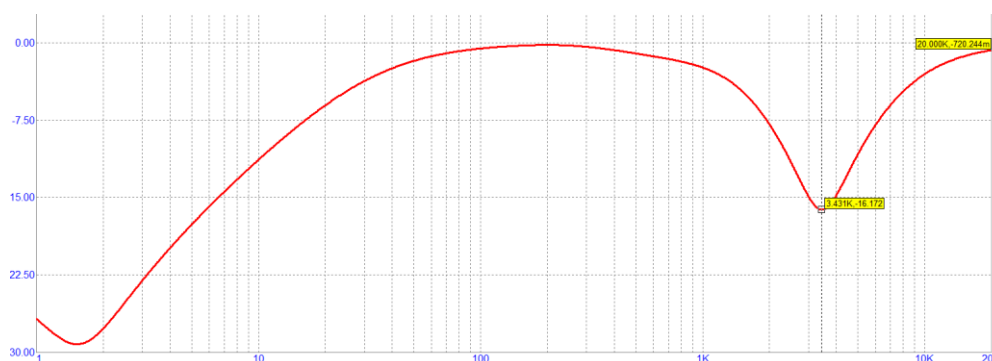


Рисунок 3 – Результаты моделирования схемы полупараметрического эквалайзера

На рисунке 3 показано ослабление сигнала на частоте 3,4 кГц.

Как видно из результатов моделирования, эквалайзер затрагивает всю область звуковых частот, а также усиливает или ослабляет сигнал в выбранном частотном диапазоне, что говорит о его правильной работе.

Таким образом была разработана схема полупараметрического эквалайзера, проведено моделирование, а также выбрана его компонентная база.

Литература

1. Амелин, С.А. Схемотехника Часть 2: конспект курса лекций / С.А. Амелин. - Смоленск: Смоленский филиал Моск. Энерг. института, 2018. - 150 с.
2. Устройство и схемотехника эквалайзера – URL: <https://radiostorage.net/5543-ustrojstvo-i-skhemotekhnika-ehkvalajzerov-na-primere-lanzar.html> (дата обращения 05.09.2025).

*С.М. Смирнов, маг.; В.В. Малышкин., ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ СВЕТОФИЛЬТРОВ ДЛЯ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИЕМНИКОВ

Актуальность разработки обусловлена потребностью в создании высокоселективных оптических компонентов для отечественных газоанализаторов, используемых в системах экологического мониторинга и промышленной безопасности. Особую значимость имеет разработка интерференционных светофильтров для пироэлектрических приемников ИК-излучения, от характеристик которых напрямую зависят чувствительность и точность детекции опасных газов.

Цель работы – разработка и исследование интерференционных светофильтров с заданными спектральными характеристиками для пироэлектрического приемника газоанализатора.

Современные системы газового анализа, основанные на инфракрасной спектроскопии, требуют использования высокоселективных оптических элементов для точного выделения спектральных диапазонов, соответствующих полосам поглощения целевых газов. Ключевыми компонентами таких систем, в

частности пироэлектрических приемников, являются интерференционные светофильтры. Их применение позволяет значительно повысить чувствительность и селективность газоанализаторов, используемых в задачах экологического мониторинга и промышленной безопасности. В данной статье рассматриваются процесс разработки, изготовления и исследования характеристик интерференционных светофильтров для рабочего и опорного каналов пироэлектрического приемника.

Интерференционные светофильтры используют принцип многолучевой интерференции в тонких пленках для формирования требуемой спектральной характеристики. Они представляют собой многослойные структуры, состоящие из чередующихся слоев диэлектриков с высоким и низким показателями преломления, нанесенных на прозрачную подложку. Конструкция фильтра определяет его основные параметры: центральную длину волны, ширину полосы пропускания и уровень подавления внеполосного излучения [1].

Процесс разработки светофильтров включал несколько последовательных этапов. На первом этапе был проведен анализ технического задания и определены целевые параметры светофильтров (таблица 1). Особое внимание уделялось обеспечению высокой селективности в области длин волн поглощения метана (3.3-3.4 мкм) и созданию стабильного опорного канала в спектральной области, свободной от поглощения целевыми газами (3.9-4.0 мкм).

Технические требования к светофильтрам для пироприемника газоанализатора ДАК-СН₄-137 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические требования к светофильтрам

Параметр	Рабочий канал	Опорный канал
Опорная длина волны, мкм	3,33 ± 0,02	3,90 ± 0,05
Кэф. пропускания (τ_{max}), %, не менее	80	80
Ширина полосы ($\Delta\lambda_{0,5}$), нм	190 ± 10	90 ± 10
Диапазон подавления, нм	1000 – 3100; 3600 – 5000	1000 – 3700; 4000 – 5000
Материал подложки	Кремний (Si)	Кремний (Si)

Для достижения заданных параметров в качестве материалов покрытия были выбраны германий (Ge) и диоксид кремния (SiO₂). Данные материалы обладают высокой прозрачностью в среднем ИК-диапазоне и значительной разницей в показателях преломления ($n_{Ge} \approx 4.0$, $n_{SiO_2} \approx 1.45$), что является необходимым условием для создания эффективных интерференционных систем [2].

Проектирование многослойной структуры проводилось в программном комплексе OptiLayer. Конструкция светофильтра для каждого канала представляет собой комбинацию двух покрытий, нанесенных на противоположные стороны кремниевой подложки: WDM-фильтра (формирующего основную полосу пропускания) и коротковолнового блокирующего фильтра. На рисунке 1 представлены итоговые расчетные спектральные характеристики для рабочего и опорного каналов.

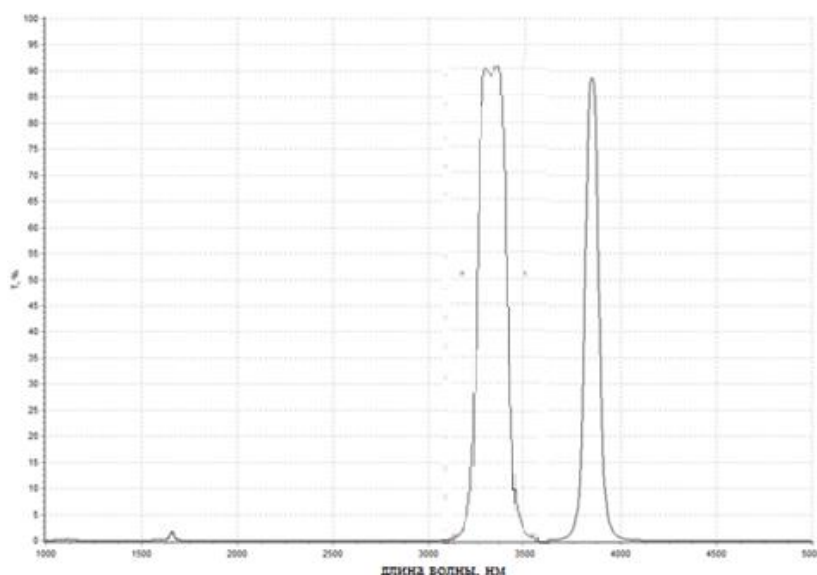


Рисунок 1 – Расчетная спектральная характеристика светофильтра рабочего канала

График демонстрирует узкие полосы пропускания в заданных областях спектра (3.3-3.4 мкм для рабочего и 3.8-4.0 мкм для опорного канала) с высокими коэффициентами пропускания и эффективным подавлением внеполосного излучения.

Изготовление опытных образцов проводилось на вакуумной установке «Aspira-150». Для нанесения покрытий использовалась комбинация методов: магнетронное распыление для слоев германия и ионно-лучевое напыление для слоев диоксида кремния. Контроль толщины каждого слоя в режиме реального времени осуществлялся методом монохроматического оптического мониторинга по поворотным точкам, что обеспечило высокое соответствие расчетным параметрам.

После изготовления были проведены измерения спектральных характеристик полученных светофильтров. На рисунке 2 представлены экспериментальные спектры пропускания для рабочего и опорного каналов.

Анализ результатов показал, что полученные характеристики удовлетворительно согласуются с расчетными. Светофильтр рабочего канала имеет четко выраженную полосу пропускания в диапазоне 3.3-3.4 мкм, что соответствует линии поглощения метана. Светофильтр опорного канала обеспечивает пропускание в области 3.9-4.0 мкм, свободной от сильного поглощения целевых газов. Совместное использование фильтров в двухканальной схеме приемника позволяет реализовать дифференциальный метод измерений, повышающий точность и надежность газоанализа.

Все рассмотренные этапы разработки светофильтров оказали влияние на конечный результат. Важно отметить, что выбор материалов с высокой разницей показателей преломления является ключевым для достижения высокой селективности. Проектирование в специализированном программном обеспечении позволило оптимизировать многослойную структуру и минимизировать

абберации. Использование комбинированного метода напыления и точного оптического контроля обеспечило высокое качество и воспроизводимость покрытий.

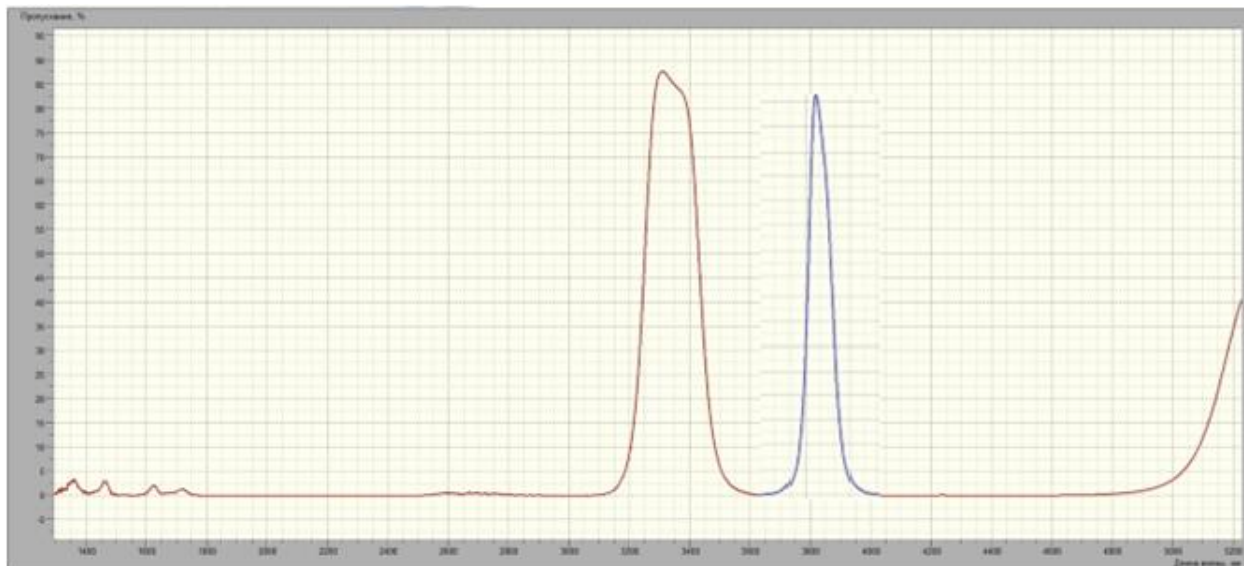


Рисунок 2 – Экспериментальные спектральные характеристики светофильтров

Сравнивая расчетные и экспериментальные характеристики, можно сделать вывод, что разработанные светофильтры обладают высокой эффективностью и удовлетворяют предъявленным требованиям. Они демонстрируют узкую полосу пропускания, высокий коэффициент пропускания в целевой области и эффективное подавление внеполосного излучения.

Таким образом, выбор материалов, методов проектирования и технологии изготовления должен основываться на строгих требованиях технического задания, где важно сбалансировать спектральные характеристики, технологическую осуществимость и воспроизводимость для достижения наилучшего результата.

Литература

1. Пучков, В. Н. Современные технологии изготовления оптических деталей / В. Н. Пучков, А. В. Гаврилов. – Санкт-Петербург: Политехника, 2020. – 215 с.
2. Белоусов, А. В. Магнетронные и ионно-лучевые технологии в оптике / А. В. Белоусов. – Москва: Техносфера, 2021. – 180 с.
3. Архипов, С. А. Комплексная технология изготовления оптических покрытий со сложным спектральным составом / С. А. Архипов, Б. Г. Лысой // Оптический журнал. – 2005. – Т. 72, № 4. – С. 27–31.

*Н.Н. Строев, к.т.н., доц.; А.Ю. Горошко, маг.; Д.А. Ковалева, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И ГРАФЕНА В ГИБКОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Современная электроника находится на стадии смены парадигмы, связанной с переходом от жестких к гибким, растяжимым и даже биоразлагаемым устройствам. Рынок носимой электроники, умной текстильной продукции, медицинских имплантатов и складных дисплеев предъявляет новые требования к

материалам: они должны сочетать высокую электропроводность, исключительную механическую гибкость, прочность и стабильность при многократных деформациях.

Кремний, являющийся основой классической микроэлектроники, хрупок и не удовлетворяет требованиям гибкости. Традиционный материал для прозрачных электродов – оксид индия-олова (*ITO*) – также отличается хрупкостью и высокой стоимостью из-за дефицита индия. В связи с этим, поиск новых материалов является актуальным.

На сегодняшний день наиболее перспективными материалами считаются углеродные наноматериалы, в частности, одностенные углеродные нанотрубки (УНТ) и графен. Несмотря на общее углеродное происхождение, эти материалы обладают уникальным набором свойств, которые определяют их потенциальные ниши применения.

Цель работы: проведение сравнительного анализа перспектив применения УНТ и графена в гибкой электронике на основе их электрофизических, механических и технологических характеристик.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

1) сравнить ключевые электрофизические и механические свойства УНТ и графена;

2) проанализировать технологические аспекты их синтеза и интеграции в гибкие устройства;

3) выявить перспективные области применения каждого материала на основе проведенного анализа.

В таблице 1 приведен сравнительный анализ ключевых параметров.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика УНТ и графена для гибкой электроники

Характеристика	Углеродные нанотрубки (УНТ)	Графен	Интерпретация для гибкой электроники
Подвижность носителей заряда, см ² /(В·с)	~ 10 ⁴ -10 ⁵ (для отдельных трубок)	~ 10 ⁴ -2×10 ⁵ (на подложках SiO ₂) [5]	Наибольшее преимущество графена. Критично для высокочастотных транзисторов.
Удельная электропроводность, См/см	~ 10 ⁶ (для металлических УНТ)	~ 10 ⁸	Прямое преимущество графена. Выше проводимость монослоя.
Мех. прочность (предел прочности), ГПа	~50-150	~130	Паритет. Оба материала на порядки прочнее стали.
Гибкость (максимальная деформация)	Высокая, могут изгибаться вплоть до самоконтакта	Высокая, выдерживает деформацию до 25 %	Оба материала идеально подходят для гибких применений
Оптическая прозрачность (% на слой)	80-95 % (зависит от плотности сети)	~ 97,7 %	Существенное преимущество графена. Превосходит УНТ и <i>ITO</i>

Продолжение таблицы 1 – Сравнительная характеристика УНТ и графена для гибкой электроники

Характеристика	Углеродные нанотрубки (УНТ)	Графен	Интерпретация для гибкой электроники
Основной метод синтеза для электроники	Химическое осаждение из паровой фазы (CVD)	CVD на металлических катализаторах (Cu, Ni)	УНТ технологически проще в интеграции в виде сеток. Графен требует этапа переноса на целевую подложку, что усложняет процесс
Проблема легирования	Сложность разделения металлических и полупроводниковых типов	Относительно контролируемо (химическое, ионное)	Преимущество графена. Легче создать <i>p-n</i> переходы и настроить работу транзисторов

1) Анализ таблицы 1 позволяет сделать следующие выводы:

2) в электрофизическом плане графен демонстрирует превосходство по удельной проводимости и подвижности носителей, что делает его идеальным кандидатом для высокочастотных устройств;

3) в оптическом плане графен является бесспорным лидером, его монослой обладает почти идеальной прозрачностью, что открывает путь к созданию эффективных прозрачных электродов;

4) в механическом плане оба материала демонстрируют выдающиеся и сопоставимые характеристики, удовлетворяющие требованиям даже к растяжимой электронике;

5) в технологическом плане создание однородных пленок УНТ методом распыления или печати является более отработанным процессом. Для графена ключевым вызовом остается этап бесдефектного переноса крупноразмерных пленок на гибкие полимерные подложки (ПЭТ, ПИ и др.).

На основе проведенного анализа можно определить ниши для каждого материала:

1. Области, где перспективен графен:

1.1 Прозрачные гибкие электроды. Это основная и наиболее очевидная область. Графен может заменить *ITO* в сенсорных экранах, гибких *OLED*-дисплеях и солнечных элементах.

1.2 Высокочастотная (*RF*) электроника. Высокая подвижность носителей позволяет создавать транзисторы с высокой граничной частотой, пригодные для гибких систем связи (например, *RFID*-метки нового поколения).

1.3 Высокочувствительные сенсоры. Большая удельная поверхность и высокая чувствительность к адсорбции молекул делают графен идеальной платформой для создания газовых, биологических и химических сенсоров на гибкой подложке.

2. Области, где перспективны УНТ:

2.1 Гибкие межсоединения и проводящие дорожки. Высокая токопроводящая способность и стойкость к электромиграции (выдавливанию атомов током) делают УНТ идеальной заменой для металлических проводников в гибких схемах.

2.2 Тонкопленочные транзисторы (*TFT*). Случайные сети УНТ, состоящие из смеси металлических и полупроводниковых трубок, могут эффективно использоваться в качестве канального материала для транзисторов, управляющих пикселями в гибких дисплеях (например, технология *CNT-TFT* от компаний типа Samsung).

2.3 Проводящие композиты. Введение УНТ в полимеры (эпоксидные смолы, полиимиды) позволяет создавать материалы с заданной электропроводностью и повышенной механической прочностью, пригодные для печати гибких схем и создания экранирующих покрытий.

Проведенный сравнительный анализ показывает, что углеродные нанотрубки и графен не являются прямыми конкурентами, а скорее дополняют друг друга в стремительно развивающейся области гибкой электроники.

Графен обладает неоспоримыми преимуществами в применениях, где критически важны высокая прозрачность и подвижность носителей заряда. Он рассматривается как материал «номер 1» для прозрачных электродов и высокочастотных устройств.

Углеродные нанотрубки демонстрируют свою эффективность в задачах, связанных с созданием проводящих каналов, меж соединений и композитных материалов, где их способность формировать проводящие сети, и относительно простая технология интеграции дают им существенное преимущество.

Основными барьерами на пути массовой коммерциализации остаются технологические вызовы: для графена – это проблема масштабируемого и бездефектного переноса, а для УНТ – достижение 100 % контроля над хиральностью (типом проводимости) и чистотой синтеза. Дальнейшие исследования должны быть сконцентрированы на решении этих технологических проблем, а также на разработке архитектур гибридных устройств, синергетически использующих сильные стороны обоих материалов.

Литература

1. Сычев, А. М. Графен: строение и свойства / А. М. Сычев, В. Я. Шевченко // Успехи химии. – 2020. – Т. 89, № 1. – С. 3–25. – DOI: 10.1070/RCR4907.
2. Гамбарян, Г. П. Углеродные нанотрубки и нановолокна: синтез, свойства, применения / Г. П. Гамбарян, Б. В. Афанасьев. – Москва : Научный мир, 2021. – 342 с. – ISBN 978-5-89176-567-8.
3. Ли, К. С. Гибкая электроника на основе углеродных наноматериалов / К. С. Ли, Д. В. Смирнов // Письма в Журнал технической физики. – 2022. – Т. 48, вып. 15. – С. 45–49.
4. Накамура, Д. Технологии переноса графена на гибкие подложки для создания прозрачных электродов / Д. Накамура, П. В. Иванов // Наноинженерия. – 2021. – № 4(52). – С. 28–35.
5. Роджерс, Дж. А. Электроника нового поколения: от жестких схем к гибким и растяжимым системам / Дж. А. Роджерс, М. А. Третьякова // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. – 2023. – № 2. – С. 78–92.
6. Чжан, Ю. Сравнительный анализ графена и углеродных нанотрубок в качестве материалов для тонкопленочных транзисторов / Ю. Чжан // Труды международной научно-технической конференции «Нанотехнологии функциональных материалов-2022». – Санкт-Петербург, 2022. – С. 156–160.
7. De Volder, M. F. L. Carbon Nanotubes: Present and Future Commercial Applications / M. F. L. De Volder, S. H. Tawfick, R. H. Vaughan // Science. – 2023. – Vol. 339, no. 6119. – P. 535-539. – DOI: 10.1126/science.1222451.
8. Bonaccorso, F. Graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems for energy conversion and storage / F. Bonaccorso // Science. – 2022. – Vol. 347, no. 6217. – P. 1246501. – DOI: 10.1126/science.1246501.

*Н.Н. Строев, к.т.н., доц.; Г.Ю. Игнатенков, маг.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ В АВТОПИЛОТАХ БПЛА: ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ

Современные беспилотные летательные аппараты эволюционируют от простых дистанционно управляемых платформ к сложным автономным системам. Рост областей их применения – от логистики и мониторинга до обороны – предъявляет все более строгие требования к «интеллекту» бортовой электроники, в центре которой находится автопилот. Изначально построенные на базе микроконтроллеров, автопилоты столкнулись с экспоненциальным ростом сложности алгоритмов, что обуславливает необходимость тщательного выбора МК, способного обеспечить выполнение перспективных задач.

Цель данной работы – провести обзор и сравнение современных микроконтроллеров, применяемых в автопилотах БПЛА, с точки зрения соответствия текущим и будущим требованиям к автономности.

Перспективные требования к системе управления БПЛА

Требования к автопилотам можно разделить на базовые и перспективные. К базовым относятся стабилизация, удержание высоты, выполнение полетного задания по точкам. Однако фокус смещается в сторону повышенной автономности, что порождает новый класс требований:

1. Навигация в условиях неопределенности и без GNSS: решение задач в городах, лесах, тоннелях, где сигналы спутниковых систем (GPS/ГЛОНАСС) недоступны или нестабильны. Это требует реализации сложных алгоритмов навигации по сенсорам (SLAM – Simultaneous Localization and Mapping) на основе данных от камер, лидаров, инерциальных измерительных модулей (IMU).

2. Обнаружение и уклонение от препятствий: реализация в реальном времени алгоритмов компьютерного зрения и обработки данных с дальномеров для безопасного полета в динамичной среде.

3. Групповое взаимодействие: координация действий группы БПЛА требует высокоскоростного обмена данными, распределенного принятия решений и синхронизации, что создает нагрузку на процессор и сетевые интерфейсы.

4. Повышенная надежность и отказоустойчивость: внедрение стандартов функциональной безопасности, требующих дублирования вычислительных каналов, контроля ошибок памяти и выполнения в реальном времени без сбоев.

5. Энергоэффективность: для малых и средних БПЛА время полета является критическим параметром, что предъявляет высокие требования к соотношению производительность/ватт.

Микроконтроллеры как вычислительное ядро автопилота: возможности и ограничения.

Микроконтроллеры, объединяющие на одном кристалле процессорное ядро, память и разнообразную периферию, исторически являются основой автопилотов (например, платформы Pixhawk, ArduPilot). Их преимущества:

1. Интеграция: наличие критически важной периферии – таймеров для ШИМ-управления моторами, АЦП, SPI, I2C для считывания данных с датчиков, UART, CAN для обмена данными.

2. Детерминизм: Возможность обработки прерываний и выполнения кода с предсказуемыми временными задержками, что жизненно важно для контуров стабилизации.

3. Энергоэффективность: низкое энергопотребление по сравнению с микропроцессорами (MPU).

4. Надежность и стоимость: упрощенная конструкция печатной платы, стойкость к жестким условиям эксплуатации и низкая цена.

Однако возникают и существенные ограничения:

1. Ограниченная вычислительная мощность: выполнение сложных алгоритмов SLAM, нейросетевого распознавания образов или плотного 3D-картографирования на традиционных МК крайне затруднено или невозможно в реальном времени.

2. Ограниченный объем памяти: алгоритмы компьютерного зрения и машинного обучения требуют значительных объемов ОЗУ и ПЗУ, которые у многих МК ограничены единицами мегабайт.

Это приводит к архитектурному разделению: МК берет на себя функции низкоуровневого контроля полета (стабилизация, управление приводами, опрос базовых датчиков), в то время как для задач высокоуровневой автономии часто используется сопроцессор – мощный MPU (на архитектуре ARM Cortex-A) или ПЛИС, которые работают совместно с МК.

Сравнительный анализ микроконтроллеров для автопилотов БПЛА.

Для выбора оптимального МК необходимо сравнить ключевые семейства по ряду параметров. Наиболее распространенными в данной области являются МК на архитектуре ARM Cortex-M.

Таблица 1 – Сравнение параметров разных семейств микроконтроллеров

Параметр / Семейство МК	STM32F4/F7 (Cortex-M4/M7)	STM32H7 (Cortex-M7)	Kinetis K series (Cortex-M4/M7)	ATmega2560 (AVR)	Перспективные МК (RISC-V, Cortex-M55)
Производительность	До ~600 DMIPS (F7) С FPU (F4/F7)	До ~2000 DMIPS Двойное ядро (некоторые модели)	До ~600 DMIPS	Низкая (~16 DMIPS)	Высокая, с акцентом на AI-ускорение (M55 с Helium)
Память (ОЗУ/ПЗУ)	До 512 КВ/2 МВ (F7)	До 1 МВ/2 МВ	До 512КВ /2 МВ	8 КВ /256 КВ	Растущие объемы (1+ МВ ОЗУ)
Периферия	Богатая: TIM, ADC, UART, SPI, I2C,	Очень богатая: + высокоскоростной SPI, SDMMC	Богатая, акцент на аналоговую	Базовая, достаточная для простых задач	Специализированные ускорители (NPU, DSP)

	CAN-FD				
Энергоэффективность	Хорошая	Умеренная (из-за высокой тактовой частоты)	Очень хорошая	Отличная	Очень высокая (архитектура RISC-V)
Экосистема и ПО	Очень развитая (STM32Cube, HAL), поддержка ArduPilot, PX4	Очень развитая (STM32Cube, HAL), поддержка ArduPilot, PX4	Развитая (NXP SDK)	Развитая (Arduino)	Формирующаяся
Поддержка безопасности	Basic (CRC, Watchdog)	Улучшенная (защита памяти, крипто-ядро)	Улучшенная	Basic	Перспективные стандарты (PSA Certified)
Целевая ниша	Основная масса современных автопилотов (Pixhawk и др.)	Высокопроизводительные БПЛА, требующие сложной фильтрации	Промышленные и надежные БПЛА	Простые любительские модели	Будущие автономные системы с AI на борту

Анализ таблицы:

- STM32F4/F7: являются «рабочей лошадкой» современных автопилотов (например, Pixhawk 4). Их производительности хватает для выполнения полетного задания, стабилизации, работы с GPS и телеметрией. Однако для сложной компьютерной навигации требуют помощи сопроцессора;

- STM32H7: представляют собой следующий шаг, позволяя реализовать более сложные алгоритмы оценки ориентации (например, расширенные фильтры Калмана) и частично взять на себя задачи по предобработке данных с камер. Подходят для БПЛА среднего и высокого класса;

- Kinetis от NXP: конкурируют с STM32, часто используются в решениях, где требуется повышенная надежность и стойкость к внешним воздействиям;

- ATmega2560: классика для простейших любительских проектов, но абсолютно не пригодна для решения перспективных задач автономности из-за катастрофически низкой производительности и нехватки памяти;

- перспективные архитектуры: ядра ARM Cortex-M55 в сочетании с векторными расширениями Helium обещают значительный прирост в производительности для DSP и ML-алгоритмов, что позволит реализовать простые нейросети прямо на МК. RISC-V предлагает открытую архитектуру и высокую энергоэффективность, что делает их привлекательными для нишевых и массовых решений.

Проведенный анализ показывает, что выбор микроконтроллера для автопилота БПЛА является компромиссной задачей. Не существует универсального

решения, идеально подходящего для всех классов аппаратов и решаемых задач. Для простых БПЛА, выполняющих полеты по заранее известным маршрутам в открытой местности, оптимальным выбором остаются МК семейства STM32F4 или аналогичные, обеспечивающие баланс стоимости, производительности и развитой экосистемы. Для перспективных БПЛА, к которым предъявляются требования автономной навигации в сложных условиях, необходимы более мощные решения, такие как STM32H7 или аналоги. Будущее развитие МК для автопилотов связано с интеграцией специализированных аппаратных ускорителей для задач машинного обучения и обработки сенсорных данных, что позволит перенести часть функций автономности непосредственно на надежное ядро управления, повышая общую надежность и быстродействие системы.

Литература

1. Петров, И.В. «Основы проектирования датчиков и систем автоматического управления». М.: Механика, 2020.
2. Иванов, А.Б. «Современные технологии автопилотов». М.: Авиация и воздухоплавание, 2021.

*Н.Н. Строев, к.т.н., доц.; Г.Ю. Игнатенков маг.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ВАЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ ДАТЧИКОВ В АВТОПИЛОТЕ

Современные автопилоты представляют собой комплекс высокоточных датчиков, объединяющих данные, магнитометров, барометров и инерциальных измерительных модулей (IMU). Одним из ключевых факторов, дестабилизирующих работу датчиков, являются температурные колебания. Рабочий температурный диапазон электроники может варьироваться от -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$ и выше. Такие перепады особенно заметны на БПЛА. Они вызывают температурный дрейф параметров датчиков – изменение их характеристик (смещение нуля, чувствительности, частотных свойств) при неизменном входном сигнале. Таким образом, задача термостабилизации (поддержание постоянной рабочей температуры критически важных компонентов) становится не просто желательной, а обязательной для обеспечения функциональной безопасности автопилота.

Без термостабилизации система автопилота вынуждена использовать сложные алгоритмы компенсации, которые не всегда могут быть точными и требуют постоянной калибровки, что увеличивает вычислительную нагрузку и не гарантирует полного устранения ошибки.

Методы термостабилизации можно разделить на две основные группы пассивные и активные.

Пассивная термостабилизация основана на использовании материалов с высокими теплоемкостными и термоизоляционными свойствами. Цель – замедлить скорость изменения температуры датчика и сгладить пики нагрева/охлаждения.

- теплоизоляционные кожухи: изготавливаются из материалов с низкой теплопроводностью (вспененные полимеры, пенопласты) и позволяют поддерживать стабильную среду вокруг датчиков.

- радиаторы: Пассивные алюминиевые или медные радиаторы без вентиляторов, которые рассеивают тепло за счет естественной конвекции.

Преимущества: Простота конструкции, высокая надежность (нет движущихся частей и активных элементов), нулевое энергопотребление, низкая стоимость.

Недостатки: Низкая эффективность в условиях значительных и быстрых перепадов температур. Не могут установить или поддерживать конкретную температуру, а лишь замедляют процесс (охлаждения, нагрева).

Активная термостабилизация использует внешние источники энергии и системы управления для поддержания строго заданной температуры.

– элемент Пельтье (Термоэлектрический охладитель/нагреватель): на основе эффекта Пельтье при прохождении тока через полупроводниковую пластину одна ее сторона охлаждается, а другая нагревается. Смена полярности меняет стороны нагрева и охлаждения. Таким образом, один элемент может, как охлаждать, так и нагревать. Такая система включает в себя сам элемент Пельтье, теплоотвод (радиатор с вентилятором) для горячей стороны, датчик температуры и PID - регулятор для точного контроля.

Преимущества: Высокая точность стабилизации (до $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$), возможность, как охлаждения, так и нагрева.

Недостатки: Высокое энергопотребление, низкий КПД, генерация дополнительного тепла на горячей стороне, которую необходимо эффективно отводить, громоздкость, высокая стоимость.

- резистивный нагреватель: использует рассеянную на резисторах мощность для нагрева датчиков (рисунок 1). Количество мощности можно регулировать при помощи широтно импульсной модуляции под управлением PID – регулятора исходя из данных датчика температуры.

Преимущества: Высокая точность стабилизации (до $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$), низкая стоимость, компактность, надёжность.

Недостатки: Высокое энергопотребление, низкий КПД, невозможность охлаждения.

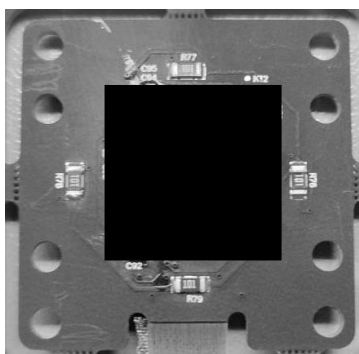


Рисунок 1 – Использование резистивных нагревателей в качестве активной термостабилизации

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

Пассивная термостабилизация является бюджетным и надежным решением для датчиков, используемых при умеренных колебаниях температуры. Ее применение оправдано при минимизации стоимости изделия, а также, где не требуется долго и точно поддерживать точную температуру.

Активная термостабилизация на элементах Пельтье – это наиболее сложное решение для высокоточных и датчиков автопилота в сверхсложных условиях. Она обеспечивает контроль температуры с высокой точностью в больших диапазонах, что является залогом минимального температурного дрейфа и, как следствие, высокой надежности навигационных данных. Несмотря на высокое энергопотребление и сложность конструкции она является максимально эффективной. Из-за больших размеров и веса не рекомендуется использовать в малогабаритных воздушных судах.

Активная термостабилизация на резистивных нагревателях идеально подходит для использования в автопилотах БПЛА по причине простоты, надёжности, малых габаритов и веса. Так как БПЛА используются на больших высотах, где температура ниже нуля, охлаждение датчиков не требуется. Данный метод имеет минимальный вес и габариты, что критически важно для летательного аппарата.

Литература

1. Петров, И.В. «Основы проектирования датчиков и систем автоматического управления». М.: Механика, 2020.
2. Иванов, А.Б. «Современные технологии автопилотов». М.: Авиация и воздухоплавание, 2021.
3. Иванов И.И., Петров А.А. Технологии стабилизации датчиков в системах автоматического управления. – М.: Транспорт, 2020.
4. Смирнов В.Ю. Температурные характеристики датчиков и методы их компенсации. – Журнал "Автоматизация и управление", 2019, №4.

*Н.Н. Строев, к.т.н., доц.; Е.А. Сапроженкова, ст.пр.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АКТУАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ В ХОДЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ РАБОТЫ С ЭЛЕКТРОННЫМИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Заинтересованность предприятий в подготовке высококвалифицированных инженерных кадров не вызывает сомнений. Учитывая текущее положение с подготовкой нужных кадров в системе высшего образования, предприятия вынуждены сами, своими силами и ресурсами включиться в послевузовскую учебную подготовку [1]. Поэтому они организуют учебные классы, привлекают ведущих специалистов для проведения учебных занятий, организуют подготовку кадров посредством учебных курсов, выездной учебы. Все эти формы и методики проведения, обеспечивающие их эффективное применение, достаточно известны и широко используются. Однако, как правило, обучение оказывается весьма дорогостоящим и не всегда приводит к желаемому результату. Групповые занятия при хорошей организации и привлечении специалистов неплохо

справляются с теоретической подготовкой, изучение основ функционирования и относительно простые практические вопросы решаются на практических занятиях с применением компьютеров и имитационного ПО. А вот работа с комплексами, которая возможна только при непосредственной работе на оборудовании, организуется и выполняется значительно сложнее. Как правило, это возможно только в специализированных центрах подготовки. Подобные центры создаются и эффективно работают на отраслевом уровне, что позволяет аккумулировать значительные ресурсы для их комплектования и использования в интересах многих предприятий. Если предприятие не входит в подобную систему, ему самому приходится решать вопрос обучения своих специалистов.

В сегменте наукоемких предприятий, занимающихся разработкой комплексов с электронным программным управлением, постоянное «доучивание» специалистов жизненно необходима в связи с быстрым изменением концепций, средств и базы проектирования и производства объектов новой техники. И, соответственно, на предприятии создаются структуры, занимающиеся решением данного вопроса. При их формировании и работе крайне важными становятся разработки методик обучения и структур, хорошо сочетаемых с потребностями подготовки специалистов, их режимами работы при высокой эффективности обучения. В идеальном случае предполагается, что работник продолжает выполнение своих обязанностей на рабочем месте, обучение сочетается с производственным процессом и приводит к повышению уровня квалификации, подтвержденными новыми компетенциями по окончании обучения [2]. На практике такие результаты и условия трудно достижимы. В случае необходимости, приходится прибегать к выездной учебе в специализированном центре, весьма дорогостоящей и поэтому разовой и не массовой.

Мы предложили и апробируем методику обучения в учебном центре предприятия АО «НИИ СТТ» с гибким применением лекционных и практических занятий с высокой долей самостоятельной работы слушателей.

Для проведения обучения в высокотехнологичной среде требуется применение дорогостоящего оборудования и программного обеспечения, входящего в состав комплексов проектирования, автоматизированных рабочих мест (АРМ), технологической оснастки. Создавать такой комплекс только с целью обучения чаще всего оказывается не эффективно. Выводить оборудование на время из рабочего цикла особенно надолго, тем более невозможно. Поэтому при организации практической части обучения следует исходить из того, что потребуется временное задействование приборов и составляющих комплексов в учебных целях или закупка дополнительного оборудования, которое можно рассматривать в дальнейшем как резерв для производственных комплексов.

Оборудование, задействованное в производстве, практически не может быть использовано в обучении ни частично, ни полностью, поскольку при обучении требуется многократная текущая перенастройка, смена условий, режимов и т.п., что неприемлемо в данном случае. Закупка или выделение дорогостоящего оборудования для оснащения учебных мест, оказывается не эффективна,

если не предлагается методик проведения занятий, обеспечивающих максимальную отдачу в рамках организации комплекса.

Второй, не менее важный вопрос – как практически организовать учебную работу? Методики групповых занятий здесь не подходят, поскольку число рабочих мест для обучения жестко ограничено. Фактически, речь идет об индивидуальных занятиях на специально сформированном рабочем месте, обеспечивающим возможность достижения конечной цели обучения. Речь уже не идет о создании нескольких АРМ в чисто учебных целях, обычно это одно рабочее место с возможностью резервирования и подмены дорогостоящего оборудования комплекса. То же относится и к ПО, причём лицензия обычно точно устанавливает предельно возможное число рабочих мест и условия использования программы.

Если обучаемых несколько, нужен гибкий график проведения занятий в формате «скользящего окна», когда время присутствия заранее распределяется и занятость ученого АРМ обеспечивается наиболее эффективно. Участие в проведении занятий наставника должно быть минимально, и поэтому нужна предварительная тщательная подготовка учебных материалов. Пункты и задания практической подготовки выполняются самостоятельно, могут контролироваться в процессе проведения дистанционно. По выполнении работ обучающийся формирует отчет, который позволяет оценить достигнутые результаты.

В настоящее время в рамках работы учебного центра предприятия проводится много разноплановых занятий, направленных на развитие компетенций работников предприятия и подготовки кадрового резерва из числа студентов. Проведение теоретических и развивающих занятий построено по принципу лекций и семинаров с привязкой к тематическому плану. Каждое занятие рассчитано на один час, проводится с средней интенсивностью в группах, формируемых по принципу предварительной записи в соответствующих разделах электронного журнала. К настоящему времени этот процесс отлажен и успешно действует, не увеличивая нагрузку на работников и не мешая выполнению ими основных обязанностей. Создана база для проведения занятий в форме вебинаров в том числе из удаленных центров.

Вопрос проведения практических занятий с высокой эффективностью пока окончательно не решен, предложенная методика с индивидуальным самостоятельным обучением апробируется и постепенно внедряется в учебный процесс. Основное условие практического занятия формулируется следующим образом. У обучающегося должна быть возможность самостоятельного решения технической задачи с использованием технических средств того уровня, который используется для их решения в производстве, предполагают непосредственное вовлечение обучающихся в процесс с применением требуемых инструментов и программ.

Совершенно очевидно, что никакие демонстрации и вебинары не могут заменить практическую работу и приобретение практических навыков для самостоятельной работы.

В качестве примера, можно привести работу с группой подготовки, сформированной осенью 2024 года по направлению «Контрольно измерительная техника». Выяснилось, что технической базы для проведения практических занятий в рамках учебного центра пока у нас нет. Оборудование, имеющееся в отделах, теоретически может использоваться в учебных целях на практических занятиях, если оно в какой-то момент оказалось свободным. Такие «моменты» не имеют устойчивой закономерности, и в большинстве случаев руководители подразделений аргументированно отказывают в предоставлении оборудования к времени проведения занятия. К этому можно добавить, что практические работы должны выполняться на оборудованных рабочих местах, каковых вообще нет. Освободить штатное место на время занятия – возможный разовый вариант, не может рассматриваться как действующий на постоянной основе.

В результате нами были собраны сведения об имеющемся на площадках АО «НИИ СТТ» измерительного оборудования, но организовать дальнейшую работу с индивидуальным проведением практических занятий в группе не удалось.

Поэтому была сформирована методика с описанным выше вариантом подхода к организации практических самостоятельных занятий по принципу «скользящего окна», позволяющей эффективно использовать оборудование и обеспечить максимальную интенсивность процесса практического обучения.

1. Подготавливается рабочее место для проведения практических занятий по направлению. Оборудование и оснащение должно соответствовать требованиям рабочих мест предприятия и современному уровню. Период использования определяется планом обучения. Не уступать действующим требованиям и методикам применения комплекса в производстве

2. Подготавливается методика проведения практических работ по направлению с учетом имеющегося оснащения и актуальных задач. Этот пункт может быть выполнен первым, а затем адаптирован под имеющиеся возможности конкретного оборудования. Задачи для практических занятий согласуются с руководителями направлений.

3. Формируется список обучающихся и интерактивный журнал выполнения практических работ. Обучающиеся выбирают удобное время для выполнения заданий и заполняют соответствующие позиции. Таким образом, создается файл-журнал проведения занятий в режиме скользящего окна, который заполнен учащимися по принципу обычной очереди. (можно индивидуально, можно по два человека).

4. Выполнение заданий проводится по полученному в результате графику с минимальными простоями оборудования. В течение выделенного окна времени обучающимся выполняется практическая работа, решаются поставленные задачи, формируется отчет о выполнении.

Специалист консультант доступен через средства информационного взаимодействия для тех, кто выполняет текущую работу.

Таким образом, рабочее место интенсивно используется, учебный план выполняется. Кроме того, на данном рабочем месте, оборудованном техниче-

скими средствами, могут выполняться экспериментальные работы, связанные с выполнением НИР и ОКР.

Примерный перечень оборудования, необходимого для установки на учебно-исследовательском АРМ по направлению «Контрольно-измерительная техника»:

1. Вторичные источники электропитания (программируемые), приборы для электротехнических измерений.

2. Осциллограф для исследования электрических сигналов. Характеристики и цена должна быть оптимально подобрана в зависимости от возможных вариантов использования.

3. Программируемый генератор сигналов. Характеристики и цена должна быть оптимально подобрана в зависимости от возможных вариантов использования.

4. Векторный анализатор цепей. Характеристики и цена должна быть оптимально подобрана в зависимости от возможных вариантов использования. По этим же соображениям выбираются опции.

5. Анализатор спектра. Характеристики и цена должна быть оптимально подобрана в зависимости от возможных вариантов использования. По этим же соображениям выбираются опции.

6. ПК с возможностью организации измерительного комплекса с соответствующим программным обеспечением.

7. Дополнительное оборудование, требуемое для применения программируемых модулей с МК и ПЛИС.

Предлагаемая методика организации подготовки молодых сотрудников и студентов, заинтересованных в дальнейшей работе по специальности, обеспечивает эффективное использование учебного оборудования, максимальную интенсивность практического обучения и гибкость в планировании учебных занятий. В результате создается динамичная и ресурсосберегающая образовательная среда, которая способствует подготовке специалистов высокого уровня в области контрольно-измерительной техники и научно-исследовательских работ.

Литература

1. Строев Н.Н., Строева Е.В. Актуальные вопросы профессиональной подготовки специалистов на инновационных предприятиях // Энергетика, информатика, инновации – 2020. (мик-роэлектроника и оптоэлектроника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сб. трудов X – ой Национальной научно-технической конференции с международным участием. В 3 т. Т 2. – 2020. – с. 353-357

2. Строев Н.Н., Сапроненкова Е.А. Организация факультативной работы студентов профиля «Промышленная электроника» с привлечением ресурсов базовых предприятий // Энергетика, информатика, инновации – 2023. (микроэлектроника и оптоэлектроника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сб. трудов XIII Межд. науч.-техн. конф. В 3 т. Т 2. – 2023. – с. 136-138

МЕТОД ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

При рассмотрении задач, связанных с измерением частоты сердечных сокращений, в большинстве случаев возникает необходимость в их обработки. В таком случае данные об измерениях должны быть корректными и понятными для восприятия пользователем.

Распространенные среди пользователей пульсометры (рисунок 1), входящие в состав фитнес-браслетов и смарт часов, измеряют частоту сердечных сокращений в двух режимах:

- 1) режим реального времени (измерения происходят каждую секунду или чаще);
- 2) фоновый режим (измерения происходят каждые 5-10 минут, что достаточно для построения графика пульса в состоянии покоя).



Рисунок 1 – Внешний вид пульсометра в составе браслета

В случае рассмотрения принципа работы устройства, поддерживающего оптимальный уровень стресса, основанного на измерении частоты сердечных сокращений пульсометром и положительном воздействии на нее цвета освещения и воспроизводимых мелодий, появляется актуальность в разработки метода обработки данных измерений, который позволит плавно переключать цвет освещения и воспроизводимую мелодию.

Цель работы: разработка метода обработки и вывода измеренных значений частоты сердечных сокращений для корректной работы устройства, поддерживающего оптимальный уровень стресса.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) проанализировать существующие методы обработки данных частоты сердечных сокращений в реальном времени и выявить их применимость для плавного управления света и звука);
- 2) разработать алгоритм обработки входящих данных, включающий:
 - а) фильтрацию исходных измерений частоты сердечных сокращений от артефактов и выбросов;

б) расчет скользящего среднеарифметического значения на различных временных интервалах (например, краткосрочное для мгновенной реакции и долгосрочное для определения тренда);

в) определение логики переключения режимов устройства на основе обработанных данных.

3) определить критерии и пороговые значения частоты сердечных сокращений для переключения между уровнями стресса (например, «норма», «повышенный стресс», «релаксация») и соответствующими им комбинациями цвета и мелодии.

Для обеспечения плавного управления света и звука необработанный сигнал частоты сердечных сокращений, получаемый с пульсометра, является непригодным. Высокая вариабельность сердечного ритма, наличие артефактов движения (*motion artifacts*) и кратковременные физиологические колебания приводят к значительному шуму и резким скачкам в данных. Прямое использование таких данных вызвало бы хаотичное и дискомфортное для пользователя переключение света и звука, сводя на нет терапевтический эффект устройства. Таким образом был проведен анализ наиболее распространенных методов фильтрации и обработки потоковых данных. [1]

Для выбора оптимального метода были определены следующие критерии:

1) эффективность сглаживания: способность подавлять шумы и выбросы;

2) быстрдействие: низкая вычислительная сложность для работы на *embedded*-системе в реальном времени;

3) задержка: минимальная задержка между изменением частоты сердечных сокращений и реакцией системы, критичная для обратной связи;

4) адаптивность: способность отслеживать реальные долгосрочные тренды (например, постепенное увеличение частоты сердечных сокращений при стрессе).

Были рассмотрены три ключевых подхода к обработке потоковых данных частоты сердечных сокращений.

Принцип первого подхода – скользящего среднего заключается в вычислении среднего арифметического значения по последним n отсчетам в скользящем окне. Данный подход обладает чрезвычайно низкой вычислительной сложностью ($O(n)$), простотой реализации, подавлением высокочастотного шума. Недостатками данного подхода являются внесение постоянной задержки, равной половине ширины окна, сглаживание резких, физиологически обоснованных изменений частоты сердечных сокращений. Также требует тщательного подбора размера окна для баланса между плавностью и скоростью реакции.

Принцип второго подхода – медианной фильтрации заключается в замене текущего отсчета медианным значением по его соседям в окне. Данный подход эффективен для подавления импульсных шумов и одиночных выбросов (артефактов), которые часто встречаются в данных с пульсометров, а также сохраняет резкие перепады сигнала лучше, чем скользящее среднее. Вычислительная сложность выше, чем у скользящего среднего (требует сортировки в окне).

Применимость для управления: очень высокая в качестве фильтра предварительной очистки от выбросов.

Принцип третьего подхода – экспоненциального сглаживания заключается в присвоении весов наблюдениям, которые экспоненциально убывают по мере их «старения». Новым данным придается больший вес, чем старым. Вычислительная сложность данного подхода очень низка сравнима со скользящим средним. Такой подход адаптируется под изменения тренда и быстрее реагирует на реальные изменения частоты сердечных сокращений и не требует хранения буфера предыдущих значений. Параметр сглаживания (α) подбирается эмпирически. Меньшее α дает большее сглаживание, но и большую задержку. Применимость для управления: очень высокая, особенно для задач плавного управления, где важна скорость реакции на тренд.

Таким образом, ни один метод в чистом виде не является идеальным для решения поставленной цели.

Для создания высококачественного управляющего сигнала требуется комбинированный подход, состоящий из каскадной фильтрации и двухуровневого усреднения [2].

Каскадная фильтрация заключается в последовательном применении двух фильтров. Первый каскад (очистка от выбросов): медианный фильтр с небольшим окном (3-5 отсчетов). Его задача заключается в быстром и эффективном удалении физиологически необъяснимых скачков данных, не внося значительной задержки. Второй каскад (сглаживание тренда): экспоненциальное сглаживание (или скользящее среднее). Экспоненциальное сглаживание предпочтительнее из-за его лучшей адаптивности и меньшей задержки.

Двухуровневое усреднение, необходимо для формирования логики управления. Краткосрочное среднее (быстрое): сигнал с минимальной задержкой, отражающий текущее состояние. Долгосрочное среднее (медленное): сигнал, представляющий базовый уровень частоты сердечных сокращений пользователя за последние несколько минут.

Таким образом, на основе анализа существующих методов была выявлена необходимость в комбинированном алгоритме, сочетающем *robustness* (устойчивость к выбросам) медианной фильтрации и адаптивность экспоненциального сглаживания. Данный подход позволяет получить плавный, но отзывчивый управляющий сигнал, который обеспечит комфортное и эффективное переключение света и звука в устройстве.

Для преобразования данных частоты сердечных сокращений в плавный управляющий сигнал был разработан трехэтапный алгоритм. Алгоритм принимает поток измерений $F_{raw}[i]$ и на выходе выдает команду для системы управления U_{mode} .

Для устранения физиологически необъяснимых скачков данных, вызванных артефактами движения или сбоями датчика, применяется медианный фильтр с окном размером $N_{med} = 5$. Причинами выбора являются высокая эффективность против импульсных шумов, сохранение резких фронтов реального

сигнала, низкая вычислительная сложность, приемлемая для систем реального времени.

Каждое новое значение $F_{raw}[i]$ помещается в циклический буфер. Выходное значение фильтра $F_{filt}[i]$ вычисляется как медиана текущего буфера.

Для разделения краткосрочных колебаний и долгосрочного тренда применяется метод экспоненциального сглаживания. Этот метод был выбран за его адаптивность и минимальную задержку по сравнению со скользящим средним.

Вычисляются два сглаженных сигнала:

1) быстрый сигнал (F_{fast}) (отслеживает текущие изменения, параметр сглаживания $\alpha_{fast} = 0,3$);

2) медленный сигнал (F_{slow}) (определяет базовый уровень, параметр сглаживания $\alpha_{slow} = 0,05$).

Обычно сигнал F_{raw} имеет значительные шумы. После медианной фильтрации F_{filt} выбросы устраняются. Сигналы F_{fast} и F_{slow} демонстрируют плавное изменение, при этом F_{fast} более чувствителен к кратковременным колебаниям, а F_{slow} отражает общий тренд.

Логика управления основана на анализе отклонения быстрого сигнала от медленного, что является индикатором изменения психофизиологического состояния пользователя.

Вводится относительное отклонение D :

$$D = \frac{(F_{fast} - F_{slow})}{F_{slow}} \cdot 100 \%$$

На основе значения D система принимает решение о смене режима (таблица 1).

Таблица 1 – Смена режима

Текущее состояние	Условие перехода (D)	Следующее состояние	Действие системы
«Норма»	$D > \text{плюс } X \%$	«Стресс»	Плавный переход к успокаивающим стимулам (холодные цвета, спокойные мелодии)
«Норма»	$D < \text{минус } Y \%$	«Релаксация»	Поддержание или мягкое усиление релаксационного режима
«Стресс»	$\text{минус } Z \% < D < \text{плюс } Z \%$	«Норма»	Плавный возврат к нейтральным параметрам
«Релаксация»	$\text{минус } Z \% < D < \text{плюс } Z \%$	«Норма»	Плавный возврат к нейтральным параметрам
Примечание – X, Y, Z – экспериментально подобранные пороговые значения (например, X=10 %, Y=5 %, Z=3 %).			

Алгоритм работы логического блока:

1) на каждом шаге вычисляется отклонение D ;

2) проверяется выполнение условий для выхода из текущего режима;

3) при выполнении условия система инициирует плавный переход к новому режиму в течение заданного времени (например, 10-15 секунд), а не мгновенное переключение.

Предложенный алгоритм обладает низкой вычислительной сложностью, что позволяет реализовать его на микроконтроллере, и отвечает ключевому требованию – обеспечению плавного управления света и звука.

Для переключения между режимами работы устройства были установлены критерии на основе относительного отклонения текущей частоты сердечных сокращений от индивидуальной базовой линии. Базовый уровень ($F_{baseline}$) вычисляется как медленный сигнал (F_{slow}), представляющий усредненную частоту сердечных сокращений пользователя в состоянии покоя.

Критерии переключения режимов:

1) режим «Повышенный стресс» активируется при превышении быстрым сигналом (F_{fast}) базового уровня на $\geq 10\%$. Соответствует активации симпатической нервной системы (холодные цвета (синий, зеленый), спокойные мелодии (60-80 BPM));

2) режим «Норма» сохраняется в диапазоне отклонения от минус 5% до плюс 10%. Характеризует состояние баланса вегетативной нервной системы (нейтральный свет, фоновая музыка);

3) режим «Релаксация» активируется при снижении частоты сердечных сокращений ниже базового уровня на $\geq 5\%$. Свидетельствует о доминировании парасимпатической системы. (теплые цвета (оранжевый, лавандовый), медленные звуковые ландшафты (< 60 BPM))

Для предотвращения частых переключений введен гистерезис: переход из «Стресса» в «Норму» происходит при $D < \text{плюс } 8\%$, а из «Релаксации» - при $D > \text{минус } 3\%$.

Предложенный подход обеспечивает персонализацию управления на основе физиологических показателей и плавную адаптацию внешних стимулов к состоянию пользователя.

Литература

1. Шевцов, А. Н. Алгоритмы цифровой обработки сигналов в биоинформационных системах : монография / А. Н. Шевцов, М. К. Петрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Техносфера, 2020. – 245 с. – ISBN 978-5-00001-123-4;

2. Петров, К. Л. Применение адаптивных фильтров Калмана для сглаживания данных с пульсометров / К. Л. Петров // Цифровая обработка сигналов и ее применение (DSPA-2023) : сб. тр. XV Междунар. науч. конф. : в 2 т. – Москва, 2023. – Т. 1. – С. 112–115.

МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ КООРДИНАТ ОБЪЕКТА В ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ИЗМЕРЕНИЙ

При размещении технического оборудования на местности в ходе испытаний, измерений пространственных характеристик требуется точное определение полярных координат относительно локальной точки привязки. Как правило, подобные работы сопровождаются большим количеством ручного труда, поскольку координаты определяются с помощью ручных операций при участии нескольких человек. Как правило, требуется определение угловой координаты – направление относительно выбранного за нулевое, и расстояния до заданной точки размещаемого объекта. Имеется достаточно много приборов, позволяющих вручную выполнить данные операции. Для измерений расстояний может использоваться лазерный дальномер или измерительная лента, угол определяться нивелиром с ручным визированием. В любом случае, при таком выполнении работы возникает проблема «человеческого фактора», свойственная процессам с многочисленными повторяющимися операциями и необходимостью точного считывания показаний приборов [1].

При наличии возможности применения средств спутниковой геолокации выполнение подобных задач упрощается, и работа может быть автоматизирована. Однако это не всегда возможно и не всегда отвечает метрологическим требованиям точности определения координат в локальной системе измерений.

Нами были предложены методика проведения подобных измерений и разработаны устройства, которые в составе комплекса способны обеспечить локальные измерения полярных координат в горизонтальной плоскости с высокой точностью в автоматизированном режиме. Были учтены требования по минимизации доли ручных операций при проведении работ.

Комплекс предназначен для автоматизированного определения плоских полярных координат при проведении различных операций в локализованной рабочей зоне относительно центральной точки с возможностью точного позиционирования оборудования.

В состав комплекса входят:

- центральный блок (ЦБ), который обеспечивает управление комплексом во взаимодействии с компьютерным оборудованием и программным обеспечением (ПО). На этом блоке установлен прецизионный узел вращения сканирующей головки, на которой устанавливается лазерный дальномер с метрологически поверенным датчиком угловой скорости. При вращении сканирующей головки лазерный луч дальномера перемещаются по кругу в горизонтальной плоскости и используется для азимутального визирования точки расположения зонда-приемника;

- два маркерных блока (МБ), которые снабжены фотодатчиками для определения момента попадания луча лазерного дальномера при круговом сканиро-

вании. Маркерные блоки устанавливаются в точках рабочей зоны, где необходимо точное определение координат – места текущей установки зонда-приемника и фиксации основного направления (нулевой координаты угла);

- коммуникационные технические средства, обеспечивающие информационное взаимодействие составляющих комплекса в процессе измерений.

На рисунке 1 проиллюстрирован принцип действия комплекса при определении полярных плоскостных координат с использованием двух маркерных блоков МБ (М0 и М1), М0 установлен на координатной оси, а М1 в месте расположения объекта.

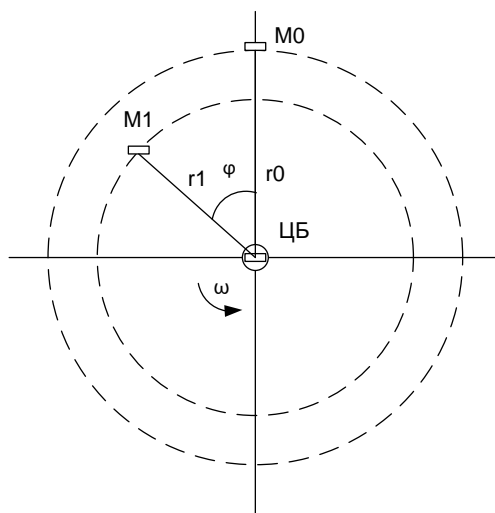


Рисунок 1 – Принцип действия комплекса при определении плоскостных полярных координат

ЦБ с прецизионным сканером размещается в центре рабочей зоны там, где фиксируется точка нулевой координаты. Над сканером центрального блока может размещаться аппаратура, требующая точной фиксации и привязки к нулевой точке координат (антенна, оптическое устройство и т.п.). Установочная платформа размещается над сканером таким образом, что проекция точки привязки попадает на центр вращения сканера.

На вращающейся головке сканера расположен лазерный дальномер, луч которого при круговом сканировании используется для определения направления и определения расстояния до каждого маркерного блока. М0 устанавливается в направлении нулевой оси на граничном расстоянии выбранной рабочей зоны. При попадании луча лазера на фотодатчик маркерного блока формируется сигнал, который фиксирует момент считывания параметра дальность с дальномера и временную отсечку для расчета угла. Поскольку за один оборот сканера луч лазера проходит два МБ, формируется два сигнала. М0 в ходе работ не перемещается и используется для обеспечения нулевого отсчета угловых координат. М1 фиксируется в текущей позиции расположения позиционированного объекта. Таким образом, при прохождении лучом полного круга сканирования формируется два сигнала от двух МБ. Интервал времени между этими используется при расчете угла φ между направлением на М1 и осью антенны.

Отметим, что сканер ЦБ оснащен датчиком скорости с метрологической

поддержкой, что обеспечивает выполнение соответствующего требования к измерительному комплексу и необходимую точность измерения угла. Расстояние определяется по показанию метрологически поверенного дальномера, фиксация данных с которого происходит в момент попадания лазерного луча на фотодатчик МБ. При необходимости число МБ в составе комплекса может быть увеличено в интересах повышения эффективности проведения контрольно-измерительных работ.

Обычно при проведении подобных работ участвует несколько человек, а само определение координат требует множества ручных работ в ходе процесса измерений в контрольных точках рабочей зоны. При работе с данным комплексом достаточно одного оператора. К тому же исключаются ошибки «человеческого фактора» при проведении пространственных измерений. Размер рабочей области определяется параметрами дальнометров и коммуникационными возможностями подключения маркерных плат. В текущей версии комплекса используется интерфейс RS485, а синхронизация работы составляющих комплекса обеспечивается в реальном времени. Данные координат протоколируются и сохраняются вместе с данными измерений с привязкой к реальному времени.

При разработке комплекса использовалась доступная элементная база и технические решения, обеспечивающие эффективное применение в полевых условиях.

В ЦБ размещается основная плата, обеспечивающая общее управление системой. Структурная схема основной платы представлена на рисунке 2.

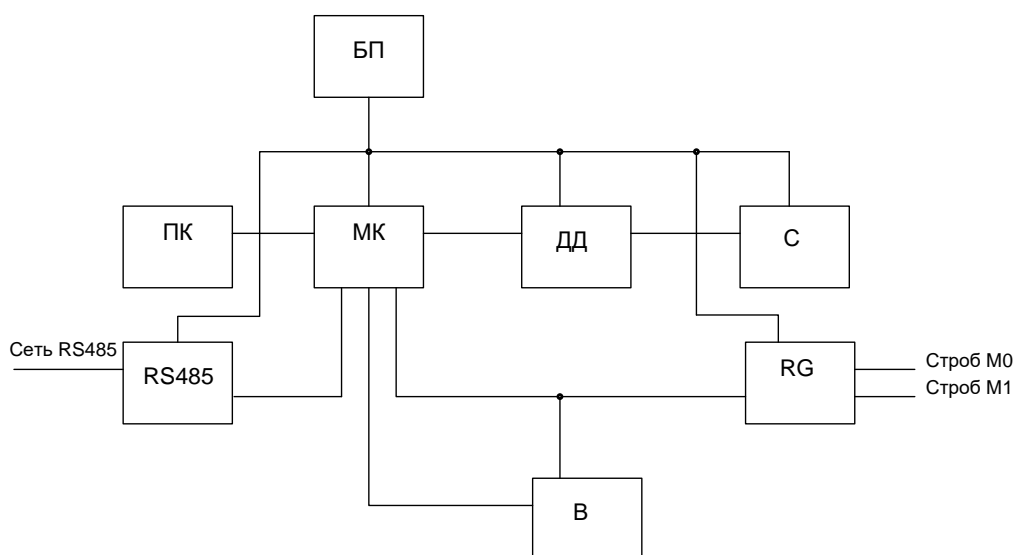


Рисунок 2 – Структурная схема ЦБ

Программное управление системой [2] обеспечивает микроконтроллер (МК), находящийся в информационном взаимодействии с компьютером (ПК) с установленным на нем ПО измерительного комплекса (ИК). Управление вращением сканера С, обеспечивающего формирование лазерной круговой развертки, производится с помощью драйвера двигателя (ДД). Установленный на сканере дальномер (В) передает МК данные об измеренной дальности по сиг-

налам буферного формирователя (RG), на который поступают стробирующие сигналы от МБ М0 и М1 в моменты попадания на них лазерного луча развертки. Для информационного взаимодействия с МБ использован интерфейс RS-485. Блок питания (БП) обеспечивает необходимые напряжения и токи для электропитания системы.

ЦБ необходим для выполнения следующих функций:

- общение с ПК;
- отслеживание и использование данных с оптического дальномера;
- получение и анализ данных от МБ;
- получение данных об угловой скорости вращения сканера;
- управление двигателем сканера посредством драйвера двигателя (ДД) на основе команд МК;
- контроль фаз двигателя для обеспечения точного вращения сканера.

В МБ установлены идентичные платы фиксации прохождения луча и коммуникационные интерфейсы. Структурная схема платы МБ представлен на рисунке 3. В составе платы имеется МК, который обеспечивает программное управление функций данного блока, фотодатчик (ФД) для фиксации момента прохождения лазерного луча сканера, формирователь импульса (ФИ) сигнала «Строб», передаваемого на ЦБ в момент фиксации луча лазера.

Блок питания (БП) обеспечивает электропитание устройства.

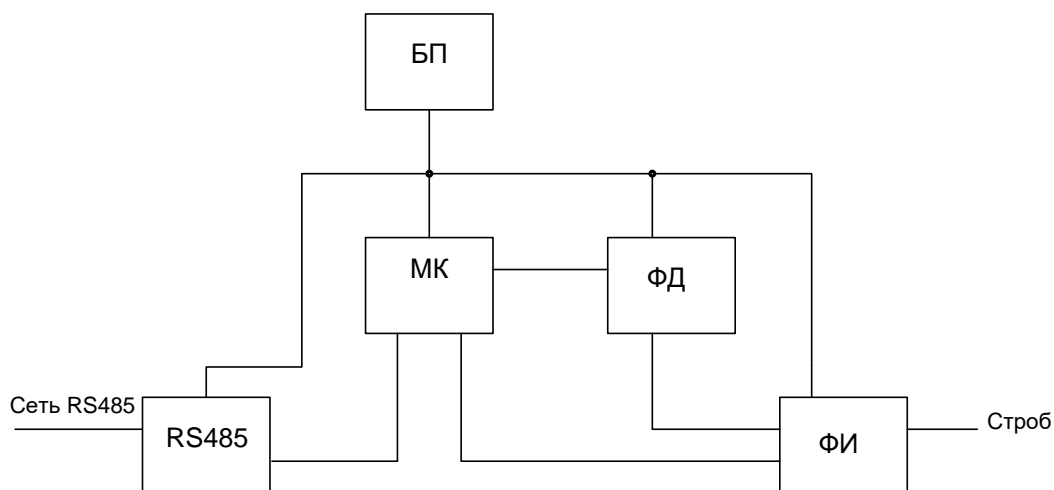


Рисунок 3 – Структурная схема маркерного блока

Платы МБ обеспечивают выполнение следующих функций:

- обнаружение луча оптического дальномера с помощью фотодатчика, генерация сигнала стробирования при попадании луча на датчик;
- обмен данными с ЦБ через коммуникационный интерфейс.

Методика юстировки подразумевает под собой несколько этапов.

1. Подготовка к измерениям:

- калибровка оптического дальномера (проверка точности измерений и настройка параметров);
- установка ЦБ и платформы с центральным объектом (например, антен-

ной), контроль и регулировка центра вращения сканера с проекцией точки привязки объекта;

- размещение маркерного блока М0 на центральной оси с помощью лазерного целеуказателя.

2. Основные этапы контрольно-измерительных работ и юстировки включает в себя:

- включение ЦБ и проверка его работы при перемещении МБ М1 в разных точках рабочей зоны.

- прикрепление МБ М1 к перемещаемому объекту (датчику поля, зонду).

- установка измерительного узла в контролируемой точке, проведение измерений, точное определение полярных координат по данным системы.

Метрологическая поддержка обеспечивается следующим:

- использование метрологически поверенного оптического дальномера для определения дальности;

- использование в сканере метрологически поверенного датчика скорости вращения и прецизионного электродвигателя для определения угловых координат;

- многократное определение координат и усреднение для повышения точности измерений;

- использование программной обработки и документирование результатов, исключающих влияние человеческого фактора.

Развертывание комплекса и подготовка его к работе не представляет сложности, сам процесс получения координат адаптирован к методикам измерений антенн, данные фиксируются и обрабатываются автоматически без возможности негативного влияния действий оператора на точность измерений.

Литература

1. Васильев Н. Н. Оптические методы измерений: Основы оптических измерений. – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2017. – 254 с.

2. Трофимов А. А., Ковалев А. В. Микроконтроллеры и системы управления: Программирование микроконтроллеров: учебное пособие. – М.: МИФИ, 2019. – 178 с.

3. Строев Н.Н., Петрова С.А. Подходы к проектированию контрольно-измерительного стенда для проведения юстировочных работ радиотехнических систем // ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2024 Сб. трудов XIII ой Национальной научно-технической конференции с международным участием. В.2 т. Т. 2, 2024. - С.: филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 2024. С. 255-260.

4. Строев Н.Н., Петрова С.А. Аппаратные и программные модули юстировочного комплекса// ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2024 Сб. трудов XIII ой Национальной научно-технической конференции с международным участием. В.2 т. Т. 2, 2024. - С.: филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 2024. С. 250-255.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КВАЗИОПТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВОВ НА ОСНОВЕ ДВУХЛИНЗОВОЙ СИСТЕМЫ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИА- ПАЗОНЕ ВОЛН

Освоение миллиметрового диапазона длин волн является одной из ключевых задач современной радиофизики и техники. Этот диапазон привлекателен для систем связи, радиолокации и радиоастрономии благодаря возможности получения высокой разрешающей способности при малых габаритах антенных систем и широкой полосе пропускания. Эффективным подходом к созданию антенн в данном диапазоне является использование принципов квазиоптики. Квазиоптические системы, основанные на применении линз и зеркал, позволяют формировать узконаправленные пучки электромагнитных волн с высокой эффективностью. Целью статьи является проведение обзорного анализа применения квазиоптических объективов, состоящих из двух преломляющих поверхностей, для формирования заданных полей в миллиметровом диапазоне.

Линзовые антенны представляют собой устройства, в которых для преобразования фронта волны используются преломляющие свойства диэлектрических сред [1]. Простейшая однолинзовая система, будучи эффективной, обладает рядом ограничений, главным из которых является наличие аберраций (искажений). Это приводит к неоптимальному распределению фазы в раскрыве антенны и, как следствие, к ухудшению ее диаграммы направленности (ДН) – расширению главного лепестка и росту уровня боковых. Для компенсации аберраций применяются более сложные объективы, имеющие две и более преломляющие поверхности. Использование двухповерхностной линзы из однородного диэлектрика отображённой на рисунке 1, позволяет не только осуществить трансформацию формы волны, но и получить дополнительную степень свободы для управления распределением поля. Такие системы позволяют не только устранить сферическую аберрацию, но и выполнить условие синусов (условие Аббе), что критически важно для сканирующих антенн, работающих в широком угловом секторе.

Ключевым понятием при анализе таких систем является апертура (раскрыв) – поверхность, через которую происходит основное излучение энергии. Характеристики излучения антенны полностью определяются распределением амплитуды и фазы поля в апертуре. Основная задача квазиоптического объектива заключается в формировании на выходе, в плоскости апертуры, поля с заданными параметрами. Как правило, стремятся получить синфазное поле (плоский фазовый фронт), что обеспечивает максимальную дальность и направленность излучения. Амплитудное распределение также целенаправленно формируется: для получения узкого луча его делают равномерным, а для снижения уровня боковых лепестков – спадающим к краям апертуры. В двухлинзовых объективах, в отличие от

однолинзовых, можно формировать амплитудное распределение, близкое к оптимальному, как показано на рисунке 2, без существенных потерь энергии. Уменьшение толщины, массы и потерь в линзе может быть достигнуто путем ее зонирования, что является одной из форм оптимизации объектива.

Геометрия фокусирующей
двухповерхностных линз
освещенная (α)
 $n > 1$

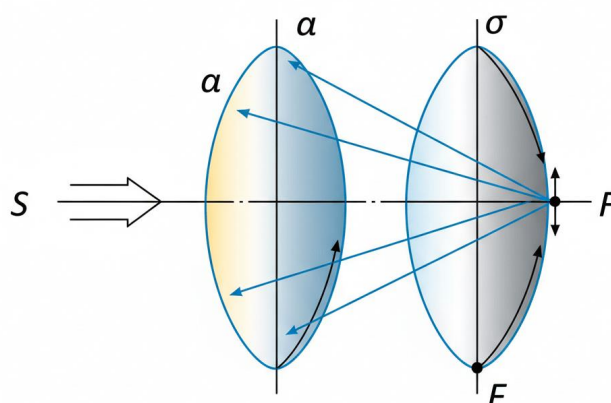


Рисунок 1 – Геометрия фокусирующих двухповерхностных линз при $n > 1$ α) с заданной освещенной поверхностью; σ) теневой поверхностью

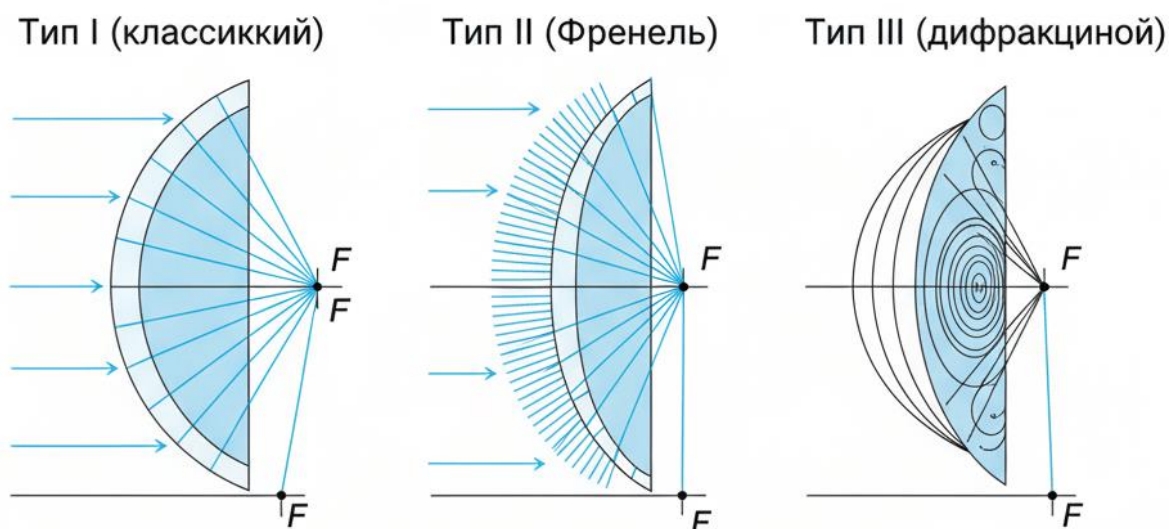


Рисунок 2 – Различные типы зонирования фокусирующих одноповерхностных линз из однородного диэлектрика для уменьшения их массы и потерь

Пространство, окружающее антенну, принято делить на несколько зон, в которых поле имеет различную структуру. Границы этих зон зависят от размеров апертуры (D) и длины волны (λ). Ближняя зона (зона Френеля) простирается от апертуры до расстояния $R \approx 2D^2/\lambda$. В этой области поле имеет сложную интерференционную картину, а понятие сформированной ДН неприменимо. Анализ поля в ближней зоне важен для систем ближней

радиолокации или при измерениях. Дальняя зона (зона Фраунгофера) начинается с расстояния $R > 2D^2/\lambda$. В ней электромагнитное поле можно считать плоской волной, а его угловое распределение (ДН) уже не зависит от расстояния. Для антенн миллиметрового диапазона граница дальней зоны может быть существенной. Например, для антенны диаметром $D = 0.5$ м, работающей на частоте 30 ГГц ($\lambda = 10$ мм), граница дальней зоны составит $R = 50$ м, что подчеркивает важность правильного расчета полей как в дальней, так и в ближней зонах.

Практическая реализация этих принципов находит отражение в многочисленных конструкциях квазиоптических объективов миллиметрового диапазона. Например, в работе [1] представлен квазиоптический объектив, реализованный в виде двухслойной передающей решетки (трансмит-решетки). Хотя такая структура не является линзой в классическом диэлектрическом исполнении, на рисунке 3 показано, что она выполняет аналогичную функцию фазовой трансформации падающей волны, позволяя за счет двухслойной метаповерхности расширить рабочую полосу частот при сохранении высокого усиления.

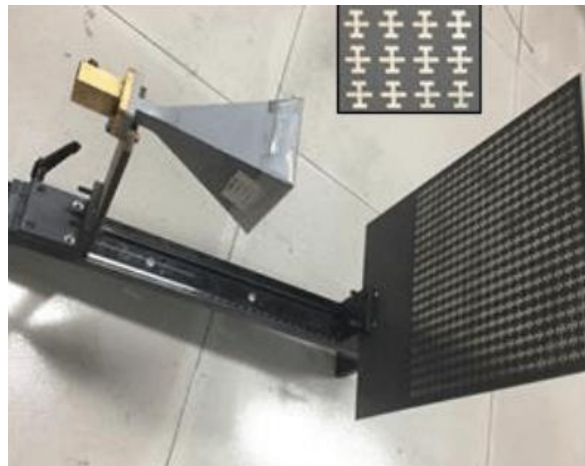


Рисунок 3 – Широкополосная двухслойная линзовая антенна на основе мета поверхности

Также в работе [2] исследовали применение квазиоптического объектива на основе двухлинзовой системы в миллиметровых автомобильных радарах. Такой объектив, реализованный в виде комбинации расширенной полусферической (иммерсионной) и планосферической (объективной) линз, обеспечивает высокую направленность излучения при сканировании в широком угловом секторе (до $\pm 30^\circ$, что соответствует полю зрения 60°) и демонстрирует низкие сканирующие потери. В работе исследовалась система, рассчитанная на рабочую частоту 77 ГГц, характерную для автомобильных радиолокационных комплексов. Результаты численного моделирования и экспериментальных измерений подтвердили способность подобной конфигурации формировать узкие и стабильные диаграммы направленности при компактных габаритах, что делает её перспективной для использования в

системах дальнего радиолокационного зондирования, пример которой показан на рисунке 4.

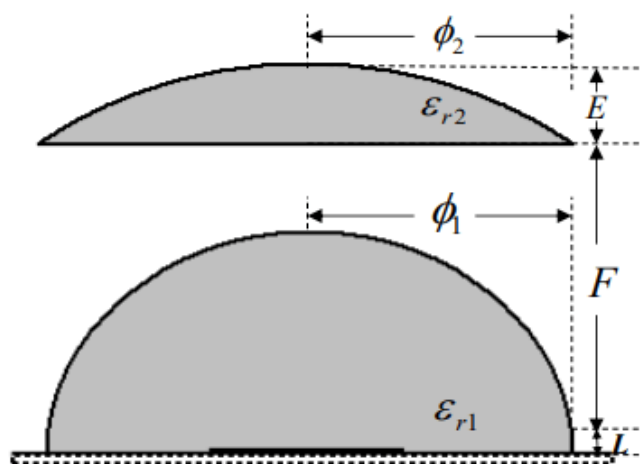


Рисунок 4 – Сечение двухлинзовой антенны, E – толщина объективной линзы; F – расстояние от плоскости питания до линзы; ϕ_1, ϕ_2 – радиусы иммерсионной и объективной линз; L – удлинение полусферической линзы; $\epsilon_{r1}, \epsilon_{r2}$ – относительные диэлектрические проницаемости материалов.

В отечественной практике также разрабатываются классические двухлинзовые квазиоптические объективы, как показано на рисунке 5, где использование двух линз специального профиля позволяет сформировать ДН с низким уровнем боковых лепестков в широком секторе сканирования [3]. Эти примеры демонстрируют, что современные квазиоптические объективы могут иметь разнообразные конструктивные реализации, решая актуальные задачи антенной техники.

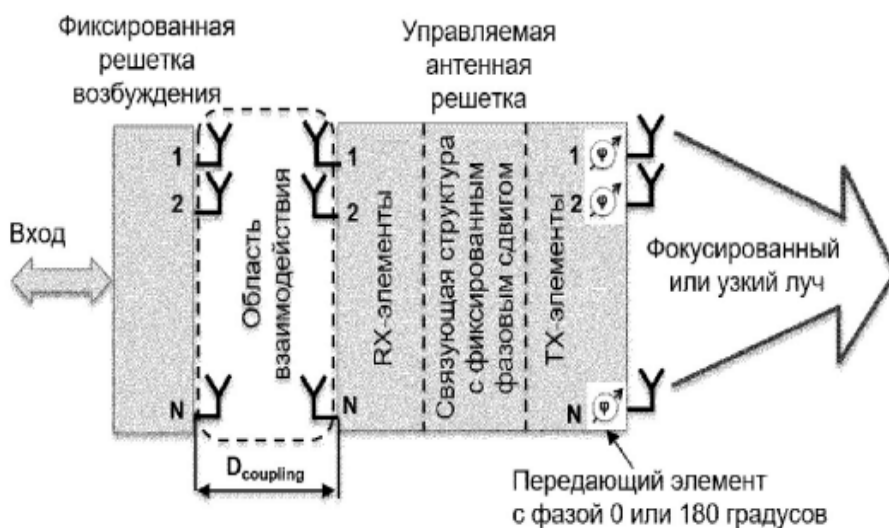


Рисунок 5 – Конструкция двух линзовой антенны для миллиметрового диапазона

Таким образом, применение квазиоптических объективов, в частности двухлинзовых, является высокоэффективным и гибким подходом к созданию антенных систем в миллиметровом диапазоне [4]. Такие объективы, в отличие от однолинзовых схем, предоставляют дополнительные степени свободы для компенсации фазовых aberrаций и целенаправленного формирования амплитудного распределения поля в апертуре. Это напрямую транслируется в улучшение ключевых радиотехнических характеристик: повышение коэффициента направленного действия, снижение уровня боковых лепестков и расширение сектора сканирования. Правильный учет структуры поля в ближней и дальней зонах является ключевым при проектировании таких квазиоптических объективов для широкого круга задач в области радиолокации, связи и измерительной техники.

Литература

1 Wu, G. et al. A Wideband Two-Layer Transmitarray Lens Antenna for Millimeter-Wave Applications // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2022. – Vol. 70. – No. 5. – P. 3477-3486.

2 Sönmez, N., Tokan, F., Türker Tokan, N. Double Lens Antennas in Millimeter-Wave Automotive Radar Sensors // ACES Journal. – 2017. – Vol. 32, No. 10. – P. 901–907.

3 Патент № 2755432 Российская Федерация, МПК H01Q 15/08. Широкоугольная двухлинзовая антенна миллиметрового диапазона: № 2020141234: заявл. 10.12.2020; опубл. 15.09.2021 / Котов А. И., Гринев Ю. А., Семенов С. Н. – 9 с.

4 Воскресенский Д. И., Филиппов В. С. Линзовые антенные решетки: Современное состояние и перспективы // Успехи современной радиоэлектроники. – 2020. – № 7. – С. 5-21.

*Е.С. Сулимский, асп.; Н.Д. Кравченко, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ДВУХЛИНЗОВЫХ КВАЗИ-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Освоение миллиметрового диапазона длин волн является одним из ключевых направлений развития современных и перспективных систем беспроводной связи, включая сети пятого и шестого поколений, радиолокации высокого разрешения, радиоастрономии и систем радиовидения. Эффективная работа в этом диапазоне требует применения антенных систем с высокой направленностью, способных формировать узкие лучи для концентрации энергии в заданном направлении [1]. Среди различных типов антенн значительное применение находят линзовые антенны, принцип действия которых заимствован из классической оптики и заключается в преобразовании сферического или цилиндрического фронта волны от облучателя в плоский фронт на выходе из антенны.

Применение однолинзовых систем часто сопряжено с компромиссом между простотой конструкции и достигаемыми характеристиками. Для них характерны aberrации, в первую очередь кома и астигматизм, возникающие при смещении облучателя из фокуса для сканирования луча, что ограничивает сектор обзора и снижает качество диаграммы направленности (ДН). Существенным шагом в преодолении этих ограничений является переход к более сложным двухлинзовым квазиоптическим системам. Такие системы,

аналогично двухзеркальным антеннам, предоставляют дополнительные степени свободы для коррекции фазовых искажений и аберраций, что позволяет расширить угол сканирования и улучшить форму ДН. Однако усложнение конструкции требует применения точных методов моделирования и алгоритмов оптимизации для полного раскрытия их потенциала.

Расчет и проектирование таких сложных систем невозможны без использования современных систем автоматизированного проектирования (САПР), которые позволяют проводить полноволновое электродинамическое моделирование. Применение САПР необходимо по нескольким причинам. Во-первых, аналитические решения для линз со сложными асферическими профилями отсутствуют, и только численные методы могут точно рассчитать их характеристики. Во-вторых, САПР позволяют учесть дифракционные и поляризационные эффекты, а также влияние элементов конструкции (облучателя, креплений), которые невозможно описать в рамках упрощенных моделей. В-третьих, процесс оптимизации, требующий сотен и тысяч итераций для пересчета характеристик при изменении геометрии, может быть эффективно реализован только в автоматизированном режиме.

На рынке представлен ряд программных пакетов, подходящих для решения данной задачи, каждый со своими особенностями:

- *Ansys HFSS* является одним из индустриальных стандартов для моделирования высокочастотных устройств. В его основе лежит метод конечных элементов, который обеспечивает высокую точность при расчете электромагнитных полей в структурах со сложной геометрией и неоднородными диэлектрическими материалами, что идеально подходит для анализа линзовых антенн;

- *CST Microwave Studio (Dassault Systèmes)* – основной конкурирующий пакет, использующий преимущественно метод конечных интегралов. Он особенно эффективен для анализа широкополосных устройств и сложныхборок, предоставляя широкий набор решателей для различных классов задач;

- *Altair Feko* – программный комплекс, сильной стороной которого является гибридизация различных численных методов. Для квазиоптических систем особенно ценна возможность комбинировать высокоточные методы (МКЭ или метод моментов) для моделирования облучателя и асимптотические методы (физическая оптика) для расчета больших линз, что значительно ускоряет процесс моделирования без существенной потери точности.

- *Zemax OpticStudio / Ansys Speos* представляют собой инструменты, пришедшие из мира классической оптики [2]. Они идеально подходят для начального этапа проектирования на основе методов геометрической оптики (трассировки лучей) для синтеза профилей линз и коррекции аберраций. Однако для точного анализа ДН с учетом дифракции требуется экспорт геометрии в полноволновые электродинамические симуляторы, такие как *HFSS* или *CST*.

Именно в среде таких САПР и реализуется процесс численной оптимизации, направленный на поиск такого набора геометрических и

физических параметров, который обеспечивает наилучшее соответствие заданным требованиям. Ключевыми параметрами для оптимизации являются профили всех четырех преломляющих поверхностей, расстояние между линзами, положение облучателя и диэлектрическая проницаемость материала линз [3]. В качестве целевых функций, как показано на рисунке 1, в процессе оптимизации обычно выступают максимизация коэффициента направленного действия или коэффициента использования поверхности апертуры, а также минимизация уровня боковых лепестков в ДН.

В результате оптимизации в среде САПР удастся значительно улучшить характеристики антенны. Например, за счет точной подстройки профилей линз можно добиться существенного подавления первого и последующих боковых лепестков ДН, что критически важно для снижения восприимчивости к помехам и улучшения электромагнитной совместимости [4]. Помимо этого, оптимизация направлена на максимизацию коэффициента направленного действия путем формирования более равномерного амплитудно-фазового распределения поля в раскрытии, что повышает коэффициент использования поверхности. Для сканирующих систем ключевой задачей оптимизации также является минимизация абберационных искажений при отклонении луча, что позволяет сохранить высокие характеристики ДН в широком угловом секторе. Оптимизированные двухлинзовые системы способны формировать ДН с уровнем боковых лепестков до $-(20-25) \text{ дБ}$ и ниже, что является значительным улучшением по сравнению с типовыми однолинзовыми аналогами.

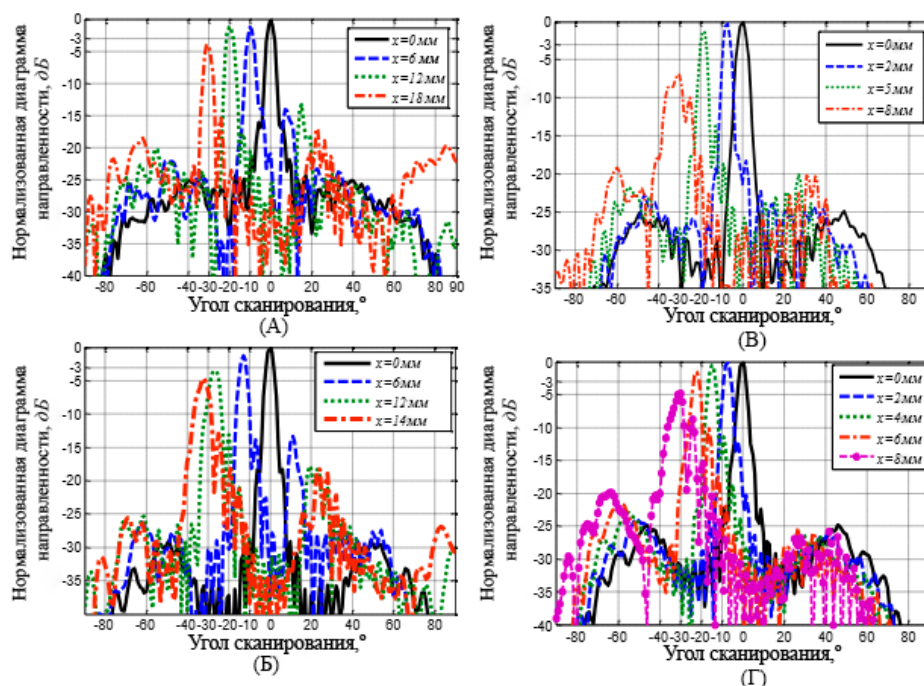


Рисунок 1 – Диаграмма направленности (ДН) в полярных координатах, полученная в результате численного моделирования: сравнение исходной геометрии (пунктир) и геометрии после оптимизации (сплошная линия).

Таким образом, проектирование высокоэффективных двухлинзовых квазиоптических систем для миллиметрового диапазона является комплексной задачей, решение которой лежит на стыке классической оптики и современной вычислительной электродинамики [5]. Именно синергия между методами геометрической оптики, используемыми для первоначального синтеза, и полноволновым моделированием в САПР, применяемым для тонкой оптимизации и верификации, позволяет создавать антенны с высокими радиотехническими характеристиками, полностью отвечающие требованиям перспективных систем связи и радиолокации.

Литература

- 1 Жук, М. С., Молочков, Ю. Б. Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапазонных антенн и фидерных устройств. – Москва: Энергия, 1973. – 440 с.
- 2 Chen, X. et al. A Compact Dual-Lens Antenna with Wide-Angle Scanning for Millimeter-Wave Applications // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22. – No. 19. – P. 7397.
- 3 Патент № 2755432 Российская Федерация, МПК H01Q 15/08. Широкоугольная двухлинзовая антенна миллиметрового диапазона: № 2020141234: заявл. 10.12.2020; опубл. 15.09.2021 / Котов А. И., Гринев Ю. А., Семенов С. Н. – 9 с.
- 4 Воскресенский, Д. И., Филиппов, В. С. Линзовые антенные решетки: Современное состояние и перспективы // *Успехи современной радиоэлектроники*. – 2020. – № 7. – С. 5-21.
- 5 Sönmez, N., Tokan, F., Türker Tokan, N. Double Lens Antennas in Millimeter-Wave Automotive Radar Sensors // *ACES Journal*. – 2017. – Vol. 32, No. 10. – P. 901–907.

*Е.С. Сулимский, асп.; Н.Д. Кравченко, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИОСИСТЕМ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Программно-определяемые радиосистемы (*SDR*) произвели революцию в радиотехнике, обеспечив беспрецедентную гибкость за счет программного управления параметрами приемопередающего тракта. Сегодня *SDR* широко применяются в системах связи, навигации и радиолокации. Однако большинство доступных *SDR*-платформ (например, *Ettus USRP*, *LimeSDR*, *HackRF*) имеют рабочий диапазон частот, ограниченный, как правило, 6-8 ГГц. Это препятствует их прямому использованию в миллиметровом диапазоне (30-300 ГГц), который является ключевым для многих современных радиолокационных приложений: автомобильные радары (76-81 ГГц), системы безопасности, атмосферные исследования и медицинская диагностика. Высокая несущая частота позволяет получать высокое пространственное разрешение при малых габаритах антенных систем [1].

Для работы *SDR* в миллиметровом диапазоне необходим внешний преобразователь частоты (фронтенд), который переносит принимаемый сигнал из высокочастотной области в диапазон, доступный для оцифровки *SDR*-приемником. Традиционно такие устройства строятся на основе волноводной техники. Однако на частотах выше 60 ГГц волноводные компоненты сталкиваются с серьезными трудностями: ростом омических потерь,

технологической сложностью изготовления компонентов с малым поперечным сечением и снижением их электрической прочности.

Перспективной альтернативой является квазиоптический подход. Квазиоптика – это раздел радиофизики, изучающий распространение и преобразование волновых пучков, поперечные размеры которых значительно превышают длину волны [2]. В таких системах для управления распространением волны применяются элементы, аналогичные компонентам оптических систем: линзы, зеркала, поляризаторы и делители мощности. В отличие от волноводных систем, где энергия распространяется внутри металлической структуры, квазиоптический тракт оперирует с направленными волновыми пучками (чаще всего гауссовыми) в свободном пространстве.

Помимо диэлектрических линз и металлических зеркал, используемых для фокусировки и направления волновых пучков, в квазиоптических системах применяются и другие ключевые пассивные компоненты. К ним относятся частотно-селективные поверхности, выполняющие функции фильтров и диплексеров, а также поляризационные сетки для управления состоянием поляризации волны. Грамотное сочетание этих элементов позволяет создавать сложные и эффективные устройства, такие как смесители и аттенюаторы, с минимальными вносимыми потерями, что является фундаментальным преимуществом квазиоптики перед волноводной техникой на высоких частотах.

На рисунке 1 показан основной принцип работы SDR-системы миллиметрового диапазона заключается в гетеродинном преобразовании частоты. Внешний квазиоптический фронтенд выполняет функцию понижающего конвертера, перенося сигнал с высокой радиочастоты (f_{RF}) на промежуточную частоту (f_{IF}) которая попадает в рабочий диапазон SDR.

Промежуточная частота вычисляется как $f_{IF} = |f_{RF} - f_{LO}|$, где f_{LO} – частота сигнала гетеродина [3]. Структурная схема такой системы включает антенну (линзовую, рупорную или зеркальную), гетеродин и квазиоптический смеситель, где принятый и гетеродинный сигналы в виде волновых пучков фокусируются линзами и подаются на нелинейный элемент (например, диод Шоттки). Полученный сигнал ПЧ (например, при $f_{RF}=40 ГГц$ и $f_{LO}=39 ГГц \rightarrow f_{IF}=1 ГГц$) усиливается, фильтруется и подается на вход SDR-приемника для последующей оцифровки и обработки [4].

Интеграция квазиоптических технологий с SDR-платформами, показанная на рисунке 2, является перспективной для решения широкого круга задач:

- автомобильные радары (76-81 ГГц) для систем помощи водителю (ADAS);
- системы безопасности для обнаружения малоразмерных объектов (например, дронов);
- промышленная автоматизация для бесконтактного мониторинга;
- медицинская диагностика;
- научные исследования, такие как радиолокационное картографирование.

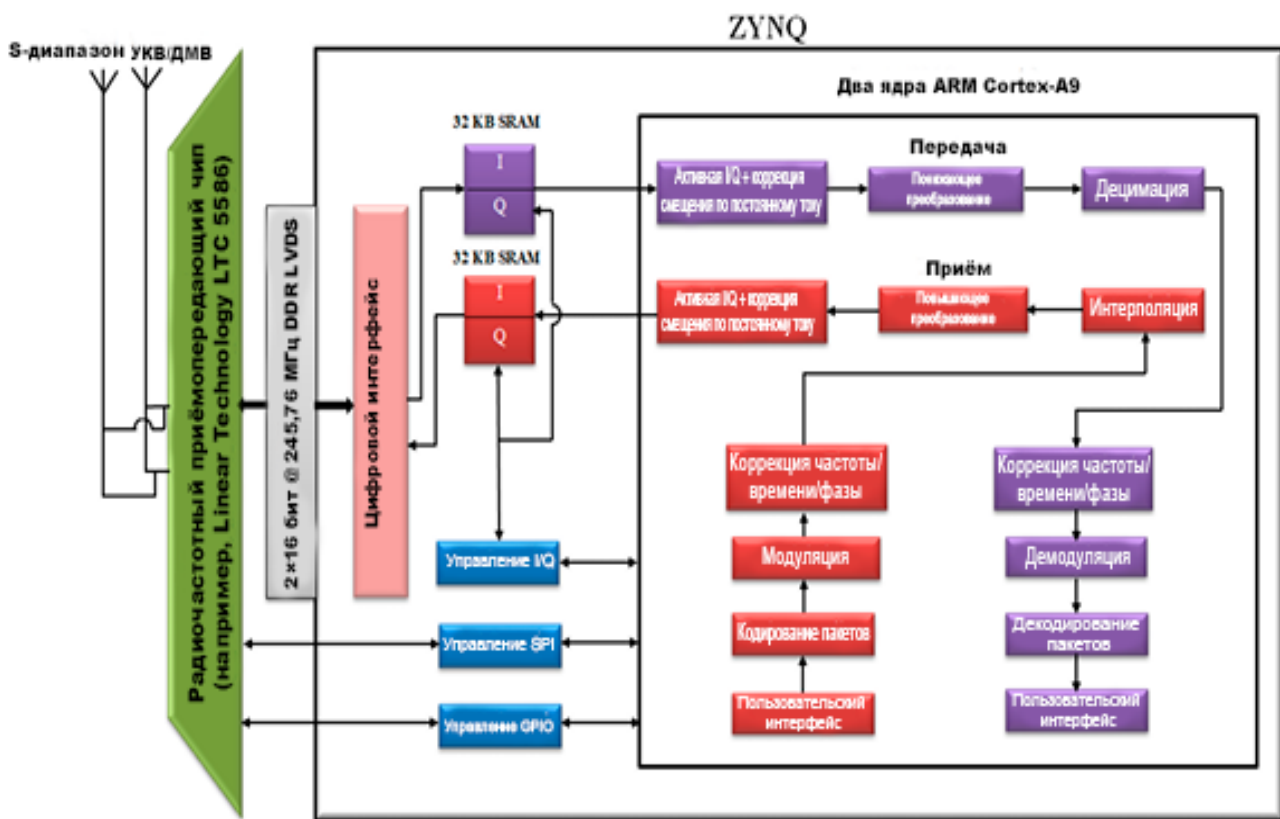


Рисунок 1 – Структурная схема SDR-системы с разделением на аналоговый ВЧ-модуль и цифровую платформу обработки на базе СпК

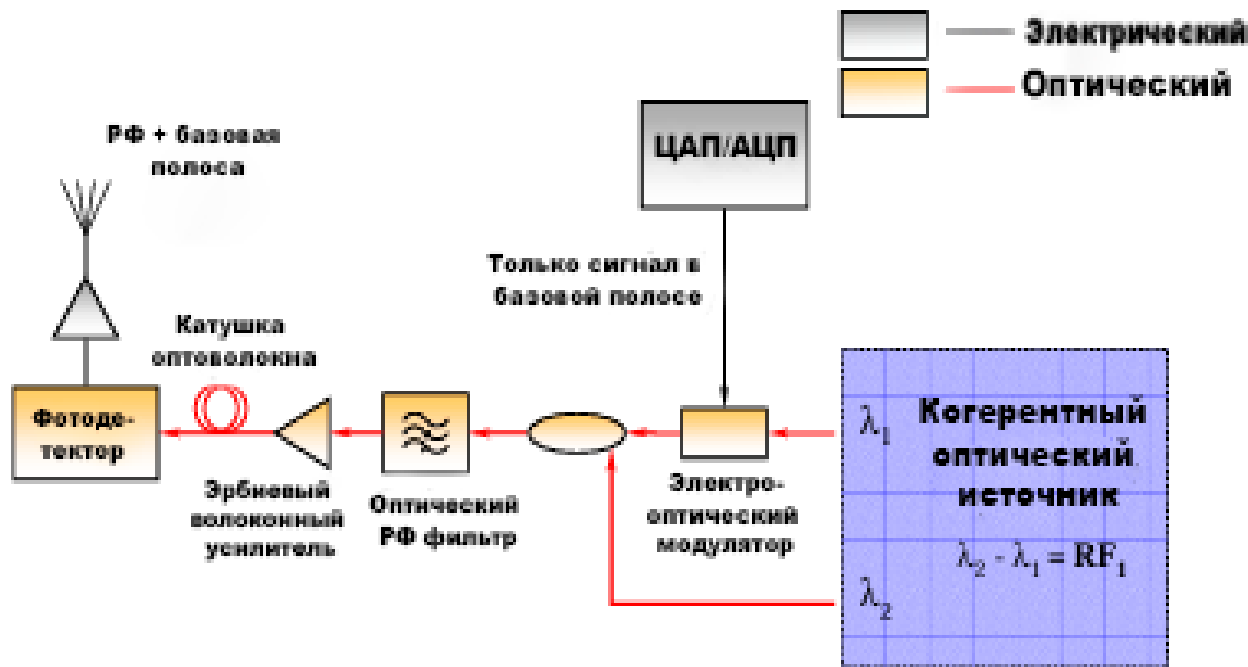


Рисунок 2 – Пример лабораторной реализации оптической системы фазовой автоподстройки частоты (*Optical PLL*), выполняющей функции высокостабильного гетеродина для смесителя

Таким образом, применение квазиоптических систем позволяет эффективно преодолеть частотные ограничения современных SDR-платформ и открывает широкие возможности для их использования в миллиметровом диапазоне. Использование как классических квазиоптических элементов, таких как линзы и зеркала, так и подходов микроволновой фотоники, где для формирования стабильных гетеродинных сигналов применяются оптоволоконные компоненты, фотодетекторы и системы фазовой автоподстройки частоты, позволяет снизить омические потери, расширить рабочую полосу частот и упростить конструкцию по сравнению с традиционными волноводными решениями [5]. Такие фронтенды способны сделать технологии миллиметрового диапазона более доступными для широкого круга разработчиков. Дальнейшее развитие данного направления связано с миниатюризацией квазиоптических компонентов, разработкой интегрированных квазиоптико-электронных модулей и их объединением с фотонными технологиями.

Литература

- 1 Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапазонных антенн и фидерных устройств. – М.: Энергия, 1973. – 440 с.
- 2 Goldsmith, P. F. (1998). Quasioptical Systems: Gaussian Beam Quasioptical Propagation and Applications. IEEE Press.
- 3 Saleh, A. A. M. (1981). Theory of open resonators. In Quantum Electronics and Electronics, 1.
- 4 Bélisle, C., Paquet, S., Seregelyi, J., et al. (2005). All-Optical Microwave Front End for SDR. In Proceedings of the SDR 05 Technical Conference and Product Exposition. SDR Forum.
- 5 Pucker, L. (1999). SDR Architecture. In SDR Forum, Technical Report 2.1: Architecture and Elements of Software Defined Radio Systems as Related to Standards. SDR Forum.

Е.С. Сулимский, асп.; К.С. Маслов, студ.

(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КВАЗИОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Развитие радиотехники, в частности в миллиметровом диапазоне длин волн, неразрывно связано с совершенствованием антенно-фидерных устройств. Особое место среди них занимают квазиоптические системы, такие как линзовые антенны, которые позволяют формировать узконаправленные диаграммы направленности (ДН). Эффективность, надежность и эксплуатационные характеристики таких систем в значительной степени определяются свойствами используемых материалов, в первую очередь диэлектриков. Выбор оптимального материала является ключевой задачей на этапе проектирования, поскольку он напрямую влияет на такие параметры, как коэффициент полезного действия (КПД), уровень боковых лепестков и широкополосность [1]. Целью работы является проведение сравнительного анализа различных диэлектрических материалов, применяемых в

квазиоптических системах миллиметрового диапазона, на основе их физических и электрических характеристик.

Основными параметрами, характеризующими пригодность диэлектрика для использования в квазиоптических устройствах, являются диэлектрическая проницаемость (ϵ_r) и тангенс угла диэлектрических потерь ($tg\delta$). Диэлектрическая проницаемость определяет коэффициент преломления материала ($n = \sqrt{\epsilon_r}$) и, как следствие, габариты и массу линзового устройства. Тангенс угла потерь характеризует поглощение электромагнитной энергии в материале, что приводит к снижению КПД антенны и ее нагреву. Для миллиметрового диапазона эти потери становятся особенно существенными. Важным достоинством многих диэлектриков является слабая зависимость их электрических характеристик от частоты, что позволяет создавать на их основе широкополосные антенные системы.

Применяемые в радиотехнике диэлектрики можно условно разделить на природные и искусственные. К природным относятся такие материалы, как кварц, слюда и другие. Искусственные диэлектрики, в свою очередь, представляют собой композиционные материалы, состоящие из диэлектрической основы и включенных в нее металлических или диэлектрических частиц определенной формы и размера. Такие структуры позволяют в широких пределах управлять эффективным коэффициентом преломления.

В качестве примера рассмотрим свойства некоторых распространенных диэлектриков, представленные в [2]. На рисунке 1 из указанной книги приводятся характеристики ряда материалов на различных длинах волн. Например, для полистирола значение ϵ_r составляет около 2,55, а $tg\delta$ – порядка $0,45 \cdot 10^{-3}$ на длине волны $\lambda = 10$ см. Фторопласт-4, обладая несколько меньшей диэлектрической проницаемостью ($\epsilon_r \approx 2,0$), демонстрирует значительно меньшие потери ($tg\delta \approx 2 \cdot 10^{-4}$). Керамика, напротив, имеет высокую диэлектрическую проницаемость ($\epsilon_r > 5$), что позволяет уменьшить габариты устройств, но обладает более высокими потерями [3].

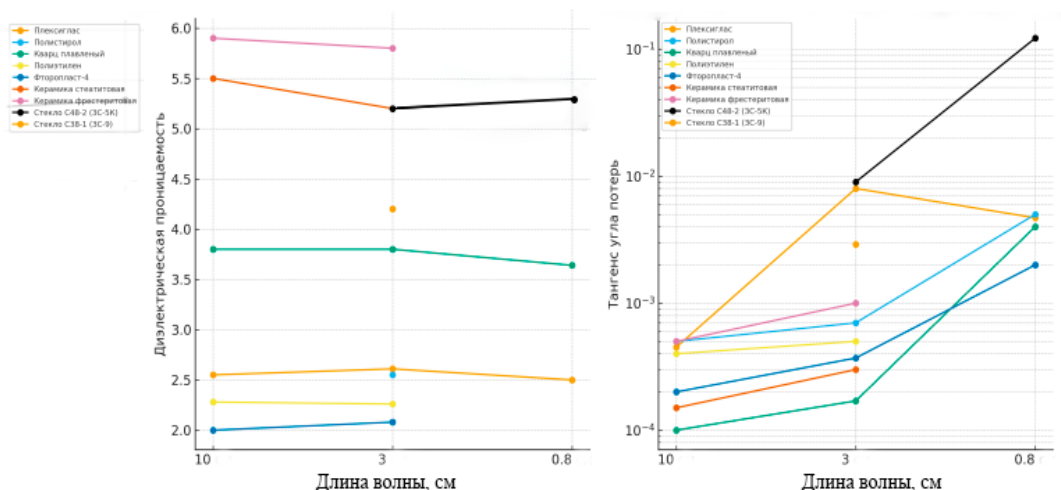


Рисунок 1 – Сравнительные характеристики диэлектрических материалов на различных длинах волн

Особый класс составляют искусственные диэлектрики, которые позволяют создавать линзы с коэффициентом преломления как больше, так и меньше единицы [3]. Это достигается за счет использования в качестве включений металлических элементов (дисков, квадратов, лент). Такие материалы открывают широкие возможности для проектирования, например, для создания ускоряющих линз ($n < 1$), которые имеют вогнутую форму в отличие от замедляющих ($n > 1$). На рисунке 2 показаны различные способы получения искусственных диэлектриков.

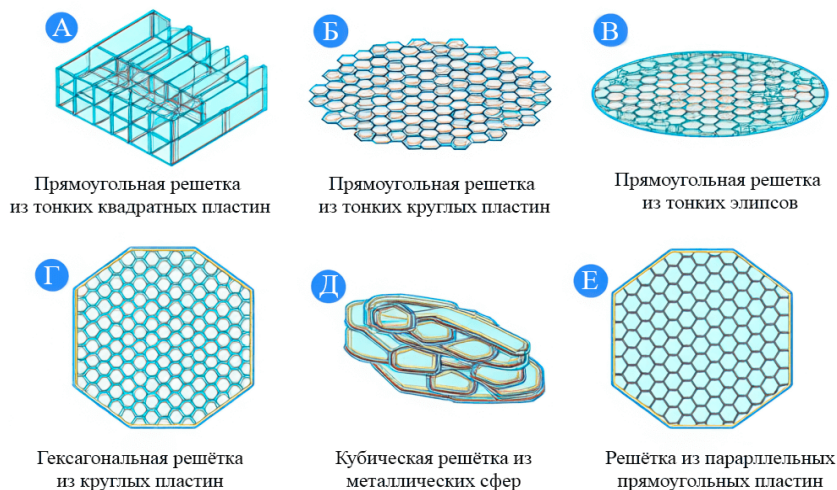


Рисунок 2 – Виды искусственных диэлектриков

Применение искусственных диэлектриков позволяет также создавать линзы с переменным по координате коэффициентом преломления, такие как линзы Люнеберга или Микаэляна [4]. Это дает возможность реализовать сложные законы распределения поля в раскрыве антенны и достичь высоких радиотехнических характеристик, например, при сканировании луча. На рисунке 3 изображена линза Люнеберга, которая фокусирует падающий на нее параллельный пучок лучей в точку на своей поверхности.

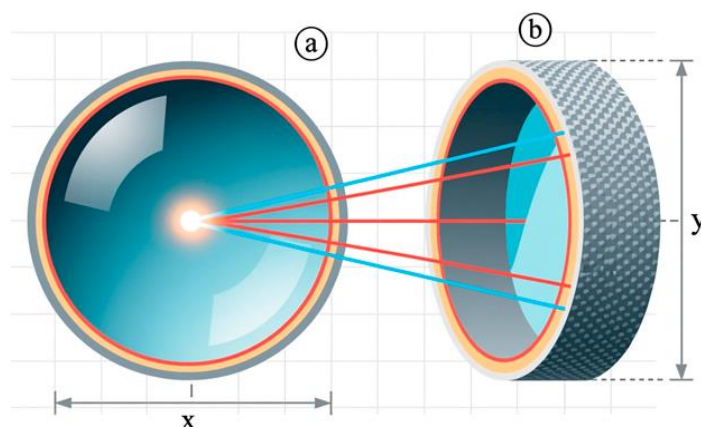


Рисунок 3 – Линза Люнеберга:
а) обычная; б) модификационная.

При выборе материала необходимо учитывать не только его электрические параметры, но и совокупность других свойств: механическую прочность, термостабильность, влагостойкость, технологичность обработки и стоимость.

Например, фторопласт-4, обладая превосходными электрическими характеристиками, имеет низкую механическую стабильность и подвержен холодной текучести. Кварц, в свою очередь, отличается высокой стабильностью параметров и низкими потерями, но сложен в обработке и дорог.

Полистирол и плексиглас являются технологичными и дешевыми материалами, но их электрические характеристики уступают фторопласту, особенно с ростом частоты.

Таким образом, выбор диэлектрического материала для квазиоптических систем миллиметрового диапазона является комплексной задачей, требующей компромиссного решения.

Для систем, где критически важны минимальные потери и высокая стабильность параметров, предпочтительными являются фторопласт и кварц. В случаях, когда первостепенное значение имеют массогабаритные показатели, могут применяться керамики с высокой диэлектрической проницаемостью [5].

Для массового производства и менее требовательных применений оправдано использование более дешевых материалов, таких как полистирол. Искусственные диэлектрики, несмотря на сложность их расчета и изготовления, предоставляют наибольшую гибкость при проектировании и позволяют создавать антенные системы с уникальными характеристиками, недостижимыми при использовании однородных материалов.

Дальнейшее развитие в этой области связано с разработкой новых композиционных материалов с заранее заданными свойствами.

Литература

1 Chen, Q. et al. Low-Loss Polymer-Ceramic Composites for 3D-Printed Millimeter-Wave Luneburg Lenses // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2023. – Vol. 71. – No. 4. – P. 3321-3330.

2 Жук, М. С., Молочков, Ю. Б. Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапазонных антенн и фидерных устройств. – М.: Энергия, 1973. – 440 с.

3 Nordin, R. A., & Eleftheriades, G. V. A Wide-Angle Scanning Metalens Antenna Based on a Reconfigurable Anisotropic Metasurface // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. – 2022. – Vol. 21. – No. 7. – P. 1388-1392.

4 Патент № 2788543 Российская Федерация, МПК H01Q 15/02. Искусственный диэлектрик для квазиоптической системы и способ его изготовления: № 2021130556: заявл. 18.10.2021: опубл. 23.01.2023 / Романов Б. В., Лебедев И. А., Ефимов П. С. – 11 с.

5 Кузнецов В. А., Снегирев Д. П. Исследование диэлектрических характеристик полимерных материалов для линзовых антенн Ка-диапазона // Радиотехника и электроника. – 2021. – № 9. – С. 1015-1022.

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ОБЩЕЖИТИЙ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Правильный подбор источников искусственного освещения в помещениях общего пользования общежитий оказывает существенное влияние на уровень комфорта, состояние здоровья и энергозатраты. В настоящей работе выполнен сравнительный анализ различных типов ламп – от устаревших ламп накаливания до современных светодиодных и индукционных решений – с учётом специфики их эксплуатации в условиях студенческого общежития. Основное внимание уделено таким параметрам, как световая отдача, индекс цветопередачи (R_a), продолжительность службы, уровень пульсаций светового потока и цветовая температура. Расчёты, выполненные по методу коэффициента использования светового потока, демонстрируют преимущество светодиодных источников с тёплым (2700-3200 К) или нейтральным (3300-4000 К) спектром для жилых комнат. Такие лампы обеспечивают оптимальное сочетание энергоэффективности и зрительного комфорта. В статье также предложены практические рекомендации по подбору светильников и организации электропитания для типовых помещений общежитий.

Качественное освещение в жилых помещениях играет важную роль в формировании благоприятной среды для отдыха, учёбы и общения. Особенно это актуально для общежитий – мест временного проживания студентов и молодых специалистов, где условия освещения напрямую влияют на продуктивность, эмоциональное состояние и общее самочувствие. Согласно статистике, около 15 % электроэнергии в Российской Федерации расходуется на освещение, значительная доля которой приходится на жилой сектор, включая общежития.

Основная задача при проектировании осветительных систем в таких зданиях – обеспечить требуемый уровень освещённости при минимальных энергозатратах и максимальном комфорте для глаз. Это требует комплексного подхода к выбору источников света, учитывающего не только технические характеристики, но и физиологические особенности восприятия человеком света.

Целью данной работы является анализ существующих типов источников искусственного освещения и обоснование наиболее рациональных решений для применения в жилых помещениях общежитий с учётом требований энергоэффективности, экологической безопасности и гигиенических норм.

Классификация и характеристики источников света.

Современные источники света условно делятся на три категории: тепловые, газоразрядные и полупроводниковые.

Тепловые источники – лампы накаливания (ЛН) и галогенные лампы (ГЛ) – функционируют за счёт нагрева вольфрамовой нити до температуры 2400-3000 К. Их достоинства – мгновенное зажигание, отличная цветопередача ($R_a \approx 100$) и простота подключения. Однако они обладают крайне низкой световой

отдачей (8-25 лм/Вт), коротким сроком службы (до 2000 ч) и значительным тепловыделением. В жилых помещениях такие лампы используются редко – в основном в декоративных целях или как резервные источники света.

Газоразрядные источники включают люминесцентные, ртутные, металлогалогенные и натриевые лампы. Они отличаются высокой световой отдачей (50-150 лм/Вт) и продолжительным сроком эксплуатации (до 20 000 ч). Однако большинство из них требуют пускорегулирующей аппаратуры, склонны к пульсациям и содержат ртуть, что снижает их экологичность. В условиях общежитий такие лампы применяются ограниченно – в основном в зонах общего пользования.

Люминесцентные лампы (ЛЛ) преобразуют УФ-излучение ртутного разряда в видимый свет с помощью люминофора. Они обеспечивают рассеянное освещение, световую отдачу до 90 лм/Вт и срок службы до 15 000 ч. Однако их работа зависит от температуры окружающей среды, а наличие пульсаций и холодный спектр делают их нежелательными для спальных зон.

Индукционные лампы (ИЛ) представляют собой разновидность электродсвободных люминесцентных источников. Возбуждение разряда происходит за счёт электромагнитной индукции. Преимущества: рекордный срок службы (до 100 000 ч), отсутствие пульсаций и хороший индекс цветопередачи ($R_a = 80-85$). Недостатки – крупные габариты и высокая стоимость, что ограничивает их применение в жилых комнатах.

Светодиодные лампы (LED) основаны на явлении электролюминесценции в полупроводниковом p-n-переходе. Их ключевые достоинства – высокая световая отдача (до 200 лм/Вт), долговечность (30 000-100 000 ч), устойчивость к вибрациям и перепадам напряжения, а также мгновенное включение. Основной недостаток – часто встречающаяся холодная цветовая температура (5000-6500 К), вызывающая зрительное утомление. Для жилых помещений рекомендуется использовать LED-лампы с тёплым (2700-3200 К) или нейтральным (3300-4000 К) светом и индексом цветопередачи $R_a \geq 80$.

Для объективной оценки источников света в условиях общежития проведено сравнение по основным эксплуатационным характеристикам (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительные характеристики источников света для жилых помещений

Параметр	ЛН	ГЛ	ЛЛ	ДРЛ	МГЛ	ДНАТ	ИЛ	LED
Световая отдача, лм/Вт	8-20	15-20	50-90	40-65	60-100	80-150	70-90	100-200
Срок службы, ч	1000-2000	2000-4000	10000-15000	12000-20000	6000-15000	12000-24000	60000-100000	30000-100000
R_a (цветопередача)	95-100	95-100	60-85	40-50	65-90	20-30	80-85	70-95*
Пульсации	Нет	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет	Зависит от драйвера
Экологичность	Высо-	Высо-	Низ-	Низ-	Низ-	Низ-	Высо-	Высокая

	каля	каля	каля (Hg)	каля (Hg)	каля (Hg)	каля (Hg)	каля	
--	------	------	--------------	--------------	--------------	--------------	------	--

* – только у качественных LED-ламп с $Ra \geq 80$.

Анализ показал, что:

Светодиодные лампы обеспечивают наименьшее энергопотребление при высокой эффективности.

Индукционные лампы сочетают долговечность, отсутствие пульсаций и хороший Ra, но их размеры и стоимость ограничивают применение в жилых комнатах.

Лампы накаливания экономически невыгодны из-за низкой энергоэффективности.

Расчёт осветительной системы для помещений общего пользования. В качестве примера выполнен расчёт для кухни общежития, входящей в состав зоны общего пользования (вместе с коридором и умывальной).

Выберем для расчёта общий случай – кухня: $E = 150$ лк.

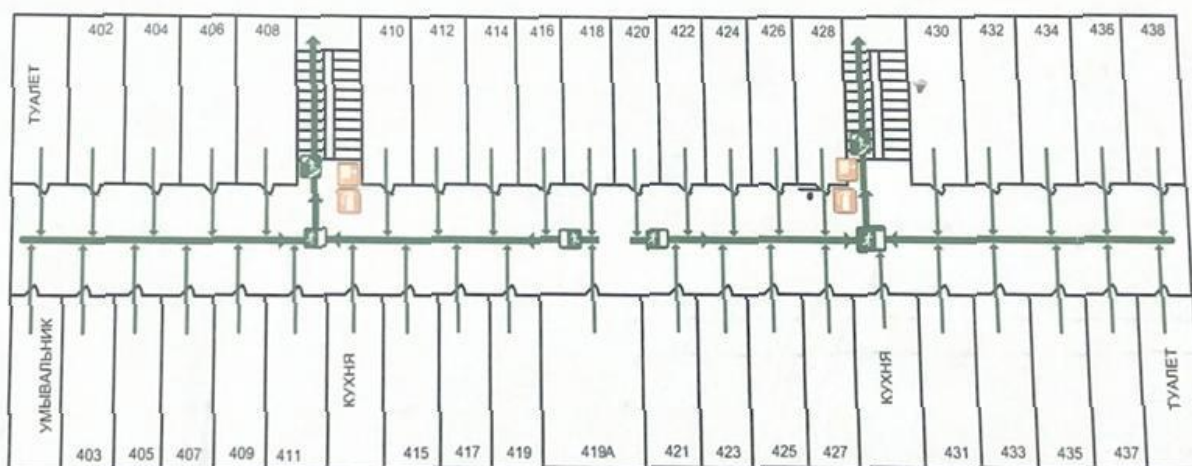


Рисунок 2 – План эвакуации 4-го этажа общежития

S (площадь помещения) = 162 м^2 , $E = 150$ лк, K_3 (коэффициент запаса) = 1.5 (общий случай кухня, так как есть только арка, не отделяющая коридор и умывальную комнату), h (высота рабочей поверхности – пол) = 2,5 м, коэффициент неравномерности $Z = 1.1$ (для люминесцентных и светодиодных), η (коэффициент использования светового потока) равен 0.55

$$N = (E \times S \times K_3 \times Z) / (\Phi \times \eta)$$

Пример расчета (для люминесцентной лампы): $N = (150 \times 162 \times 1.5 \times 1.1) / (4325 \times 0.55) \approx 16,85 \rightarrow 17$ шт. (кол-во светильников).

Таблица 2 – Расчет по методу коэффициента использования светового потока

Тип лампы	Φ (Лм)	N	Кол-во светильников	Мощность лампы (Вт)	Общая мощность (Вт)
ЛВО-44 (ЛЛ)	4325	17	17	65	2210*
СВО-44-60-	2700	27	27	150	4050

220 (ЛН)					
LL-ДВО-01-090-1802-20X-IP44 (LED)	5600	13,017	14	90	1260
ДКСГ-IP44 (ИЛ)	6200	11,75	12	80	960

* - Т.к. светильник предусматривает 2 лампы в конструкции

Результаты расчётов подтверждают, что светодиодные и индукционные источники обеспечивают существенную экономию электроэнергии. При этом LED-решения выгоднее с точки зрения компактности, стоимости и доступности.

При выборе осветительных приборов для общежитий необходимо учитывать не только энергоэффективность, но и влияние света на зрительный комфорт и эмоциональное состояние. Наиболее сбалансированным вариантом для жилых комнат являются светодиодные лампы с тёплым или нейтральным спектром (2700-4000 К) и индексом цветопередачи $Ra \geq 80$. Такие источники сочетают высокую эффективность, длительный срок службы, безопасность и приемлемую стоимость.

Полученные выводы могут быть использованы при проектировании новых и модернизации существующих систем освещения в жилых зданиях с целью повышения энергоэффективности и улучшения качества жизни проживающих.

Литература

1. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М., 1995.
2. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. – М.: Стандартинформ, 2016.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
4. Оболенцев Ю.Б., Гиндин Э.Л. Электрическое освещение общепромышленных помещений. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 112 с.

*Д.А. Филатов, студ.; С.А. Амелин, к.т.н., доцент.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРИМЕНЕНИЕ ДРАЙВЕРОВ СВЕТОДИОДОВ ДЛЯ ФИТОЛАМП

Для эффективного выращивания рассады и растений в домашних условиях широко применяются фитолампы, основу которых составляют полупроводниковые светодиоды. Ключевым условием их стабильной и долговечной работы является питание фиксированным током, обеспечение которого возлагается на специальное устройство – драйвер. Современные драйверы часто оснащаются дополнительным функционалом, таким как защита от перегрева и ограничение реак-мощности. В настоящее время в бытовых светодиодных светильниках применяются четыре основных схемотехнических решения для стабилизации тока.

Балластный конденсатор в сети 220 В. Данный подход предполагает использование реактивного сопротивления конденсатора для ограничения тока. Обычно в такой схеме используется последовательная цепочка из не более 16

светодиодов (падение напряжения ~ 48 В). Второй конденсатор (C2) в цепи выполняет функцию сглаживания пульсаций тока, что приводит к снижению мерцания светового потока.

Преимуществом этого технического решения является предельно низкая себестоимость. К недостаткам же относится то что яркость напрямую зависит от колебаний сетевого напряжения; отсутствует защита от импульсных помех и перегрева; ток имеет реактивную составляющую, что повышает общие потери в сети. Эта устаревшая схема встречается лишь в самых дешевых лампах, и ее применение неуклонно сокращается.

Для фитоламп данный тип драйверов абсолютно неприемлем. Колебания яркости нарушают стабильность условий для фотосинтеза, отсутствие защиты снижает надежность, а низкочастотные пульсации могут негативно влиять на растения и вызывать дискомфорт для человека.

Импульсный стабилизатор тока (рисунок 1). Это решение обеспечивает высокостабильный ток через светодиоды с минимальным уровнем пульсаций. Его КПД достигает 90%.

Главные преимущества – постоянство яркости при любых колебаниях в сети и способность работать в широком диапазоне входных напряжений. Из недостатков - высокая стоимость, увеличенная масса и габариты, сложность реализации эффективного теплового контроля и генерация высокочастотных электромагнитных помех.

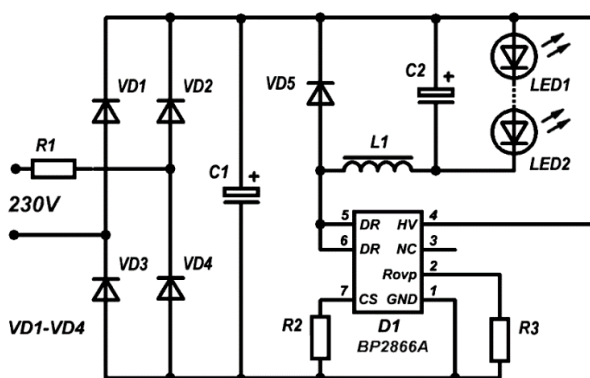


Рисунок 1 – Пример схемы с импульсным драйвером

Применимость в фитолампах - идеален для мощных моделей (от 50 Вт). Однако для бытовых фитоламп малой и средней мощности (5–30 Вт) его ключевые преимущества нивелируются высокой ценой и большими размерами.

Линейный стабилизатор тока. Данный тип драйверов получил широчайшее распространение в современных бытовых фитолампах, представляя собой оптимальный баланс между стоимостью, надежностью и компактностью. Его сердцем является специализированная микросхема, выпускаемая в малогабаритных корпусах, таких как ESOP-8. Это позволяет монтировать драйвер непосредственно на одну печатную плату со светодиодами, что кардинально отличает его от громоздких импульсных решений (рисунок 2).

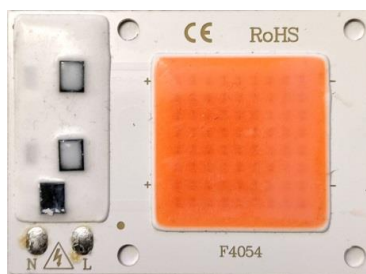


Рисунок 2 – Модуль фитолампы с линейным драйвером, установленным на одной плате со светодиодами

Подобная конструкция значительно упрощает и удешевляет производство светодиодных ламп. Совместное размещение светодиодов и драйвера на алюминиевой теплоотводящей подложке обеспечивает встроенную защиту от перегрева без дополнительных внешних датчиков температуры (они интегрированы в корпус драйвера), что существенно повышает надежность и срок службы изделия.

Схемы линейных драйверов не содержат нетехнологичных и достаточно дорогостоящих индуктивных элементов (рисунок 3). Именно такие драйвера используются в подавляющем большинстве недорогих фитоламп для бытового применения. Типовая микросхема линейного драйвера обеспечивает максимальную мощность на излучающих светодиодах от 8 до 12 Вт. Однако путем параллельного соединения таких микросхем можно получать фитолампы с мощностью до 100 Вт и более.

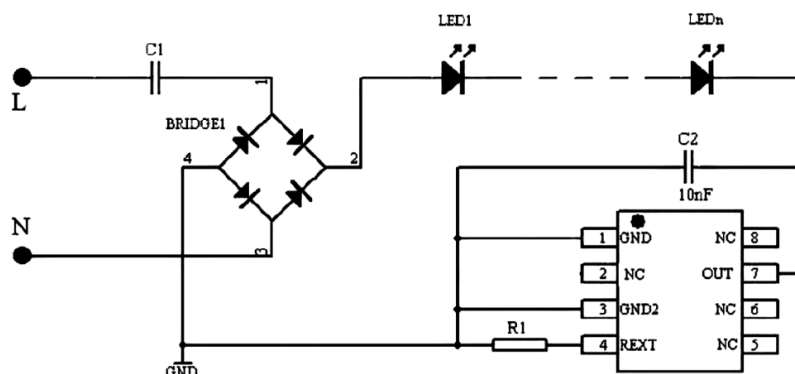


Рисунок 3 – Схема фитолампы с линейным драйвером

По своей структуре линейные микросхемы таких драйверов представляют собой управляемые источники стабильного тока на основе операционного усилителя с высоковольтным (400–700 В) регулирующим МОП-транзистором (рисунок 4).

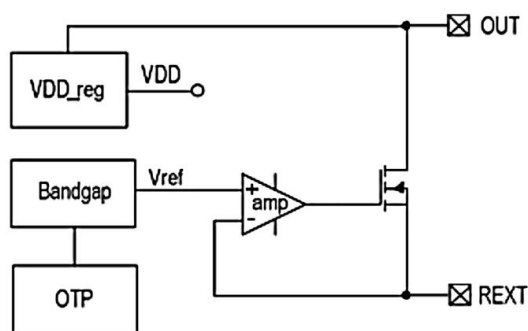


Рисунок 3 – Упрощенная структурная схема микросхемы линейного драйвера

На один из входов внутреннего операционного усилителя подается опорное напряжение V_{ref} . Второй вход операционного усилителя подключен к выводу микросхемы REXT. К этому выводу подключается внешний резистор, задающий ток стабилизации.

Главный недостаток линейного стабилизатора – значительные потери энергии и, как следствие, низкий КПД. Поскольку стабилизатор и светодиоды соединены последовательно, распределение мощности между ними пропорционально падению напряжения. Суммарное напряжение равно сетевому. Для повышения эффективности требуется уменьшать напряжение на стабилизаторе, увеличивая его на светодиодах. В отличие от импульсных стабилизаторов с типичным напряжением на светодиодах 48 В (16 последовательных элементов), линейные решения требуют около 180 В и более, что соответствует 60 светодиодам. Такое количество невозможно разместить в стандартных лампах E27/E14, поэтому применяются специальные сборки по 6 светодиодов (с общим падением 18 В) в корпусе стандартного размера. Иногда линейные стабилизаторы работают без фильтрующего конденсатора. В этом случае в каждом полупериоде светодиоды включаются только после превышения входным напряжением их суммарного падения, оставаясь выключенными в начале полупериода. После открытия напряжение и ток на светодиодах стабилизируются, а мощность на драйвере определяется разницей между входным напряжением и напряжением на светодиодах. Средние мощности пропорциональны соответствующим вольт-секундным площадям. КПД таких драйверов достигает 80%.

Дальнейшее повышение эффективности требует увеличения напряжения на светодиодах, что сокращает время свечения в пределах полупериода, соответственно усиливается мерцание. Это мерцание еще больше усиливается при снижении напряжения в сети ниже номинального значения. При этом существенно уменьшается яркость свечения такой лампы. Поэтому производители ограничивают суммарное падение напряжения на светодиодах уровнем 180–220 В, что не позволяет превысить 80% КПД. А при повышенном напряжении (по ГОСТ максимально допустимое напряжение однофазной сети составляет 253 В) эффективность ламп с таким драйвером существенно снижается. К примеру, используя средства схемотехнического моделирования можно показать, что для драйвера, основанного на микросхеме СУТ1000А, с ростом напряжения сети КПД может упасть ниже 70% (рисунок 5, а).

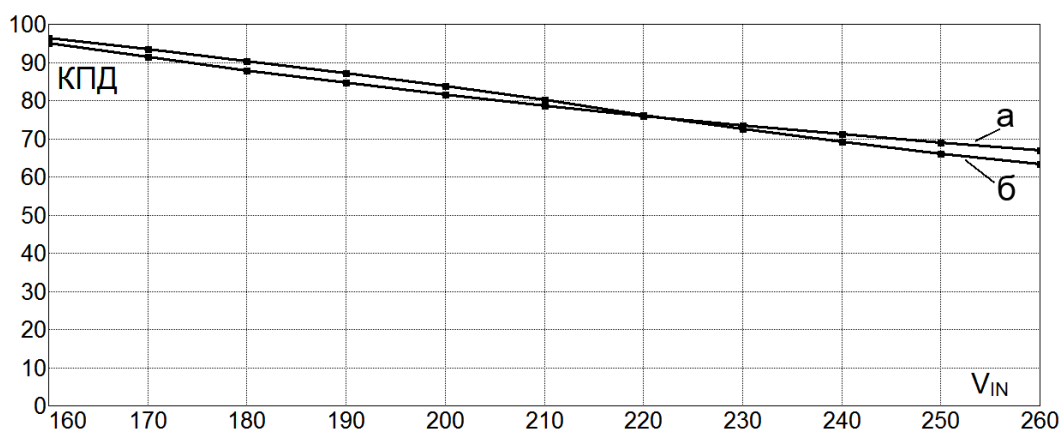


Рисунок 5 – График зависимости КПД от величины сетевого напряжения для линейного драйвера на основе микросхемы СУТ1000А: а – без фильтрующего конденсатора выпрямителя схемы, б – с фильтрующим конденсатором

Еще сильнее КПД снижается при повышенных напряжениях при использовании фильтрующего конденсатора в схеме выпрямителя линейного драйвера, который нужен для снижения пульсаций свечения фитоламп (рисунок 5, б).

Но несмотря на эти недостатки, линейные стабилизаторы широко применяются в современных бытовых светодиодных лампах, особенно малой мощности, постепенно вытесняя более дорогие импульсные решения. Таким образом, линейный стабилизатор тока – это компромиссное, но высокооптимизированное решение для бытовых фитоламп малой и средней мощности. Его компактность, интеграция в плату, встроенная защита от перегрева, простота и отсутствие ВЧ-помех делают его практически идеальным выбором для *scenarios*, где критичны габариты и стоимость. Однако из-за больших потерь мощности он не подходит для мощных светильников, где доминируют импульсные преобразователи.

Линейный стабилизатор со ступенчатым регулированием, является разновидностью предыдущего решения. Данный способ представляет собой эволюционное развитие классического линейного стабилизатора, в котором удалось преодолеть ключевой недостаток – низкий КПД – при сохранении всех основных преимуществ линейного подхода. Эта схема органично сочетает в себе компактность и технологичность линейных драйверов с эффективностью, приближающейся к импульсным решениям.

Однако в отличие от традиционной схемы, светодиоды здесь разделены на 4 группы, которые последовательно подключаются по мере увеличения входного напряжения. В результате напряжение на светодиодной цепочке изменяется ступенчато. Хотя мгновенные потери мощности по-прежнему зависят от разницы между входным напряжением и напряжением на светодиодах, благодаря ступенчатой регулировке вольт-секундная площадь (и соответственно, общие потери мощности) оказывается значительно ниже, чем в классической схеме с линейным стабилизатором. Данный тип драйверов обеспечивает КПД не ниже 90%. При этом одна секция светодиодов остается активной в течение большей части полупериода сетевого напряжения, что существенно уменьшает

заметность пульсаций светового потока. Даже при пониженном входном напряжении лампа продолжает работать, хотя и с уменьшенной светоотдачей. По ключевым характеристикам эти драйверы приближаются к импульсным стабилизаторам тока, но при этом обладают существенными преимуществами по стоимости и габаритам.

Таким образом, драйверы со ступенчатой регулировкой тока представляют собой наиболее перспективное направление развития схемотехники для светодиодного освещения. Хотя на текущий момент основная сфера применения таких драйверов ограничена прожекторами и промышленными светильниками, их технические характеристики открывают широкие возможности для интеграции в другие категории осветительных приборов. В частности, для фитоламп данный тип драйверов может стать оптимальным решением, сочетая высокий КПД с компактными габаритами. Ключевым условием успешного применения этой технологии в фитолампах является решение проблемы пульсаций светового потока. Для минимизации негативного воздействия мерцания на зрительное восприятие человека необходима интеграция в схему дополнительных фильтрующих конденсаторов. Эти элементы эффективно сглаживают остаточные пульсации, возникающие при ступенчатом переключении светодиодных секций, что делает световой поток равномерным и безопасным для продолжительного использования в жилых помещениях.

Литература

1. С.А. Амелин, М.А. Амелина Нелинейные звенья в системах управления источников электропитания // Практическая силовая электроника. 2021. №4 (84). С. 2–7.
2. С.А. Амелин, Л.К. Демидкина Драйверы светодиодов для бытовых осветительных приборов // ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ: Сб. трудов XIII Нац. науч.-техн. конф. с межд. уч. // г. Смоленск. – 2023. – Т. 2 Секция 5. – С. 15-20.

*З.А. Хроменков, студ.; В.В. Малышкин, ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОТРАЖАЮЩИЕ РЕФЛЕКТОРЫ ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Отражающие рефлекторы для источников оптического излучения являются важными элементами в оптических системах, играющими ключевую роль в направлении, фокусировке и изменении характеристик излучения. Их применение охватывает широкий спектр областей, от научных приборов до бытовых и промышленных осветительных устройств. Правильный выбор типа рефлектора влияет на эффективность системы, а также на качества конечного излучения, такие как, например, его интенсивность и форма. В этой статье рассматриваются основные виды отражающих рефлекторов, их характеристики и области применения.

Отражающие рефлекторы используют принцип отражения света от поверхностей, обычно выполненных из материалов с высокой отражающей способностью. Рефлекторы могут быть плоскими или изогнутыми, что определяет их спо-

способность фокусировать и рассеивать световые лучи, а также заставлять идти их параллельно оптической оси. Важно отметить, что отражение может быть как идеальным, так и частичным, что зависит от типа материала и структуры поверхности [1].

Основных видов отражающих рефлекторов всего пять.

Плоские рефлекторы представляют собой самый простой тип рефлектора, где поверхность отражает свет под углом, равным углу падения. Плоские рефлекторы не изменяют форму пучка света, но могут быть использованы для направленного отражения. Они находят применение в простых оптических системах, таких как зеркала для линзовых систем или в проекторах.



Рисунок 1 – Внешний вид плоского рефлектора

Простота конструкции и изготовления делает стоимость данных рефлекторов достаточно низкой, однако ограниченные возможности фокусировки или изменения формы пучка света сильно сужают область применения изделия.

Сферические рефлекторы имеют форму сегмента сферы. Они могут быть как выпуклыми, так и вогнутыми, в зависимости от того, как изогнута поверхность. Вогнутые фокусируют параллельные лучи в точку, что делает их идеальными для использования в телескопах, зеркальных фотокамерах и лазерах. Выпуклые же, напротив, рассеивают падающие лучи.

Параболические рефлекторы представляют собой усовершенствованные сферические рефлекторы, где форма поверхности позволяет параллельным лучам, падающим на зеркало, собираться в одну точку фокуса. Они являются основным элементом в радиотелескопах и лазерных системах. Обладают очень высокой точностью фокусировки и отсутствием aberrаций, если зеркало правильно сконструировано, но сложны в производстве и требовательны к точности изготовления.

Конические рефлекторы имеют форму усеченного конуса, что позволяет им эффективно собирать световые лучи с определенной угловой ширины и направлять их в нужную область. Они часто используются в системах, где необходимо создать определённый угловой диапазон излучения, например, в лазерных системах.



Рисунок 2 – Внешний вид конического рефлектора

Данные отражатели способны создавать очень узкий пучок света, но подвержены потере отражающей способности на углах и сложны в регулировке угла отражения.

Гиперболические рефлекторы применяются в более специализированных областях, таких как высокоскоростные лазеры или экспериментальные установки в оптике. Эти отражатели позволяют концентрировать свет на фокусной точке с гораздо большей точностью, чем сферические или параболические. Следовательно, они обладают повышенной точностью фокусировки и минимально подвержены aberrациям, однако сложны в конструкции и крайне требовательны к точности изготовления.

Важным параметром, определяющим эффективность отражающего рефлектора, является материал, из которого он изготовлен. Покрытие рефлектора в зависимости от целей и области применения может быть выполнено из металлов или диэлектрических материалов [1]. Показатели преломления металлов, используемых для изготовления рефлекторов, приведены в таблице 1. Расчёты показателей преломления можно провести при помощи формулы Френеля (1).

Таблица 1 – показатели преломления металлов

Металл	n	k	$R, \%$
Серебро	0.13	3.35	95.8
Алюминий	0.95	6.4	91.5
Золото	0.47	2.40	76
Медь	0.62	2.6	74
Хром	3.2	3.85	60

Наиболее часто используемыми металлическими материалами являются алюминий и серебро, благодаря высокой отражающей способности в широком спектре длин волн и устойчивости к различным внешним воздействиям. Данные

материалы подходят для решения большинства задач, для которых используются рефлекторы

Для специальных задач (например, в высокоточных лазерных системах) используются многослойные диэлектрические покрытия, которые позволяют достигать высокой отражающей способности при определённых длинах волн.

В случаях, когда высокая отражающая способность, минимизация aberrаций и устойчивость к внешним воздействиям не играют решающей роли, для изготовления рефлекторов используется пластик, покрытый отражающей краской. Это делает готовое изделие крайне недорогим, но при этом не подходящим для решения большинства задач ввиду низкого качества.

Чтобы оценить рассмотренные виды рефлекторов более объективно, важно сравнить их эффективность по такому важному параметру, как коэффициент отражения – показатель, который отражает долю света, отражённого от поверхности рефлектора, относительно падающего на него излучения. Данный параметр является общим для всех видов отражателей, поэтому сравнение по нему является объективным. Его значение зависит от геометрии отражателя, материала покрытия и угла падения света [2]. Для вычисления коэффициента отражения можно воспользоваться формулой Френеля при нормальном падении света (1).

$$R = \frac{(n - 1)^2 + k^2}{(n + 1)^2 + k^2} \quad (1)$$

где

n – действительная часть комплексного показателя преломления алюминия;
 k – мнимая часть (коэффициент экстинкции).

Рассмотрим коэффициенты отражения для различных типов рефлекторов. Для наиболее объективного сравнения все рефлекторы условно изготовлены из алюминия.

Плоские рефлекторы имеют коэффициент отражения, равный 90-95%. Они имеют сравнительно простую геометрию. Отражение происходит по закону отражения (угол падения равен углу отражения). Однако из-за сравнительно ограниченных требований к качеству поверхности и небольших углов падения, коэффициент отражения для стандартных плоских зеркал обычно находится в пределах 90-95%. Это значение также зависит от материала покрытия, влияющего на степень потерь при поглощении света.

Сферические рефлекторы имеют коэффициент отражения, равный 95-98%. Они имеют гладкую изогнутую поверхность, что улучшает фокусировку света. Поверхности сферических отражателей имеют более высокую эффективность по сравнению с плоскими, благодаря лучшему управлению лучами. Тем не менее, из-за возможных сферических aberrаций их эффективность не всегда может достигать максимума. Также стоит отметить, что чем точнее изготовлено зеркало и чем меньше погрешности в радиусе кривизны, тем выше коэффициент отражения.

Параболические рефлекторы имеют коэффициент отражения 98-99%, поскольку отличаются высокой точностью фокусировки, и их геометрия минимизирует сферические aberrации. Эти зеркала эффективно направляют световые лучи в одну точку фокуса, что повышает их эффективность. Помимо этого, высокое качество поверхности и точность изготовления зеркала играют важную роль в достижении коэффициента отражения 98-99%. Даже при углах падения, близких к 90 градусам, коэффициент отражения остаётся высоким.

Конические рефлекторы обладают коэффициентом отражения 87-90%.

Конические отражатели, как и сферические, способны собирать свет, но из-за особенностей своей формы и углов падения, они могут демонстрировать потерю света в результате неправильного угла отражения на периферии зеркала. Это приводит к тому, что коэффициент отражения для конических зеркал остаётся в пределах 87-90%, несмотря на их способность направлять свет в нужную область.

Гиперболические рефлекторы имеют коэффициент отражения, равный 98-99%, благодаря сложной форме, оптимизированной для минимизации aberrаций, что позволяет им эффективно собирать свет и фокусировать его на точке. Эти отражатели могут достигать высокой отражающей способности благодаря точной геометрии и качеству материалов. Потери на поглощение и неправильном угле падения минимальны, что позволяет достигать коэффициента отражения на уровне 98-99%.

Отражающие рефлекторы широко применяются в различных областях, таких как:

1. Оптика и телескопы: сферические и параболические зеркала используются для фокусировки света в телескопах.
2. Лазеры и светодиоды: отражающие рефлекторы помогают направлять свет из лазерных установок или светодиодов с высокой точностью.
3. Освещение: в проекторных системах и светильниках используются различные виды рефлекторов для создания направленных пучков света.
4. Радиоп физика: параболические и гиперболические рефлекторы активно применяются в радиотелескопах.

Все рассмотренные виды отражающих рефлекторов обладают различными характеристиками, определяющими их эффективность и коэффициент отражения. Важно отметить, что коэффициент отражения каждого типа зеркала зависит от нескольких факторов.

Геометрическую форму рефлектора оказывает ключевое влияние на эффективность рефлектора. Более сложные формы, такие как параболические и гиперболические, минимизируют aberrации и обеспечивают более высокое качество фокусировки и отражения, чем простые сферические или плоские зеркала.

Качество покрытия так же вносит ощутимый вклад в эффективность работы отражателя. Использование высококачественных металлических покрытий, таких как, например, алюминий или серебро, способствует улучшению коэффициента отражения, обеспечивая его в диапазоне 90-99%

Сравнивая все виды рефлекторов, можно сделать вывод, что параболические и гиперболические зеркала показывают наибольшую эффективность благодаря своей способности фокусировать свет с минимальными потерями и абберациями. Они идеально подходят для точных оптических систем, таких как телескопы и лазеры. В то время как плоские и сферические зеркала обладают более простыми конструкциями, их коэффициент отражения ограничен геометрическими абберациями и качеством покрытия. Конические зеркала предлагают хорошие результаты в определённых приложениях, например, для создания узких пучков света, но их коэффициент отражения немного уступает более сложным зеркалам.

Таким образом, выбор типа рефлектора должен основываться на требованиях конкретной оптической системы, где важно сбалансировать геометрическую форму, качество покрытия и фокусирующие характеристики для достижения наилучшего результата.

Литература

1. Максименко, А. В. Оптоэлектроника. Функциональные элементы оптоэлектроники и методы передачи оптического излучения: практическое пособие: учебное пособие / А. В. Максименко, В. Н. Мышковец, Г. А. Баевич. – Гомель: ГГУ имени Ф. Скорины, 2022. – 41 с.
2. Кирилловский, В. К. Современные оптические исследования и измерения: учебное пособие / В. К. Кирилловский – Санкт-Петербург: Лан, 2022. – 304 с.

*А.Д. Булыженков, студ.; Д.С. Рассказа, ст. препод.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АЛГОРИТМ ИНТЕГРАЦИИ МИКРОМОДУЛЯ TPS82130 В РАЗРАБАТЫВАЕМЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

TPS82130 – это модуль питания (рисунок 1) MicroSIP с понижающим преобразователем напряжения на 17В, оптимизированный для небольших размеров решения и высокой эффективности [1].

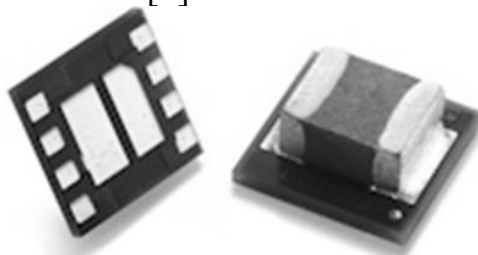


Рисунок 1 – TPS82130

Актуальность внедрения этой микросхемы обусловлена её компактностью, низкой стоимостью [3] и высокими электрическими характеристиками, что отвечает требованиям миниатюризации и надежности современных электронных устройств. Основные параметры микромодуля [2] представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры микромодуля

Параметр	Значения
Габариты	3 x 2.8 x 1.5 мм
Диапазон входного напряжения	3 – 17 В.
Выходной ток	До 3 А.
Собственный ток потребления	20 мкА.
Диапазон выходного напряжения	0.9 – 6 В.
Диапазон рабочих температур	-40 – +125 °С

Микромодуль имеет ряд особенностей, таких как режим энергосбережения при низком токе нагрузки, «power good» выход, управляемое включение, регулируемое время нарастания выходного напряжения, регулируемая частота импульсов, термозащита.

Типовая схема включения микромодуля (рисунок 2) предполагает наличие ряда элементов: входные/выходные конденсаторы (C1 и C2), частотоподающий конденсатор (C3), резисторы обратной связи (R1 и R2).

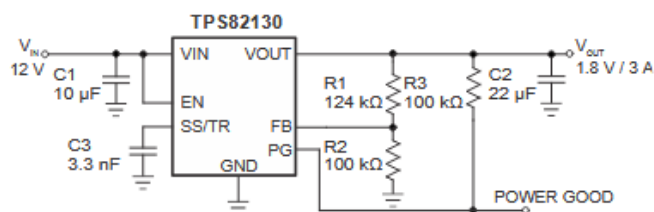


Рисунок 2 – Типовая схема включения TPS82130

Малое число компонентов позволяет полностью реализовать функционал микромодуля на пространстве платы, не превышающем 1 см².

Порядок действий при интеграции микромодуля TPS82130 в проект включает в себя проверку соответствия основным электрическим и функциональным требованиям, выбор конфигурации микромодуля, расчет параметров обвязки и подбор компонентов обвязки.

Проверка соответствия требованиям заключается в сравнении параметров микромодуля с требованиями к устройству.

Так, если входное напряжение составляет 12В, требуемое выходное напряжение 1.8В с током потребления до 500мА, габариты узла на плате не более 2 см², температура использования от 0 до 45°С, требуется управляемое включение и наличие сигнала, информирующего о нормальной работе модуля, то TPS82130 удовлетворяет эти требования.

Конфигурация модуля будет зависеть от особенностей его использования в устройстве.

Вход Enable, используемый для включения, может быть подключен напрямую ко входному напряжению для автоматического включения или к внешнему управляющему устройству.

При этом, для реализации удаленного включения, рекомендуется включить последовательный резистор номиналом не менее 100 Ом между Enable и управ-

ляющим устройством, чтобы обезопасить управляющую сеть от случайного просачивания высокого напряжения в случае случайного замыкания.

Для реализации разных способов включения на одной плате можно установить резисторы 0 Ом между выводами Vin и Enable и 100 Ом между Enable и сетью управления включением. При этом, одновременно должен быть установлен только один из резисторов. Также, для защиты от «дребезга» рекомендуется установить подтягивающий резистор номиналом от 1кОма между выводами Enable и общей сетью. Так-как величина токов, протекающих через резисторы крайне мала, можно использовать резисторы типоразмера 0604, 0402 или меньше. Разные варианты включения микросхемы представлены на рисунке 3.

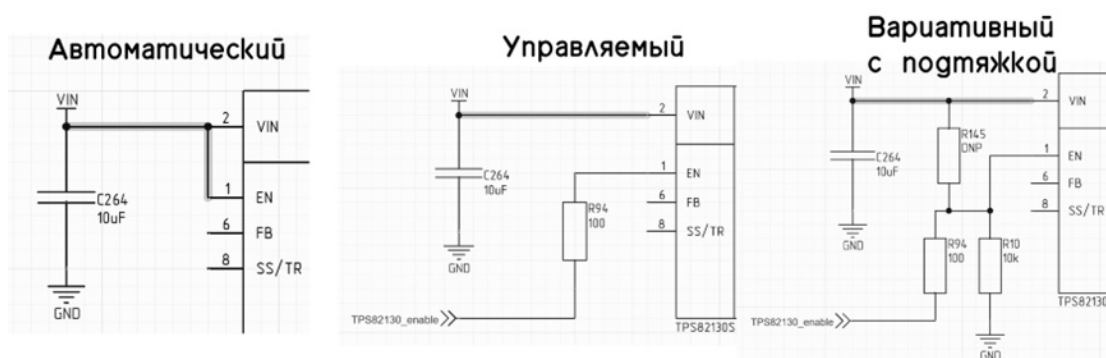


Рисунок 3 – Разные методы организации включения TPS82130

Наличие сигнала на выводе Power Good сигнализирует об установке выходного напряжения микромодуля в заданных пределах. Этот сигнал может быть использован для подачи сигнала включения следующему по цепочке блоку питания, устройству-потребителю или контроллеру, следящему за состоянием напряжений. Для использования вывода Power Good его необходимо подключить к выходной сети через резистор с высоким сопротивлением(100кОм) и вывести сигнал от точки между этим выводом и резистором. Так-как этот резистор имеет большое сопротивление, его типоразмер также может быть 0402 или меньше.

Если вывод Power Good не используется, его можно оставить неподключенным. Варианты подключения Power Good представлены на рисунке 4.

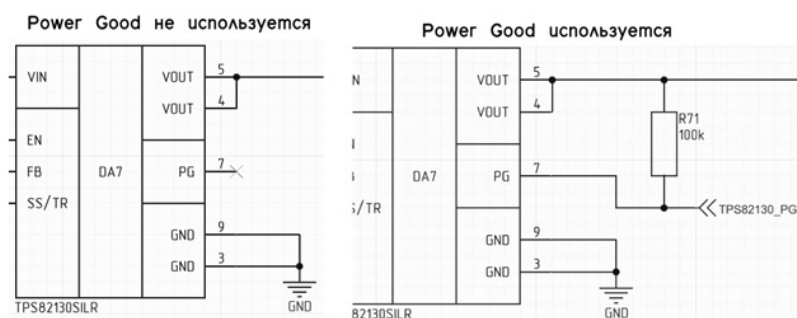


Рисунок 4 – Разные способы включения Power Good TPS82130

К микромодулю обязательно должен быть подключен конденсатор между выводами SS/TR и общей сетью, резисторный делитель обратной связи между выходной сетью и выводом FB, а входные/выходные конденсаторы. Вариант полной обвязки микромодуля представлен на рисунке 5.

Помимо элементов с уже известными номиналами, необходимо рассчитать номиналы конденсаторов сглаживания пульсаций, резистивного делителя обратной связи и конденсатора SS/TR.

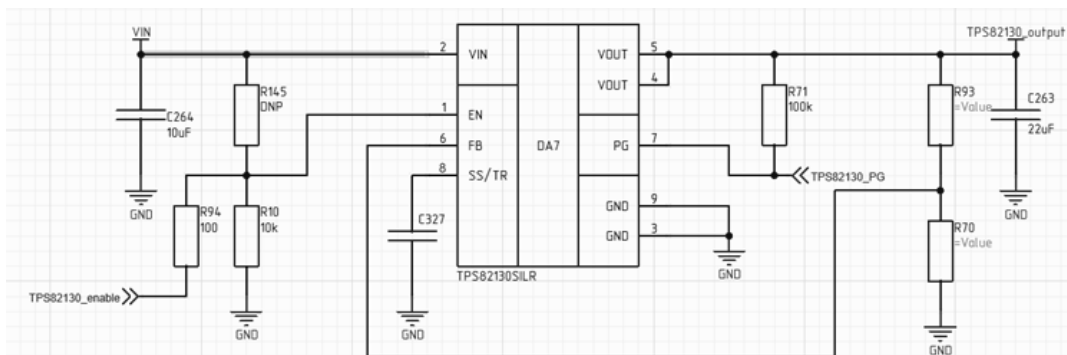


Рисунок 5 – TPS82130 с подключенными компонентами

Согласно рекомендациям из технической документации [1] на входящей сети модуля необходимо установить керамический SMD конденсатор емкостью от 10мФ. В выходной цепи емкость конденсатора должна составлять не менее 22мФ и не более 400мФ. Стоит учесть, что большая емкость всех потребителей на выходной сети микромодуля может привести к значительному «броску тока» в момент включения, что может привести к выходу микромодуля из строя. Для избежания этого, при наличии емкости на выходной сети более 400мФ рекомендуется увеличивать время нарастания выходного напряжения.

Максимально допустимое напряжение сглаживающих конденсаторов должно быть не менее чем на 30% выше максимального напряжения сети, в которой они установлены.

Стоит также учесть эффект зависимости фактической емкости керамических конденсаторов от их типоразмера и величины приложенного напряжения. Рекомендуемым типоразмером для сглаживающих конденсаторов входной и выходной цепи будет 0805.

Для формирования заданного выходного напряжения в микромодуле TPS82130 используется резистивный делитель, подключенный к выводу Feed Back. Расчёт делителя основан на сравнении внутренним компаратором напряжения на выводе FB с опорным значением 0,8 В. Формула для подбора сопротивлений приведена в документации (рисунок 6).

8.2.1.2.2 Setting the Output Voltage

The output voltage is set by an external resistor divider

$$V_{OUT} = V_{FB} \times \left(1 + \frac{R1}{R2}\right) = 0.8 \text{ V} \times \left(1 + \frac{R1}{R2}\right)$$

Рисунок 6 – Формула расчета резисторов обратной связи

Так как допустимый ток обратной связи составляет 100нА, для его поддержания, а также для минимизации отклонения выходного напряжения от расчетного, рекомендуется использование резисторов номиналом не менее 10кОм и точностью не хуже 5%. Так-как ток через эти резисторы предполагается низкий, их типоразмер может быть 0402 или меньше. Номиналы резисторов рекомендуется подбирать из стандартного ряда E24. Вариант организации обратной связи представлен на рисунке 7.

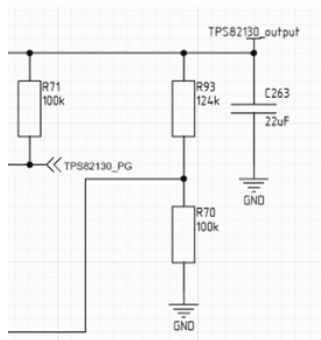


Рисунок 7 — Резистивный делитель обратной связи, рассчитанный на выходное напряжение 1.8В

Емкость, подключенная между выводами SS/TR и GND, позволяет программировать время установки выходного напряжения модуля. В технической документации [1] указана формула расчета емкости этого конденсатора (рисунок 8). Так, при установке конденсатора емкостью 3300пФ время нарастания импульса составит 1.65мкс.

Вариант полной схемы микромодуля представлен на рисунке 9.

$$C_{SS/TR} = t_{SS/TR} \times \frac{I_{SS/TR}}{1.25V}$$

Рисунок 8 — Формула расчета емкости конденсатора Soft Start

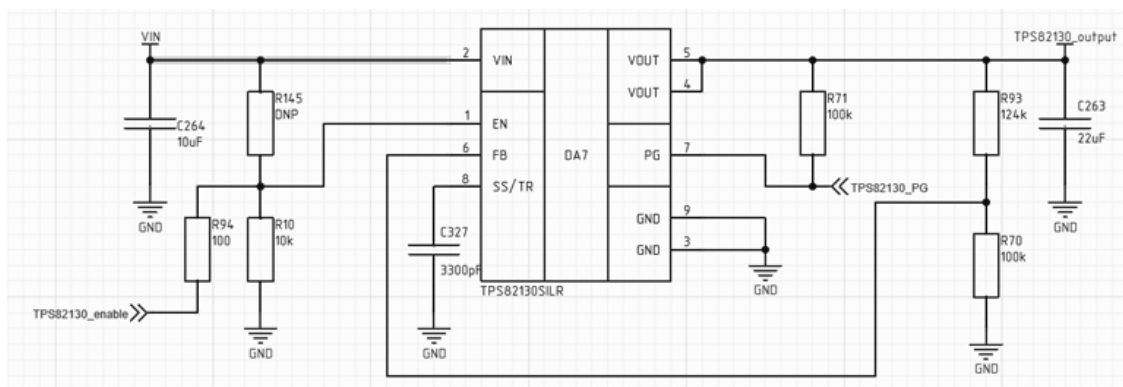


Рисунок 9 — Электрическая схема TPS82130 с рассчитанными номиналами элементов обвязки

Краткие выводы: микромодуль TPS82130 представляет собой современное, эффективное, многофункциональное и технологичное решение для построения компактных и надежных источников питания, необходимых для работы современных микроэлектронных устройств. Наличие алгоритма интеграции позволяет быстро встраивать его в разрабатываемые устройства, уменьшая итоговый срок разработки и снижая вероятность ошибок при проектировании.

Литература

1. TPS82130 3-A Synchronous Step-Down Converter With Integrated Inductor In MicroSIP Package [Электронный ресурс] : datasheet / Texas Instruments. – URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps82130.pdf?ts=1758854366129> (дата обращения: 26.09.2025). Текст: электронный.
2. TPSM82903 3-V to 17-V, 3-A, high-efficiency, low-IQ synchronous buck converter module with integrated inductor [Электронный ресурс] / Texas Instruments // Официальный сайт. – URL: <https://www.ti.com/product/TPSM82903> (дата обращения: 26.09.2025). Текст: электронный.
3. TPS82130SIL: технические параметры и описание [Электронный ресурс] // ChipDip : [сайт]. – URL: <https://www.chipdip.ru/product0/8002949189> (дата обращения: 26.09.2025). Текст: электронный.

СЕКЦИЯ 6 ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*А.О. Блинов, ст. препод.; Д.С. Грищенко, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ТЯЖЕЛАЯ НЕФТЬ – РЕСУРС БУДУЩЕГО: ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВЫЗОВА ДО ГЛОБАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ

На сегодняшний день нефть является одним из самых необходимых энергетических ресурсов для всего мира. Из неё производят огромное количество продукции: топливо для различной техники (бензин, дизель, авиационный керосин), смазочные и инженерно-строительные материалы (моторные масла, битумы), химические изделия (пластмассы, резины и каучуки) и т.д. Горючее, которое широко используется для двигателей внутреннего сгорания, получают из так называемой легкой нефти (ЛН), поскольку она обладает низкой плотностью и вязкостью. Однако её доказанные мировые запасы составляют около 160 млрд. т. (при 250 млрд. т. всей нефти), что при текущих уровнях потребления (примерно 5 млрд. т. в год) хватит примерно на 30 лет. В свою очередь это заставляет развивать труднодоступные нетрадиционные месторождения.

Тяжелая нефть (ТН) – это нефть, богатая тяжелыми углеводородами. Она характеризуется высокой плотностью и вязкостью, что делает её добычу, транспортировку и переработку более проблематичной по сравнению с легкой. Тем не менее по различным оценкам ее запасы достигают от 800 млрд. т. до 1 трлн. т., что значительно превосходит традиционную.

Целью данного исследования является проектирование установки подготовки нефти (УПН) для ТН.

Для реализации поставленной цели нами были сформулированы следующие задачи:

- изучить основные проблемы тяжелой нефти;
- спроектировать УПН для ТН;
- выявить перспективы ТН.

Ключевыми методами научного исследования явились теоретический анализ и синтез данных различных интернет-источников, посвящённых актуальным вопросам ТН.

Так, на первом этапе исследования был выявлен ряд ключевых отличий ТН от ЛН, а именно:

- физико-химические свойства ТН: по ГОСТ Р 51858-2020 тяжелая нефть имеет плотность равной 870,1-895,0 кг/м³ при 20 °С, а вязкость составляет от 100 мПа·с до 10000 мПа·с от 10 °С до 20 °С (для битуминозной нефти эти показатели ещё выше). Например, если сравнить два нефтяных месторождения России: Самотлорское и Ярегское, то их параметры будут соответственно 850,0 кг/м³, 0,5-6,5 мПа·с; 945,0 кг/м³, 12000-16000 мПа·с в пластовых условиях;

- молекулярный вес углеводородов ТН выше (400-1000 а.е.м.), больше вы-

сококипящих фракций;

- фракционный состав: ТН содержит больше тяжелых (менее ценных) и меньше легких фракций, что приводит к более дешевой цене;

- добыча ТН подразделяется на первичный, термический и нетепловой методы, что приводит к дополнительным затратам и техническим трудностям. Например, на Ярегском месторождении в России применяется термошахтный метод, суть которого заключается в подаче пара с температурой в 150 °С - 200 °С в пробуренные скважины в шахте;

- транспортировка ТН нерациональна способами для ЛН из-за высокой вязкости (повышенное гидравлическое сопротивление течению), поэтому применяют различные методы для её перекачки, которые можно разделить на две группы: с изменением свойств нефти и без их изменения. Например, уменьшить шероховатость или длину трубопровода (1 группа); повысить температуру нефти или разбавить ТН с помощью ЛН;

- подготовка ТН в отличие от ЛН нуждается в большем количестве оборудования, высокотемпературном нагреве, отдельных деэмульгаторах, более длительном времени отстоя;

- переработка ТН требует специальных технологий и методов, что делает этот процесс более энергоемким, менее прибыльным и в какой-то мере «тяжелым». Например, термический крекинг, который проводится при высоких температурах и давлениях в целях снижения молекулярной массы и получения обычных нефтепродуктов [1];

- экономическая ценность ТН, исходя из вышеперечисленных «проблем», снижается по сравнению с ЛН и приводит к значительным затратам от её добычи до готового продукта. Например, Российский эталон нефти под маркой «Urals» представляет собой смесь тяжелой и легкой нефти, что обеспечивает невысокую плотность и сернистость не более 1,8%.

Изучение различных литературных источников, позволило спроектировать УПН для ТН (рисунок 1) [2]:

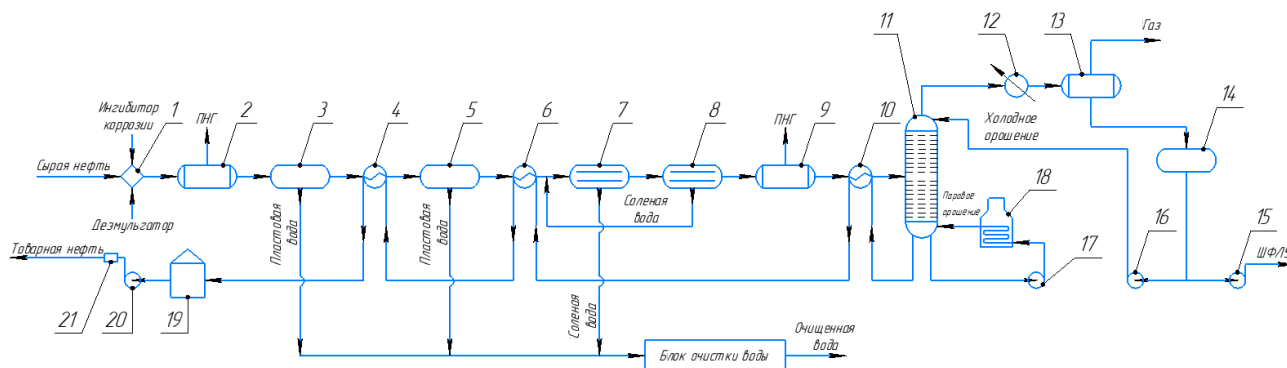


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки подготовки нефти (УПН) для тяжелых нефтей (ТН)

Схема состоит из «1 – смеситель; 2,9,13 – сепараторы; 3,5 – отстойники; 4,6,10 – теплообменники; 7,8 – электродегидраторы; 11 – ректификационная колонна; 12 – холодильник-конденсатор; 14 – сборник конденсата; 15,16,17,20 – насосы; 18 – трубчатая печь; 19 – резервуар; 21 – узел учета количества и качества нефти»

Данная схема включает в себя все необходимые процессы очистки нефти, такие как дегазацию, обезвоживание, обессоливание, стабилизацию, что позволяет достичь первой группы нефти по ГОСТ Р 51858-2020. Сначала сырая нефть смешивается с деэмульгатором и ингибитором коррозии в смесителе 1 для разрушения эмульсий и подается на первую ступень сепарации, где происходит предварительный отбор газа. Далее нефть подвергается предварительному обезвоживанию в отстойнике 3 при естественной температуре, чтобы сбросить основную часть воды, а затем поступает в аппарат 5, где происходит глубокая очистка от воды, но уже с нагревом (примерно 80 °С), чтобы уменьшить вязкость тяжелой нефти и обеспечить более легкое протекание процесса. Следом нефть попадает на две ступени обессоливания (аппараты 7,8) с большим нагревом (примерно 120 °С), это необходимо для тяжелой нефти, так как она содержит большое количество природных эмульгаторов, что делает такие эмульсии более стойкими и тяжелыми для очистки, увеличивая время на их отделение. После этого в сепараторе 9 отделяется оставшаяся часть газов, которая могла выделиться в процессе предыдущих стадий очистки. Обезвоженная и обессоленная нефть проходит последнюю стадию – ректификацию, где она полностью избавляется от легких углеводородов, которые могут испариться в процессе её транспортировки и хранения. Нефть перед подачей в колонну 11 нагревается (примерно 150-200 °С) и попадает в среднюю часть аппарата, при помощи холодного (примерно 65-96 °С) и парового орошения (примерно 230-280 °С), создается разница в температурах и обеспечивается тепло- и массообмен. Товарная нефть отдает свое тепло сырой нефти через теплообменники 10,6,4 и поступает в резервуар 19, откуда насосом 20 подается в узел 21.

Аналитический обзор различных литературных и интернет-ресурсов, позволил выделить перспективы ТН. Сюда можно отнести:

- ресурсный потенциал: Россия обладает от 30 до 75 млрд т. ТН по многочисленным оценкам экспертов, а доказанные составляют 5-7 млрд. т. При этом общие запасы нефти составляют 31,4 млрд т. на 2025 год и прогнозируется значительное сокращение ЛН в течении 20 лет, что делает ТН стратегическим сырьем на десятилетия вперед [3];

- технологические инновации: необходимо совершенствовать, оптимизировать, находить новые технологии в процессе добычи, транспортировки, подготовки и переработки ТН, чтобы увеличить эффективность и конкурентоспособность в сравнении с ЛН. Например, ученые ПНИПУ создали новую математическую модель, которая способна подобрать оптимальные параметры для нагрева ТН без лишних затрат на энергию и перегрева оборудования. Так же ученые из ИГиНГТ КФУ разработали катализатор, облегчающий добычу ТН, в его основе лежат водорастворимые соли слабых кислот [4];

- экологические факторы: ТН при сжигании выделяет большое количество углекислого газа, что не лучшим образом сказывается на атмосфере, поэтому разрабатывают технологии по улавливанию и хранению CO_2 . Так же одной из важных проблем является загрязнение земли и воды, так как в процессе добычи ТН используются термические и открытые методы. Например, искусственный

интеллект может использоваться в разведке ТН, находя места с наиболее высокой вероятностью залегания продуктивных пластов, а также оптимальные зоны для бурения и закачки пара, что может решить большинство экологических проблем.

Таким образом, тяжелая нефть является перспективным энергоресурсом в нынешних условиях при большом спросе на энергоносители с учетом снижения запасов традиционных месторождений. Постоянно прогрессирующие технологии обеспечивают непрерывный рост эффективности в области эксплуатации ТН, несмотря на все ее технологические, экономические и экологические сложности. Роль ТН в будущем может иметь глобальное энергетическое решение во всем мире, обусловленным ее концептуальными возможностями на фоне мирового рынка.

Литература

1. Высоковязкая нефть: технологии транспортировки, добычи и переработки [Электронный ресурс] // Нефтегазовая промышленность. URL: <https://nprom.online/popular/vysokovyazkaya-neft-tehnologii-transportirovki-dobychi-i-pererabotki/>. (дата обращения 30.09.2025)
2. Савченков, А. Л. Химическая технология промышленной подготовки нефти: учебное пособие / А. Л. Савченков. – Тюмень: ТИУ, 2011. – 180 с. – ISBN 978-5-9961-0325-6. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/39329> (дата обращения: 30.09.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Старые месторождения устали: что последует за сокращением запасов легкой нефти [Электронный ресурс] // ТАСС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/23589283>. (дата обращения 30.09.2025)
4. Будущее трудноизвлекаемых запасов нефти в России: наука и технологии [Электронный ресурс] // Нефтегазовая промышленность. URL: <https://nprom.online/trends/budushhee-trudnoizvlekaemyh-zapasov-nefti-v-rossii-nauka-i-tehnologii/>. (дата обращения 30.09.2025)

*А.О. Блинов, к.ф.-м.н., ст. преп.; П.О. Ланoux, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРООЧИСТКИ НА ГЛУБИНУ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ ДИЗЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ

Гидроочистка – это каталитический процесс в нефтепереработке и нефтехимии, целью которого является очистка нефтепродуктов от нежелательных гетероатомных соединений путем их взаимодействия с водородом. Этот процесс относится к гидрогенизационным процессам. Фракции нефти проходят гидроочистку для того, чтобы уменьшить содержание серы в нефтепродуктах. Гидроочистка используется на любом нефтеперерабатывающем заводе, так как является одним из наилучших процессов нефтепереработки.

Повышение экологических стандартов к дизельному топливу, особенно в части ограничения содержания полициклических ароматических углеводородов, актуализирует разработку технологий, позволяющих одновременно снижать концентрацию как сернистых соединений, так и аренов в готовом продукте. В этом контексте гидрогенизационные процессы стали ключевыми среди методов вторичной переработки нефти. Это произошло за счет следующих факторов:

- экологическое регулирование: непрерывное ужесточение международных и национальных экологических нормативов;

- изменение структуры сырьевой базы: наблюдается рост доли переработки сернистых и высокосернистых нефтей;
- ресурсный фактор: растущая потребность в максимально глубокой переработке нефти.

Целью данного исследования является изучение влияния условий проведения гидроочистки на глубину десульфуризации дизельных фракций.

Для реализации поставленной цели нами были сформулированы следующие задачи:

- изучить параметры, которые влияют на десульфуризацию;
- выявить наилучшие условия работы этих параметров.

Эффективность процесса гидроочистки дизельной фракции определяется комплексом взаимосвязанных технологических параметров, основными из которых являются: температура, давление, кратность циркуляции водородсодержащего газа, объёмная скорость подачи сырья, катализатор. Эти параметры необходимо рассматривать вместе, так как они взаимосвязаны между собой

Ниже 320°C гидрирование проходит недостаточно интенсивно, а показатель обессеривания при объёмных скоростях не превышает 60%. При повышенных температурах возрастает интенсивность отложения кокса на катализаторе, что приводит к его дезактивации. Исходя из этого, 340-400°C - идеальный интервал.

Объёмная скорость – это объём сырья, подаваемый на единицу объёма катализатора в час. Степень обессеривания повышается при понижении объёмной скорости, но из-за этого производительность установки уменьшается, а отложение кокса – увеличивается. При повышении объёмной скорости уменьшается степень обессеривания и отложения кокса, расход водорода. Для достижения глубокой десульфуризации необходимо обеспечить достаточное время контакта, для этого необходимо использовать более низкую объёмную скорость.

Кратность циркуляции ВСГ влияет на парциальное давление. Благодаря высокой кратности поддерживается высокая концентрация, и следовательно, высокое парциальное давление водорода в реакции. Благодаря этому скорость реакций гидродесульфуризации и гидрирования ароматических углеводородов увеличивается. Это особенно важно для глубокой очистки от самых устойчивых сернистых соединений.

Увеличение кратности влечет за собой ряд экономических и технологических ограничений, а именно:

- энергозатраты: циркуляция большого объёма газа требует огромных затрат энергии;
- затраты на охлаждение горячего ВСГ после реактора;
- наличие оборудования большего диаметра;
- падение концентрации водорода.

Выбор величины кратности зависит от:

- качества сырья: более тяжелое сырьё требует больше водорода и лучшего теплоотвода;

- активности катализатора: более активные катализаторы могут работать при более низких кратностях;

- концентрации водорода в свежем и циркулирующем газе.

Оптимальный диапазон кратности циркуляции ВСГ для гидроочистки дизельных фракций составляет 250-400 нм³/м³. Для установок сверхглубокой гидроочистки верхняя граница может быть выше [1, 2].

Катализатор играет огромную роль в процессе гидроочистке. Именно он определяет глубину и селективность всех протекающих реакций. Его состав, структура и свойства являются ключевым фактором, влияющим на все технико-экономические показатели установки.

Без катализатора реакции удаления серы требовали бы за пределами высоких температур и давлений, делая процесс экономически нецелесообразным.

Достоинства катализатора:

- ускоряет желаемые реакции;

- направляет процесс, минимизируя побочные пути;

- обеспечивает доступ к самым трудным молекулам;

- гарантирует долгосрочную и экономичную работу установки.

Без правильно подобранного катализатора достижение современных экологических норм на содержание серы в дизельном топливе было бы невозможным.

Таким образом, управление процессом гидроочистки заключается в тонкой настройке этих параметров для достижения наилучших показателей качества дизельного топлива при обеспечении экономической эффективности.

Литература

1. Баннов П.Г. Процессы переработки нефти / П.Г. Баннов. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2000. – 224 с.
2. Смидович, Е.В. Технология переработки нефти и газа / Е.В. Смидович. – М.: Химия, 1980. – 328 с.

*А.О. Блинов, к.ф.-м.н., ст. преп.; П.О. Лапоух, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К СНИЖЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ В ДИЗЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЯХ НЕФТИ

На данный момент, удаление серных соединений из нефтяных фракций является ключевым этапом в процессе переработки нефти. Присутствие серы приводит к ряду серьезных проблем, а именно:

- топливо становится менее стабильным;

- в двигателях усиливаются коррозионные процессы.

Целью данного исследования является изучение инновационных подходов к снижению содержания серы в дизельных фракциях нефти.

Для реализации поставленной цели нами были сформулированы следующие задачи:

- изучить технологии сероочистки дизельных фракций нефти;

- выявить положительные и отрицательные стороны технологии сероочистки дизельных фракций нефти.

Гидроочистка является лучшим методом удаления серы из дизельного топлива, но у нее присутствуют серьезные недостатки:

- неидеальная очистка;
- сложность процесса;
- высокая стоимость.

Именно эти ограничения способствуют развитию других методов сероочистки [1, 2].

Метод экстракция.

Рассмотрим технологическую схему экстракционной очистки дизельных фракций нефти (рисунок 1).

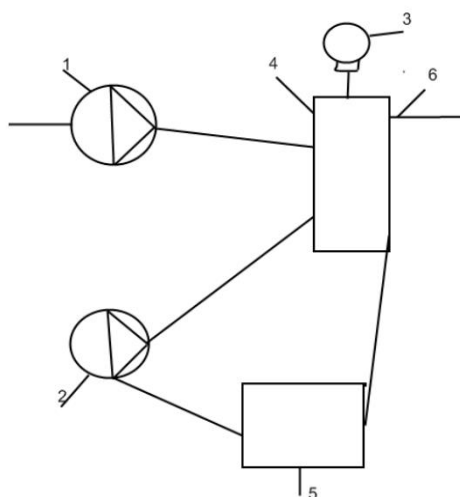


Рисунок 1 – Технологическая схема экстракционной очистки нефти

Схема состоит из 1 – насос для подачи нефти; 2 – насос для подачи экстрагента; 3 – электродвигатель экстрактора; 4 – колонный экстрактор; 5 – резервуар для экстрагента; 6 – выходной патрубок для очищенной нефти.

Принцип работы.

Нефть и экстрагент подаются в колонну. Нефть поступает снизу с помощью насоса, а экстракт – сверху. Для интенсивного контакта жидкостей внутри колонны установлен вращающийся вал с дисками. После перемешивания смесь разделяется: очищенная нефть, как более легкая фаза, поднимается в верхнюю отстойную зону и отводится на дальнейшие технологические операции, а отработанный экстрагент, будучи тяжелее, скапливается в нижней отстойной части колонны и направляется в специальный резервуар. По мере насыщения экстрагент в накопителе периодически заменяют на свежий.

К положительным сторонам данного метода можно отнести:

- не требуется дорогостоящий водород;
- не затрагивает углеводородную основу;
- энергозатраты ниже, чем при гидроочистке;
- низкая температура (комнатная температура - 100°С);
- низкое атмосферное давление.

К отрицательным можно отнести:

- неполное удаление серы;

- потери растворителя и загрязнение продукта;
- высокая стоимость экстрагентов;
- многостадийность процесса.

Метод алкилирования.

Рассмотрим технологическую схему очистки дизельных фракций нефти методом алкилирования (рисунок 2).

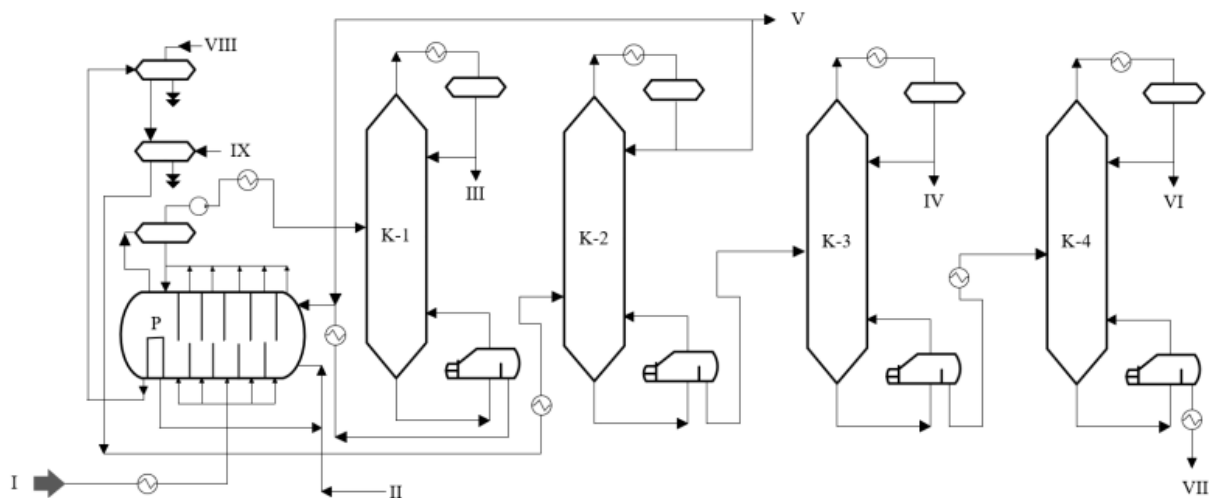


Рисунок 2 – Технологическая схема очистки нефти методом алкилирования

Схема состоит из I – сырье; II – свежая кислота; III – пропан; IV – бутан; V – изобутан; VI – легкий алкилат; VII – тяжелый алкилат; VIII – раствор щелочи; IX – вода

Принцип работы.

Подготовка сырья начинается с его предварительной обработки, которая включает удаление сернистых соединений и обезвоживание. Далее подготовленная углеводородная смесь охлаждается в теплообменнике за счет испарения изобутана и поступает в реактор-алкилятор Р по пяти параллельным линиям, каждая из которых ведет в отдельную секцию. В первую секцию реактора подаются основные реагенты: свежая и рециркулирующая серная кислота, а также жидкий изобутан. После протекания реакции алкилирования образовавшиеся продукты выводятся из отстойной зоны реактора и последовательно проходят стадии нейтрализации щелочным раствором и водной промывки. Очищенный продукт направляется в ректификационную колонну К-2, где от него отделяется циркулирующий изобутан. Технологическая схема предусматривает вывод избыточного изобутана с установки в случае его повышенной концентрации в сырье. Испарившиеся пропан и изобутан поступают в колонну К-1, для отделения пропана. Полученная снизу колонны К-1 изобутановая фракция смешивается с циркулирующим изобутаном из колонны К-2. Оставшаяся часть из К-2 последовательно проходит через колонны К-3 и К-4 для окончательного разделения. В К-4 смесь разделяется на два целевых продукта:

- легкий алкилат – отбирается сверху;
- тяжелый алкилат – отбирается снизу.

Тяжелый алкилат используется как компонент дизельного топлива.

К положительным сторонам данного метода можно отнести:

- высокая селективность в отношении легких сернистых соединений;
- процесс не требует водорода;
- высокий выход целевого продукта.

К отрицательным можно отнести:

- требуется источник олефинов;
- проблемы с катализатором;
- сложная технологическая схема: добавляется целый блок (реактор алкилирования и колонна стабилизации);
- накопление тяжелых сернистых остатков.

Метод адсорбция.

Рассмотрим технологическую схему адсорбционной очистки дизельных фракций нефти (УМК) (рисунок 3).

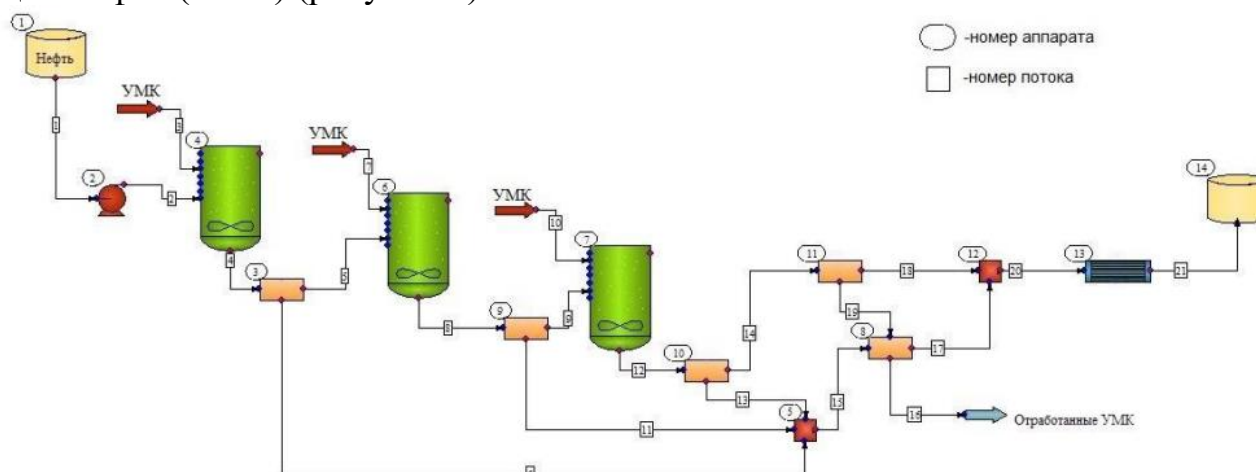


Рисунок 3 – Технологическая схема адсорбционной очистки нефти

Схема состоит из 1 – исходная емкость; 2 – насос; 4, 6, 7 – адсорберы; 3, 8, 9, 10, 11 – магнитные сепараторы (САЗ); 5, 12 – смеситель; 13 – магнитный фильтр; 14 – товарная емкость.

Принцип работы.

При помощи насоса, нефть, из исходной емкости, последовательно прокачивается через систему из трех адсорберов. В них используется адсорбент марки УМК, который находится во взвешенном состоянии в нефти. Для повышения эффективности очистки, смесь интенсивно перемешивается с помощью магнитных мешалок. После каждого адсорбента частично очищенная нефть поступает на узел отделения адсорбента. Данный узел состоит из магнитного сепаратора и магнитного фильтра, которые улавливают отработанный адсорбент из потока нефти. Очистка продолжается до тех пор, пока нефть не достигнет требуемых стандартов качества. После этого технологический цикл останавливается. Очищенная нефть перекачивается в товарную емкость, а отработанный адсорбент отправляется на регенерацию для повторного использования.

К положительным сторонам данного метода можно отнести:

- высокое качество очистки;
- низкие капитальные затраты;

- отсутствие высокого давления;
- отсутствие высокой температуры.

К отрицательным можно отнести:

- ограниченная сорбционная емкость;
- периодичность процесса в связи с регенерацией или выделением адсорбента.

Таким образом, методы сероочистки – это часть современной нефтепереработки и экологической политики. Без них было бы невозможно выполнение международных экологических стандартов, защита дорогостоящего оборудования и производство качественных товарных продуктов. Гидрогенизационные процессы остаются и будут оставаться основным рабочим инструментом в этой области, постоянно развиваясь для решения все более сложных задач.

Литература

1. Гайле, А.А., Альтернативные негидрогенизационные методы повышения качества дизельного топлива: монография/ А.А. Гайле, Б.М. Сайфидинов – СПб.:СПбГТИ(ТУ), 2009
2. Капустин, В.М. Новые технологии в российской нефтепереработке и нефтехимии/ В.М. Капустин// материалы I Санкт-Петербургского форума «Инновационные технологии в области получения и применения горючих и смазочных материалов», Санкт-Петербург, 24-25 сентября 2013 г., с.12

*М.В. Гончаров, к.т.н., доцент; Д.П. Осипов, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАСЛА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ПОЛУКОКСОВАНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Сланцевое масло, получаемое из горючих сланцев, представляет собой нетрадиционный углеводородный ресурс, интерес к которому в мире значительно возрос на фоне поиска альтернатив традиционной нефти. Его применение имеет многогранный характер, охватывая прежде всего энергетическую и химическую отрасли. После процесса очистки и облагораживания из сланцевого масла производят моторное топливо – бензин, дизель и авиационный керосин, что позволяет частично замещать продукты переработки классической нефти. Помимо этого, оно служит ценным сырьем для химической промышленности, являясь основой для производства масел, смазочных материалов, пластиков, растворителей. Широко используется сланцевое масло и в энергетике – как жидкое топливо для котельных и электростанций, обеспечивая работу энергосистем в отдельных регионах. Несмотря на существующие экологические вызовы, связанные с его добычей и переработкой, сланцевое масло продолжает оставаться важным ресурсом, способствующим диверсификации топливно-энергетического баланса и укреплению энергетической независимости стран, обладающих значительными запасами сланцев.

Продукты полукоксования сланцев, к которым относится и сланцевое масло, могут служить основой для получения жидких топлив, что подтверждается анализом их состава и потенциала для дальнейшей переработки [1]. Изучение путей квалифицированного использования этих продуктов направлено на по-

вышение эффективности сланцевых производств и расширение областей их применения. Общие принципы состава топлива, характерные для различных видов горючих ископаемых, применимы и к сланцевым маслам, что позволяет рассматривать их в одном ряду с другими традиционными энергоресурсами [2].

Помимо энергетического сектора, перспективным направлением является использование производных сланцевого масла в химической промышленности, в частности, в качестве полимерных модификаторов для улучшения свойств битумов и других материалов [3]. Однако развитие сланцевой индустрии сопряжено с серьезными экологическими вызовами, среди которых особое место занимает проблема утилизации отходов, например, отработанной отбеливающей глины, требующая поиска эффективных решений для минимизации ущерба окружающей среде [4]. Широкий спектр потенциальных направлений использования сланцевого масла обусловлен его специфическим компонентным составом, который, в отличие от традиционной нефти, характеризуется повышенной долей ароматических и непредельных углеводородов. Эта особенность предопределяет не только существующие технологические ограничения, но и открывает уникальные возможности для квалифицированного применения продуктов переработки сланцевой смолы в различных отраслях промышленности, выходящих за рамки энергетического сектора (таблица 1).

Таблица 1 – Основные направления применения сланцевого масла и продуктов его переработки

Направление применения	Целевые продукты	Технологические особенности и текущий статус	Ключевые проблемы и ограничения
Энергетика и топлива	Котельное топливо, компоненты моторных топлив, горючий газ	Наиболее освоенное направление. Смола может использоваться как тяжелое котельное топливо после обессеривания. Путем гидроочистки и крекинга возможно получение светлых нефтепродуктов, однако процесс энергоемок. Газ используется для энергоснабжения производств.	Высокое содержание гетероатомов и смолистых веществ требует глубокой и дорогостоящей очистки для получения качественных топлив. Низкое октановое/цетановое число прямых фракций.
Нефтехимический синтез	Фенолы, ароматические углеводороды, сырье для карбамидных смол	Наиболее ценное с точки зрения рентабельности направление. Высокое содержание фенолов (до 20%) делает смолу ценным сырьем для их извлечения. Ароматическая природа части фракций позволяет рассматривать ее как сырье для получения бензола, толуола.	Необходимость создания эффективных и селективных технологий выделения целевых компонентов из сложной смеси. Высокие капитальные затраты на организацию химических производств.

Производство материалов	Дорожные и кровельные битумы, модификаторы для полимеров, антисептики	Смолисто-асфальтеновые компоненты сланцевой смолы могут служить основой для получения битумных композиций. Исследуется возможность их модификации полимерными добавками для улучшения эксплуатационных характеристик. Фенольная фракция обладает антисептическими свойствами.	Нестабильность свойств сырья, необходимость корректировки рецептур битумных смесей. Конкуренция с более дешевыми нефтяными битумами.
Утилизация твердых отходов (полукокса)	Заполнители в строительстве, сырье для производства цемента, адсорбенты	Полукокс, являющийся массовым отходом переработки, может применяться в производстве строительных материалов, что частично решает экологическую проблему зольных отвалов.	Остаточное содержание органики и возможное выделение вредных веществ ограничивают широкое применение. Требуются дополнительные исследования по его стабилизации и обезвреживанию.

Проведенный анализ позволяет заключить, что сланцевое масло, получаемое методом полукоксования горючих сланцев, представляет собой сложный и многокомпонентный продукт, потенциал которого не исчерпывается его энергетической ценностью. Актуальность его комплексной переработки диктуется как необходимостью освоения трудноизвлекаемых углеводородных ресурсов, так и возможностью получения уникального химического сырья, в частности, фенолов. Несмотря на существующие технологические вызовы, связанные с сложным составом смолы и проблемой утилизации твердых отходов, современные исследования демонстрируют устойчивую тенденцию к поиску и разработке более эффективных и экологичных процессов. Дальнейшее развитие сланцеперерабатывающей отрасли видится в создании гибких технологических схем, позволяющих не просто производить альтернативное топливо, но и осуществлять глубокую переработку с выделением высоколиквидных химических продуктов и комплексным использованием всех потоков, включая твердые остатки.

Литература

1. Васильев В.В. Анализ продуктов полукоксования сланцев и изучение путей их квалифицированного использования / В.В. Васильев, Е.В. Саламатова, Э.Ю. Георгиева //Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. 2021. С. 486-491.
2. Пронин А.А. Топливо и основные его виды. Состав топлива / А.А. Пронин, И.Н. Гужин //Материалы 66-й студенческой научно-практической конференции инженерного факультета ФГБОУ ВО" Самарский государственный аграрный университет". 2021. С. 119-122.
3. Мусостов Ш.И. Полимерные модификаторы битумов / Ш.И. Мусостов, Э.Н. Сангариева, М.Х. Апаева // Прорывные научные исследования: проблемы, пределы и возможности. 2021. С. 104-113.
4. Овчинникова В. Д. Проблема утилизации отходов отбеливающей глины сланцевых производств и пути её решения //Наука и образование: новое время. Научно-методический журнал. – 2021. – №. 1. – С. 4-8.

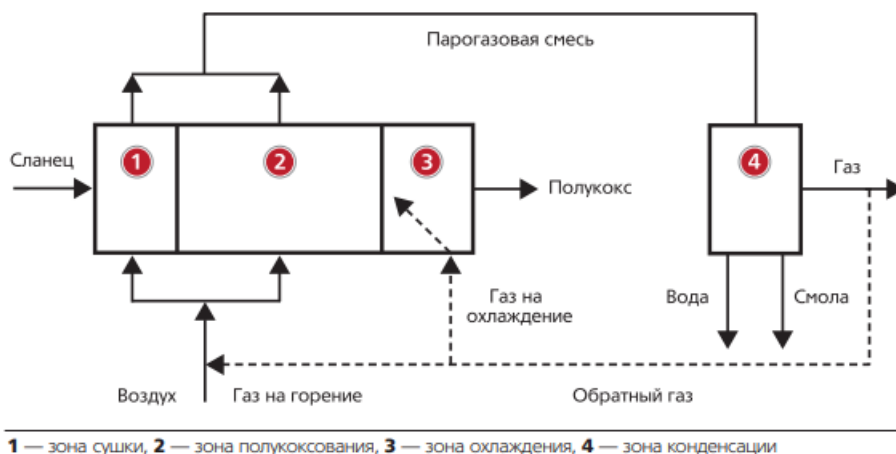
*М.В. Гончаров, к.т.н., доц.; Д.П. Осипов, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРЮЧЕГО СЛАНЦА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ БАЗОВЫХ МАСЕЛ

Ключевой проблемой современной энергетики остается растущий разрыв между потребностями мировой экономики в углеводородном сырье и истощением традиционных месторождений. В этом контексте все более значимым ресурсом становятся трудноизвлекаемые запасы, среди которых сланцевое масло занимает одну из перспективных позиций. Его актуальность обусловлена не только колоссальными объемами потенциальных запасов, концентрирующихся в низкопроницаемых сланцевых толщах, но и необходимостью диверсификации источников энергоносителей в условиях геополитической нестабильности. Однако переход от потенциала к промышленной добыче сопряжен со значительными технологическими вызовами. Несмотря на то, что в мире накоплены значительные запасы угля, сланца большинство промышленных предприятий в качестве сырья традиционно отдают предпочтение нефти и ее производным. Перспективным направлением является переработка горючего сланца ресурс, обладающий высоким энергетическим потенциалом и способному служить альтернативным источником углеводородного сырья. Особый интерес представляет возможность получения из него высококачественных базовых масел – ключевых компонентов смазочных материалов, широко применяемых в машиностроении, транспорте и других отраслях промышленности. Получение сланцевого масла требует применения комплекса высокотехнологичных методов, таких как термическое воздействие непосредственно в пласте (in-situ) через различные пиролитические процессы, направленных на трансформацию керогена в подвижную фракцию. Специфика состава и свойств конечного продукта предопределяет его дальнейшее применение, которое выходит за рамки традиционного топливного сектора, охватывая области нефтехимического синтеза и производства специализированных материалов.

Ключевым направлением в переработке горючих сланцев является их термическое разложение с целью получения жидких углеводородов – сланцевого масла. Основным промышленным методом его получения выступает процесс полукоксования, осуществляемый в различных технологических схемах. Наиболее прогрессивными считаются установки, работающие по принципу взаимодействия измельченного сланца с твердым теплоносителем, например, горячей золой или полукоксом. В такой системе, подробно описанной в литературе по сланцепереработке, сырье последовательно проходит зоны сушки и собственно полукоксования, где при температурах 450-550 °С происходит термический крекинг содержащегося в сланце органического вещества – керогена. Физико-химические свойства и состав образующихся продуктов напрямую зависят от режимных параметров, что подтверждается исследованиями низкотемпературного пиролиза, отмечающими изменение выхода и качества смолы в

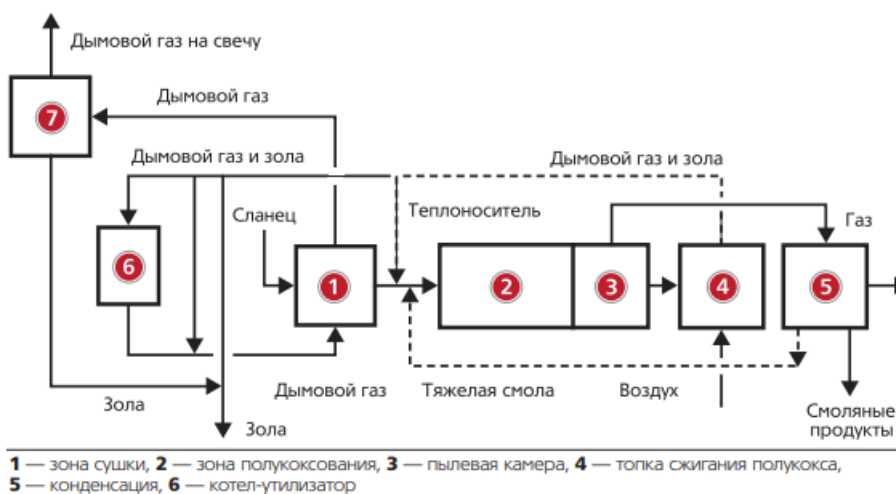
зависимости от термического воздействия [3]. В результате сложных процессов деструкции керогена образуется парогазовая смесь, которая после конденсации разделяется на целевой продукт – сланцевую смолу (сырое сланцевое масло) и неконденсируемый газ.



1 — зона сушки, 2 — зона полукоксования, 3 — зона охлаждения, 4 — зона конденсации

Рисунок 1 – Принципиальная блок-схема процесса «Кивитер» переработки сланца с газовым теплоносителем [4]

Альтернативой является газогенераторный процесс, однако его существенным недостатком, как отмечено в исходном тексте, является разбавление пиролизного газа продуктами сгорания, что снижает его энергетическую ценность и усложняет последующее использование. Вне зависимости от технологической схемы, прямое следствие полукоксования – образование значительных объемов твердого остатка (полукокса), утилизация которого остается серьезной экологической и экономической задачей, хотя существуют разработки по его применению в производстве строительных материалов [1].



1 — зона сушки, 2 — зона полукоксования, 3 — пылевая камера, 4 — топка сжигания полукокса, 5 — конденсация, 6 — котел-утилизатор

Рисунок 2 – Блок-схема переработки сланца с твердым теплоносителем [4]

Непосредственно сланцевая смола представляет собой сложную многокомпонентную смесь, характеризующуюся высоким содержанием гетероатом-

ных соединений, смолисто-асфальтеновых веществ и непредельных углеводородов [1]. Такой состав обуславливает ее склонность к окислению и полимеризации, что требует дальнейшей углубленной переработки для получения товарных продуктов. Перспективным направлением является использование сланцевых смол не только как источника моторных топлив, но и как ценного химического сырья, в частности, для извлечения фенолов. Кроме того, актуальны исследования по очистке смол от гетероатомных соединений и их последующему использованию, в том числе в качестве модификаторов для битумов, где изучается влияние полимерных добавок на свойства композиций [4].

Проведенный анализ позволяет заключить, что сланцевое масло, получаемое методом полукоксования горючих сланцев, представляет собой сложный и многокомпонентный продукт, потенциал которого не исчерпывается его энергетической ценностью. Актуальность его комплексной переработки диктуется как необходимостью освоения трудноизвлекаемых углеводородных ресурсов, так и возможностью получения уникального химического сырья. Несмотря на существующие технологические вызовы, связанные с сложным составом смолы и проблемой утилизации твердых отходов, современные исследования демонстрируют устойчивую тенденцию к поиску и разработке более эффективных и экологичных процессов. Дальнейшее развитие сланцеперерабатывающей отрасли видится в создании гибких технологических схем, позволяющих не просто производить альтернативное топливо, но и осуществлять глубокую переработку с выделением высоколиквидных химических продуктов и комплексным использованием всех потоков, включая твердые остатки.

Литература

1. Васильев В.В. Анализ продуктов полукоксования сланцев и изучение путей их квалифицированного использования / В.В. Васильев, Е.В. Саламатова, Э.Ю. Георгиева // Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. 2021. С. 486-491.
2. Пронин А.А. Топливо и основные его виды. Состав топлива / А.А. Пронин, И.Н. Гужин // Материалы 66-й студенческой научно-практической конференции инженерного факультета ФГБОУ ВО "Самарский государственный аграрный университет". 2021. С. 119-122.
3. Мусостов Ш.И. Полимерные модификаторы битумов / Ш.И. Мусостов, Э.Н. Сангариева, М.Х. Апаева // Прорывные научные исследования: проблемы, пределы и возможности. 2021. С. 104-113.
4. Сооне Ю.Г., Рийсалу Х. Получение топлив из горючих сланцев // Газохимия. 2009. №3 (7). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-topliv-iz-goryuchih-slantsev> (дата обращения: 22.09.2025).

*В.Н. Денисов, д.т.н., доцент; Е.Е. Смирнова, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАМЕСА ТЕСТА

Замес теста является одним из ключевых этапов хлебопекарного производства, который оказывает значительное влияние на качество и характеристики конечного продукта. Основными действиями, которые заметно влияют на технологические характеристики теста, являются точное дозирование сырьевых компонентов и промежуточных продуктов, последующее их интенсивное смешивание и замешивание [1].

Автоматизация технологических процессов является одним из решающих факторов повышения производительности и улучшения качества производимой продукции, а также ее себестоимости. Методы математического моделирования процессов замеса теста представляют собой важный аспект инженерного анализа хлебопекарного производства. Из-за сложной природы процесса и большого числа переменных параметров возникает необходимость применения математических моделей для изучения и оптимизации процесса.

Одним из хорошо разработанных методов является метод сеток (метод конечных разностей – МКР). Это мощный инструмент моделирования процессов смешивания, описываемых уравнениями в частных производных (УЧП). Этот метод позволяет свести задачу смесеобразования при замесе, описываемую УЧП, к системе простых алгебраических уравнений. При этом в силу замены частных производных разностными выражениями имеется возможность оценки погрешности при таких преобразованиях и выбора шага сетки для устойчивости разностной схемы. Это, в частности, позволяет получить физически достоверную картину поведения концентрации в смешиваемых средах.

Другим распространенным методом математического моделирования является метод конечных элементов (МКЭ). МКЭ применяется для описания распределения напряжений и деформаций внутри массы теста во время замеса, теплообмена, изменений характеристик теста при вибрационном воздействии, гидродинамических особенностей. Суть метода состоит в том, что решение задачи ищется как экстремум некоторого функционала, достигаемого на решении УЧП процесса смесеобразования. При этом область определения функционала разбивается на множество маленьких подобластей, в каждой из которых решение аппроксимируется линейной функцией. Это позволяет свести задачу к системе линейных алгебраических уравнений. После этого проводится проверка адекватности модели экспериментально и уточняются необходимые параметры [2].



Рисунок 1 – Преимущества и недостатки МКР



Рисунок 2 – Преимущества и недостатки МКЭ

Следующий широко используемый метод – метод молекулярной динамики (МД). Этот метод используется для моделирования микроструктурных изменений теста на уровне молекул. По сути, МД рассматривает движение отдельных частиц теста под воздействием сил, возникающих вследствие взаимодействий между ними. Такой подход позволяет глубже понимать механизмы формирования клейковины и других белков, влияющих на консистенцию теста. МД-модели часто используются совместно с методами численного анализа для получения детальной картины внутреннего строения теста.



Рисунок 3 – Преимущества и недостатки МД

Еще одним методом, используемым в хлебопекарной сфере, является метод теории хаоса. Данная теория изучает непредсказуемые явления, характерные для нелинейных систем, таких как тесто. Она помогает специалистам анализировать внутреннюю динамику замеса, выявляя тонкую зависимость качеств теста от незначительных изменений начальных условий и интенсивности работы месильных механизмов.



Рисунок 4 – Преимущества и недостатки Теории хаоса

Применяя концепцию хаоса, учёные воссоздают сценарии поведения теста при замесе, фиксируя резкие колебания параметров (например, вязкости, температуры или плотности). Основываясь на этой теории, созданы математические модели, способные демонстрировать сложность и нестабильность поведения теста, показывая чёткую связь между длительностью замеса и итоговыми характеристиками готового продукта [1].

Значительную роль в исследовании процессов замеса теста выполняют статистические методы, среди которых выделяется дисперсионный анализ. Его основной задачей является идентификация существенных факторов, влияющих на качество готового теста. К числу таких факторов относятся температура используемой воды, процент содержания дрожжей, пропорция муки и жидкости, интенсивность и продолжительность перемешивания.

Этот метод позволяет разделить вариацию качества теста на составляющие, вызванные влиянием отдельных факторов, и оценить их относительный вклад. Результатом становится построение математических моделей, наглядно демонстрирующих важность каждого компонента и дающих рекомендации по выбору оптимальных комбинаций условий замеса.

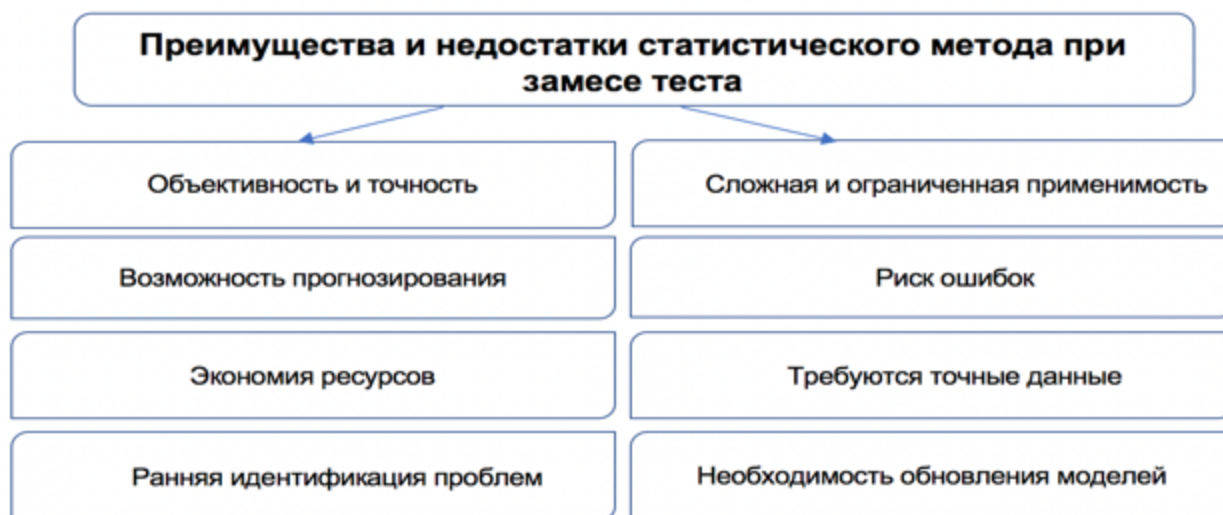


Рисунок 5 – Преимущества и недостатки статистического метода

Таким образом, математическое моделирование процессов замеса теста является мощным инструментом, способствующим совершенствованию хлебопекарного производства. Оно помогает инженерам и технологам лучше понять внутренние процессы, оптимизировать режимы замеса и разработать новые рецепты.

Сочетание различных методов математического моделирования позволяет достигнуть высоких стандартов качества продукции и увеличить прибыльность производства. Важно отметить, что выбор метода моделирования зависит от конкретной цели исследования и наличия данных. Чем точнее и полнее будут учтены параметры процесса, тем ближе полученный результат к реальности. Поэтому для достижения максимальной пользы рекомендуется комбинирование нескольких методов моделирования, дополнять друг друга и давать целостную картину происходящих процессов. Это позволяет не только глубоко проникнуть в природу замеса теста, но и ускорить научно-технический прогресс в хлебопекарной сфере, сделав производство экономически выгодным и экологически устойчивым.

Литература

1. Васильев, Ю. Н. Основы математического моделирования технологических процессов хлебопекарного производства / Ю. Н. Васильев. – Москва : Агропромиздат, 2018. – 320 с.
2. Орлова, О.Б., Игнатъева, И.К. Оценка влияния параметров замеса на качество теста с помощью математического моделирования. // Журнал технической науки и техники. – 2022. – №1. – С. 76–83.

*В.Н. Денисов, д.т.н., доцент; Е.Е. Смирнова, студ.
(филиал ФБГОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ХЛЕБОПЕКАРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

В современных условиях интенсивного развития пищевых технологий особое внимание уделяется вопросам повышения эффективности и устойчивости технологических процессов промышленных предприятий, в том числе хлебопекарных заводов. Одной из передовых тенденций, позволяющей достичь поставленных целей, стало широкое распространение концепции цифровых двойников. Эта концепция подразумевает создание виртуальных копий реальных устройств, объектов и процессов, предназначенных для всестороннего анализа и оптимизации технических характеристик оборудования или технологий производства.

Хлебопекарное предприятие традиционно ориентировано на соблюдение строгих стандартов качества и строгих требований к процессу изготовления продуктов питания. Важнейшую роль здесь играют, как известно, этапы подготовки и обработки исходных ингредиентов, включая этап замеса теста, выполняемый специальными смесительными устройствами. От правильности выбора конструкции и условий работы таких технологических машин напрямую зави-

сят качественные показатели выпеченных изделий, экономические показатели производства и общая рентабельность бизнеса [1].

Именно поэтому актуальным направлением исследований становится применение цифровых двойников применительно к оборудованию хлебозаводов. Такая практика направлена на улучшение контроля над производственными процессами, повышение уровня предсказуемости качества готовых изделий и сокращение рисков возникновения нежелательных отклонений от установленных норм.

Цифровой двойник представляет собой виртуальную модель, адекватно отражающую физическую сущность объекта или процесса в соответствующем киберпространстве. Его основная задача – получение исчерпывающей и адекватной информации о характеристиках и поведении реального объекта или процесса, будь то сложное инженерное устройство или целая производственная линия.

Принцип работы цифрового двойника смесительных устройств заключается в следующем: на самом устройстве размещаются специальные датчики и сенсоры, собирающие данные о важнейших показателях работы оборудования – температуре, влажности, интенсивности перемешивания, мощности двигателя, вибрациях и других характеристиках объекта. Эта информация незамедлительно отправляется в централизованную систему сбора и обработки данных, где данные сохраняются и проходят первичную обработку.

Следующим этапом является формирование виртуальной модели – цифрового двойника, который посредством математического моделирования буквально зеркалит физическое устройство, сохраняя всю необходимую техническую информацию и конструкционные особенности. Используя специально разработанные алгоритмы и аналитику, проводится сравнение полученной от цифрового двойника информации с ранее зафиксированными показателями. В результате выявляются скрытые тенденции и предугадываются вероятные проблемы, что позволяет принять упреждающие меры профилактики.

Кроме того, осуществляется симуляция различных эксплуатационных режимов, проверяется устойчивость технологических процессов и надежность оборудования в критических ситуациях. Основываясь на выводах и рекомендациях виртуальной модели, вносятся необходимые коррективы в работу физического устройства, начиная от регулировки скоростей движущихся частей механизмов и заканчивая изменением параметров технологического процесса.

Любое внесенное изменение фиксируется датчиками и снова попадает в виртуальную модель, обновляя её. За счёт такой обратной связи поддерживается синхронность виртуального и физического объектов (процессов), что гарантирует высокую точность принимаемых решений и максимальное продление срока службы оборудования. Такой подход позволяет добиться существенного снижения числа непредвиденных поломок, сократить период простоя оборудования, оптимизировать его эксплуатацию и повысить общий уровень эффективности всего предприятия.

Использование цифровых двойников обладает рядом существенных преимуществ, среди которых:

1. Повышенная точность управления процессом: благодаря постоянному контролю и обработке данных, обеспечиваемых датчиками и системами аналитики. Оператор получает детальную картину происходящего в режиме реального времени. Это позволяет своевременно вносить необходимые корректировки в режимы работы оборудования, улучшая однородность и консистенцию замешиваемого теста.

2. Оптимизация расхода материалов и снижение затрат: цифровой двойник способен отслеживать количество используемого сырья и расход электроэнергии, помогая минимизировать потери и увеличить эффективность эксплуатации оборудования. Уменьшается риск появления дефектов готовой продукции, что ведет к экономии материальных ресурсов.

3. Прогнозирование отказов и предотвращение аварийных ситуаций: постоянный мониторинг показателей работы смесителей позволяет заранее выявить возможные неисправности и предотвратить выход оборудования из строя. Плановое техническое обслуживание значительно продлевает срок службы техники и снижает вероятность незапланированных остановок производства.

4. Автоматизация производственного процесса: интеграция цифровых двойников с системой управления предприятием позволяет автоматизировать рутинные операции и освободить персонал для выполнения более сложных задач. Это повышает общую продуктивность и снижает влияние человеческого фактора на качество выпускаемой продукции.

Несмотря на многочисленные преимущества, внедрение цифровых двойников сопряжено с определенными трудностями и ограничениями:

1. Высокая стоимость разработки и интеграции: проектирование и реализация полноценного цифрового двойника требуют значительных финансовых вложений, что может стать препятствием для небольших и средних предприятий. Необходимость приобретения специализированного программного обеспечения и организации инфраструктуры поддержки усложняет внедрение подобных решений.

2. Необходимость квалифицированного персонала: эффективное использование цифровых двойников предполагает наличие сотрудников, обладающих глубокими техническими знаниями и умениями. Требуется обучение персонала новым методикам и технологиям, что увеличивает расходы на подготовку кадров.

3. Зависимость от надежности датчиков и сетей связи: система цифрового двойника зависит от стабильности работы измерительной аппаратуры и каналов передачи данных. Нарушение работоспособности даже одного элемента может привести к искажению результатов моделирования и неправильным управленческим решениям.

4. Проблемы информационной безопасности: передача и хранение больших объемов данных создают риски утечки конфиденциальной информации и

кибератак. Необходимо внедрять надежные меры защиты данных, что влечет дополнительные финансовые издержки [2].

Технология цифровых двойников представляет собой мощный инструмент для повышения эффективности и конкурентоспособности хлебопекарных предприятий. Она позволяет лучше контролировать производственные процессы, экономить ресурсы и улучшать качество выпускаемых продуктов. Однако, наряду с преимуществами, существуют значительные препятствия, такие как высокая стоимость реализации проектов, необходимость привлечения высококвалифицированных специалистов и обеспечение надежной информационной безопасности.

Тем не менее, несмотря на существующие трудности, потенциал цифровых двойников очевиден, и дальнейшие исследования и разработка инновационных решений на базе цифровых двойников позволят преодолеть возникающие ограничения и сделать технологию доступной для широкого круга пользователей.

Литература

1. Беседин, А. Ю. Внедрение цифровых двойников в пищевую промышленность / А. Ю. Беседин // Студенческий вестник. – 2024. – № 27-2(313). – С. 56-57.
2. Табашников, А. А. Особенности использования цифровых двойников в пищевой промышленности / А. А. Табашников, Р. А. Козин, Г. В. Суровицкая // Актуальные проблемы технических и естественных наук в России и за рубежом: сборник научных статей. – Москва: Издательский дом «НАУКА И СОЦИУМ», 2024. – С. 194-196.

*А.Г. Евсюков, студ.; А.О. Блинов, к. физ-мат. н., ст. препод.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САХОРОЗАМЕНИТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ НАПИТКОВ

Для большинства людей энергетик – возможная замена таким кофеинсодержащим продуктам, как кофе и чай, например для борьбы с усталостью и повышения концентрации. Также он может быть источником витаминов и быстрой энергии за счет сахара. При этом назвать энергетик полезным напитком сложно – скорее, это просто один из продуктов, который можно иногда употреблять. В 250 мл (1 стакане) энергетика в среднем содержится 80 мг кофеина и 28 грамм сахара. Калорийность такого стакана составляет около 115 калорий, что равноценно полноценному перекусу. Дневная норма сахара составляет 52 грамма, а кофеина 400 мг. Таким образом, выпив всего один стакан энергетика, человек получает уже половину дневной нормы сахара.

Целью данного исследования является изучение преимуществ и недостатков разных сахарозаменителей в производстве энергетических напитков.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- ознакомиться с типами сахарозаменителей;
- изучить преимущества и недостатки некоторых видов сахарозаменителей

Энергетические напитки без сахара позиционируются как более полезная альтернатива обычным. Они нужны, чтобы сделать напиток сладким и при этом диетическим, это может пригодиться тем, кто хочет получить бодрящий эффект без лишних калорий. В зависимости от происхождения сахарозаменители де-

ляются на натуральные и синтетические. Натуральные получают из природных источников (например ферментацией из растений). Синтетические в свою очередь являются продуктом химического синтеза. У таких напитков есть ряд преимуществ:

1. Сниженная калорийность.

При одинаковом уровне сладости в рецептурах без сахара почти нет калорий.

2. Охват большей аудитории.

Напиток на сахарозаменителях становится доступным для людей с диабетом, так как не вызывает в крови резкого скачка глюкозы.

3. Профилактика кариеса

В то время как сахар – это питательная среда для бактерий, сахарозаменители не способствуют разрушению зубной эмали, что и не вызывает проблем с зубами.

4. Экономичность.

Некоторые сахарозаменители в сотни раз слаще обычного сахара, что позволяет очень малое их количество.

Однако, состав энергетиков на сахарозаменителях может быть не менее вредным, а иногда энергетики с сахарозаменителем могут быть опаснее классических вариантов:

1. Высокое содержание кофеина и стимуляторов.

Основная опасность энергетиков – не только сахар, но и чрезмерное количество кофеина, который негативно влияет на организм человека – это повышенная нагрузка на сердце; бессонница, нервозность, тревожность; обезвоживание (кофеин обладает мочегонным эффектом); проблемы с пищеварением (желудочные боли, изжога);

2. Опасные комбинации с алкоголем и лекарствами

Многие смешивают энергетики с алкоголем, якобы маскируя опьянение, но при этом увеличивая нагрузку на сердце. Также кофеин может взаимодействовать с лекарствами (например, антидепрессантами), усиливая их побочные эффекты.

Энергетические напитки без сахара могут содержать один подсластитель или комбинацию различных подсластителей, например: аспартам, сукралоза. Эти подсластители являются одними из самых проверенных и наиболее часто используемых заменителей сахара во всем мире, и все они имеют отличный профиль безопасности. Многочисленные научные исследования показывают, что эти вещества безопасны для использования в качестве подсластителей в рекомендуемых дозировках.

В качестве примера рассмотрим несколько наиболее популярных сахарозаменителей.

1. Фруктоза.

Фруктоза – натуральный фруктовый сахар, который содержится во фруктах и ягодах, а также в цветочном нектаре, меде, семенах растений. Этот заменитель сахара слаще сахарозы в 1,7 раза. Преимущества фруктозы: низкая ка-

лорийность по сравнению с сахарозой (на 30%), малое влияние на уровень сахара в крови. К тому же это один из немногих подсластителей, которые обладают консервирующим свойством, и ее применяют в приготовлении джемов и варенья для больных сахарным диабетом. К недостаткам фруктозы следует отнести возможность повышать риск сердечно-сосудистых заболеваний при её потреблении в больших количествах. Безопасная доза: не более 30-40г фруктозы в сутки.

2. Сорбит (Е 420).

Этот заменитель сахара есть в абрикосах, яблоках, но больше всего его содержится в рябине. Простой сахар слаще сорбита в 3 раза. Сорбит может использоваться в питании диабетиков безо всяких опасений; его добавляют в качестве консерванта в соки и безалкогольные напитки. Но сорбит на 53 % калорийнее сахара, поэтому тем, кто следит за своей фигурой, он не подходит. Если его употреблять в больших количествах, то он может вызывать побочные эффекты – тошноту, расстройство желудка, вздутие живота. Безопасная доза: не более 30-40г в сутки

3. Цикламат (Е 952).

Цикламат в 30-50 раз слаще сахарозы. Этот заменитель сахара обычно вводят в состав комплексных таблетированных сахарозаменителей. Существует два вида: натриевый цикламат (применяется чаще) и кальциевый. Цикламаты легко растворяются в воде и выдерживают очень высокие температуры, поэтому этот заменитель сахара подходит для подслащивания пищи в процессе приготовления. В России этот заменитель сахара наиболее распространен из-за низкой стоимости. Цикламат натрия нельзя употреблять при почечной недостаточности, а также во время беременности и грудного вскармливания. Безопасная доза: не более 0,8г в сутки

Таким образом установлено, что использование сахарозаменителей позволяет значительно снизить калорийность продукта и сделать его доступным для людей с диабетом, а также способствует профилактике кариеса. Однако каждый вид сахарозаменителей имеет свои особенности: натуральные подсластители обладают положительным восприятием и некоторыми полезными свойствами, но могут иметь технологические ограничения и специфический вкус; синтетические заменители характеризуются высокой сладостью и стабильностью, но вызывают у части потребителей сомнения из-за искусственного происхождения. Выбор сахарозаменителя должен базироваться на балансе между вкусовыми качествами, технологическими требованиями, безопасностью и предпочтениями целевой аудитории.

Литература

1. Громова, И. В., & Кузнецова, Е. А. Энергетические напитки: состав, влияние на организм и безопасность потребления. Вестник Российской академии медицинских наук, 2018. 344 с.
2. Иванова, Н. В., & Петров, С. А. Искусственные подсластители в пищевой промышленности: обзор и оценка безопасности. Пищевая промышленность, 2019. 45 с.
3. Смирнов, А. В., & Козлова, М. Ю. Влияние энергетических напитков на сердечно-сосудистую систему человека. Кардиология, 2020. 80 с.
4. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор). (2021). Методические рекомендации по безопасному потреблению энергетических напитков.

*В.Н. Клименкова, студ., М.А. Новикова, ст.пр.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г.Смоленске)*

ОСОБЕННОСТИ УПАКОВКИ И ХРАНЕНИЯ ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ

Упаковка – это защитная «оболочка» для предметов или групп товаров, созданная для удобства хранения и транспортировки продукции. В настоящих условиях развития пищевой промышленности, аспекты, касающиеся упаковки кондитерских изделий, становятся особо важны. На полках магазинов упаковка выполняет не только защитную функцию – являясь «барьером» между продуктом и окружающей средой, но и функцию продвижения (маркетинга): привлекает внимание, передает информацию, формирует эмоциональную связь с потребителем, в некоторых случаях, выполняет логистическую функцию.

На сегодняшний день, отмечается увеличение роста требований от потребителя к качеству, безопасности и экологичности упаковки. Также выявлено стремление к созданию материалов, обеспечивающих благоприятные условия хранения, при этом минимизировав воздействие на окружающую среду.

Сохранение потребительских качеств, вкусовых особенностей, органолептических показателей, также увеличение срока хранения овсяного печенья напрямую зависит от выбора упаковочного материала и технологии упаковки. Правильно подобранные вышеуказанные критерии, обеспечивают защиту продукта от воздействий: влаги, света, кислорода и механических повреждений, являющихся критическими для сохранения свежести и вкусовых свойств печенья.

Таким образом, целью данного исследования является определение наиболее экономичного и экологичного вида упаковки овсяного печенья, соответствующего принятым стандартам.

Для реализации поставленной цели были определены следующие задачи:

- изучить существующие и ранее используемые методы упаковок;
- отметить преимущества и недостатки каждого вида;
- выявить особенности используемого оборудования при упаковке определенного вида;
- проанализировать материалы, используемые для упаковки печенья.

В качестве ключевых методов исследования были избраны: теоретический анализ и синтез данных различных источников, структурный анализ, а также сравнительный анализ.

Каждый вид упаковки должен соответствовать ряду требований: полная совместимость с содержимым упаковки; материалы должны соответствовать санитарно-гигиеническим нормам; герметичность; сохранение товарного вида; удобство транспортировки и хранения; привлекательность для потребителя. В современных реалиях одним из дополнительных, но не обязательных требований является возможность переработки и биоразлагаемость упаковки.

Для того чтобы выявить наиболее рациональный метод упаковки овсяного печенья, нужно отметить его оптимальные условия хранения [1]. Оптимальные условия хранения овсяного печенья представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Оптимальные условия хранения овсяного печенья

Существуют два основных вида упаковки печенья – весовое и фасовочное.

Весовая упаковка – это тип упаковки, для которого характерно фиксированное весовое значение, без привязки к количественным единицам продукции. Характерные виды тары для весовой упаковки – гофрокороб и гофролоток «телевизор» – оба вида изготавливаются из многослойного гофрокартона. Отличие данных тар заключается в возможности у гофролотка «телевизор» оценить товар через упаковочную пленку и выставить его на полки без перефасовки. На производстве используя данный вид упаковки фасовка осуществляется преимущественно ручным способом, рабочим – фасовщиком, при использовании: стола, весов и пергаментной бумаги, служащей разделителем слоев печенья.

Фасовочная упаковка – тип упаковки, предназначенный для хранения, транспортировки и продажи различных продуктов. Оборудование, используемое при упаковке – фасовочно-упаковочные аппараты. В зависимости от конструкции различают горизонтальные и вертикальные аппараты. Основные типы тары для фасовщиков – с плоским дном и типа «подушка». Тара с плоским дном может подразделяться в зависимости от материала, из которого она сделана: металлическая, пластиковая, бумажная. Тара типа «подушка» представляет собой упаковку, формирующуюся из одного листа упаковочного материала, сложенного и запаянного по краям. Также следует отметить тип упаковки – индивидуальная. Данный тип представляет собой упаковку типа «подушка», основная особенность которого заключается в упаковке дозированных маленьких порций, которые в свою очередь упакованы в общую тару.

Для дальнейшего анализа рассмотрим три типа тары, используемые для упаковки овсяного печенья: гофролоток «телевизор», с плоским дном и типом «подушка», выделим особенности, преимущества и недостатки для каждого.

Гофролоток «телевизор», за счет своей конструкции, помогает удерживать печенье в одном положении, предотвращая его излишнее перемещение и механические повреждения. Наличие пленки на верхней части упаковки обеспечивает защиту от пыли и посторонних запахов. Используемый в материале гофрокартон обеспечивает достаточную жесткость для хранения и транспортировки печенья, а также является экологичным – биоразлагаемым сырьем. Главная особенность – возможность прямой выкладки на витрину. Основные недостатки представлены крайне низкой герметичностью, в сравнении с другими типами и достаточно большими габаритами.

Данный тип упаковки, подходит для продажи в розничных магазинах, где ценится красивая выкладка на полках. Распространено для печенья среднего и премиального сегмента.

Упаковка типа «подушка» представляет собой простой, плотно облегающий продукт, пакет из многослойной пленки, часто с дополнительными барьерными слоями, для увеличения срока хранения печенья. Ключевое преимущество – герметичность запаянных швов. Следует также отметить такие достоинства, как: гигиеничность, возможность порционной упаковки и способность пленки иметь яркие дизайны, привлекающие внимание потребителя. Необходимо подчеркнуть основные недостатки данной упаковки: при больших механических повреждениях, шов «лопается» и герметичность пропадает; экологичность данного типа – неоднозначна, так как некоторые многослойные пленки сложны в переработке; необходимость в сложном оборудовании. «Подушка» является типом упаковки, характерным для массового производства, используется для индивидуальной (порционной) упаковки.

Упаковка с плоским дном имеет боковые стенки из многослойной пленки, формирующие плоское дно, позволяющее пакету «стоять». Верхняя часть запаивается, создавая герметичность упаковки, а также может быть оснащена zip-застешкой, для повторного закрытия. Важно отметить возможность службы как первичной упаковкой, так и вторичной, сочетая защиту продукта с презентабельностью. Недостатки данного типа схожи с предыдущей упаковкой, из-за одинакового используемого материала.

Проанализировав выбранные типы упаковки, для более наглядного сравнения, основные характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная таблица типов упаковки овсяного печенья

Сравниваемый критерий	Упаковка гофролоток «Телевизор»	Упаковка типа «подушка»	Упаковка с плоским дном
Основной материал	Гофрированный картон	Многослойные полимерные пленки	Многослойные полимерные пленки
Герметичность	Средняя (требует внутренней герметичной упаковки)	Высокая (герметичность и барьерные свойства пленки)	Высокая (герметичность и барьерные свойства пленки)

Защита от механических повреждений	Высокая	Низкая (требуется жесткая внешняя упаковки)	Средняя (требуется жесткая внешняя упаковки)
Удобство вскрытия и использования	Хорошее (часто с перфорацией)	Хорошее (особенно для порционной упаковки)	Отличное (устойчивость, возможность zip-застежки)
Штабелируемость	Средняя	Низкая (требуется групповая внешняя упаковки)	Хорошая
Экологичность	Хорошая (перерабатываемый картон)	Средняя или низкая (зависит от типа пленки)	Средняя или низкая (зависит от типа пленки)

Таким образом, упаковка и условия хранения овсяного печенья являются неотъемлемыми составляющими производства, обуславливающими увеличение срока хранения продукции и потребительский выбор. В настоящее время часто отмечается комбинирование различных типов тары, для увеличения защиты продукта. Но наиболее распространенный метод упаковки овсяного печенья является – тип «подушка», с дальнейшей укладкой в жесткую упаковку.

Литература

1. Берестова А. В. Технология продуктов длительного хранения: учебное пособие / А. В. Берестова, Э.Ш. Манеева, В.П. Попов. - Оренбург: ОГУ, 2017 – 164 с.

*В.Н. Клименкова, студ., М.А. Новикова, ст.пр.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ

Кондитерская промышленность является неотъемлемой частью жизни современного человека. Основываясь на последних статистических данных потребления мучной кондитерской продукции, следует отметить положительную возрастающую динамику. Диаграмма динамики продаж кондитерских изделий представлена на рисунке 1. Проанализировав основной объем ассортимента, представленного на рынке, следует выделить в отдельную группу технологии: овсяного печенья, пряников, заварных пирожных, имеющих одну отличительную особенность – приготовление теста в несколько стадий. Дальнейший анализ рынка потребляемой продукции помог выявить наличие овсяного печенья в лидирующих позициях, демонстрирующего стабильно высокие показатели продаж. Структура спроса на кондитерские изделия показана на рисунке 2. Устойчивость данного продукта на рынке обусловлена полезными свойствами и вкусовыми качествами входящих в рецептуру ингредиентов.

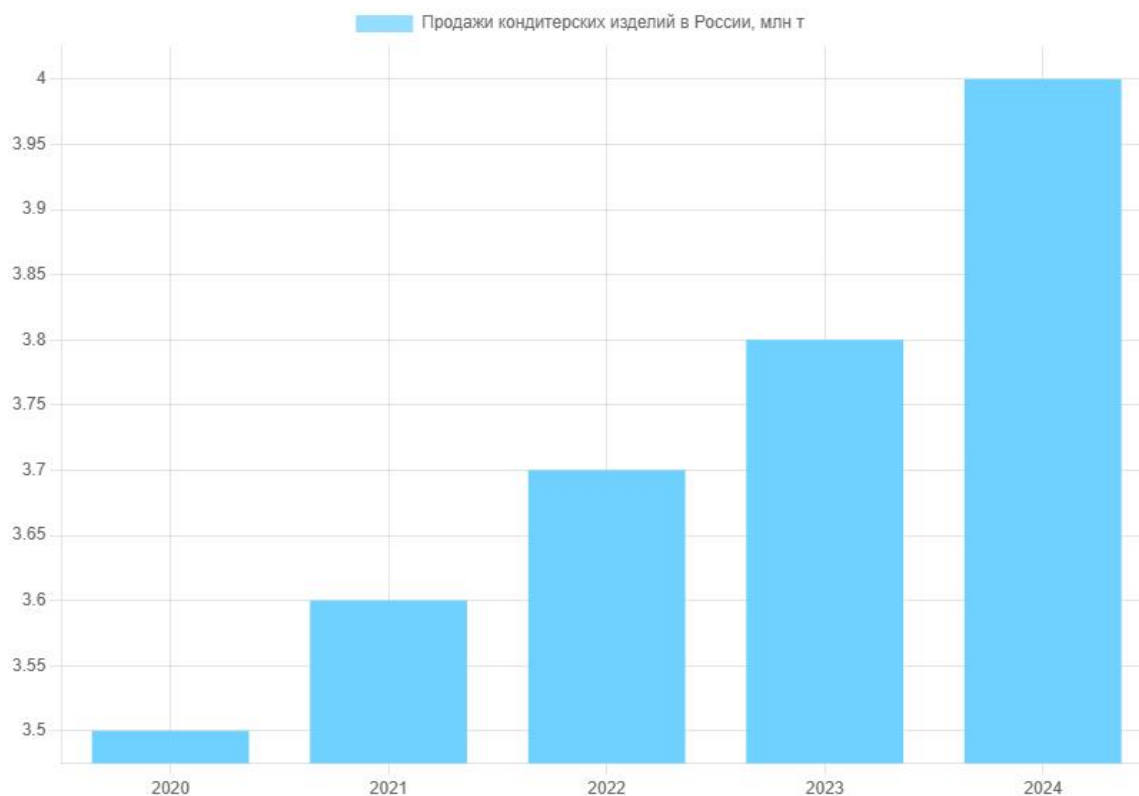


Рисунок 1 – Диаграмма продаж кондитерских изделий по годам

В настоящее время, в условиях быстрого развития отечественного рынка и импортозамещения производство овсяного печенья обретает особую актуальность, благодаря наличию собственной сырьевой базы. Что, в свою очередь создает возможности для разработки инновационных рецептур, отвечающих растущему спросу на сбалансированное «правильное» питание, а также совершенствования технологий производства.

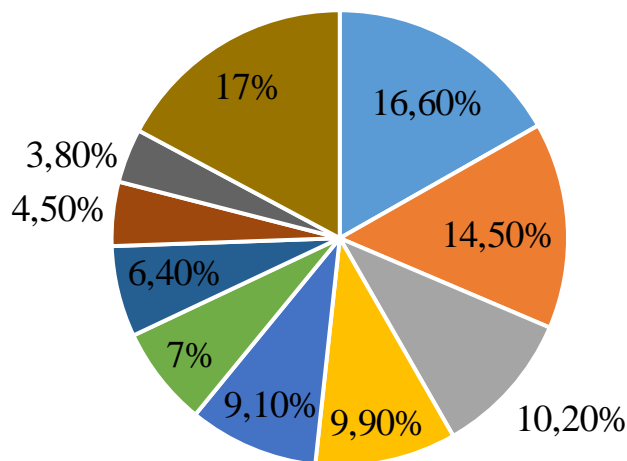
Целью данного исследования является выявление основных проблем и перспектив развития производства овсяного печенья в настоящее время.

Для реализации поставленной цели были определены следующие задачи:

- изучить рынок продаж Российской Федерации;
- ознакомиться с используемыми технологическими процессами на производствах овсяного печенья;
- выявить основные проблемы в производстве;
- спрогнозировать перспективы развития производства овсяного печенья.

В качестве ключевых методов исследования были избраны: теоретический анализ и синтез данных различных источников, структурный анализ, а также сравнительный анализ.

Согласно действующему стандарту [1], овсяное печенье – это печенье круглой или овальной формы, в состав которого входит не менее 14 % овсяной муки и (или) хлопьев, массовой долей влаги не более 10,5 %, массовой долей общего сахара не более 40 %, массовой долей жира не более 25 %.



- Шоколадные плитки
- Упакованное сладкое печенье
- Ассорти шоколадных конфет
- Шоколадные батончики
- Упакованные конфеты без шоколада
- Шоколадные развесные конфеты
- Сладкая выпечка, круассаны
- Жевательная резинка
- Вафли, не покрытые шоколадом
- Другие

Рисунок 2 – Структура спроса на кондитерские изделия за 2024 год

Основными этапами производства овсяного печенья являются: подготовка сырья, замес теста (характерен многоэтапный замес), формование, выпечка, охлаждение и упаковка. Технологическая схема производства представлена на рисунке 3.

Рассмотрев и оценив состояния современного производства, можно выделить ряд существенных проблем. Прежде всего, основываясь на последних данных, доля импортного оборудования в пищевом производстве на настоящий период составляет около 47% [2], что говорит о комплексе производственных и экономических опасностей. Следует отметить, для каждого технологического этапа характерен определенный тип оборудования, что в первую очередь обуславливает высокие риски, такие как - обслуживание импортной техники, обремененное настоящими проблемами с поставками и санкциями.

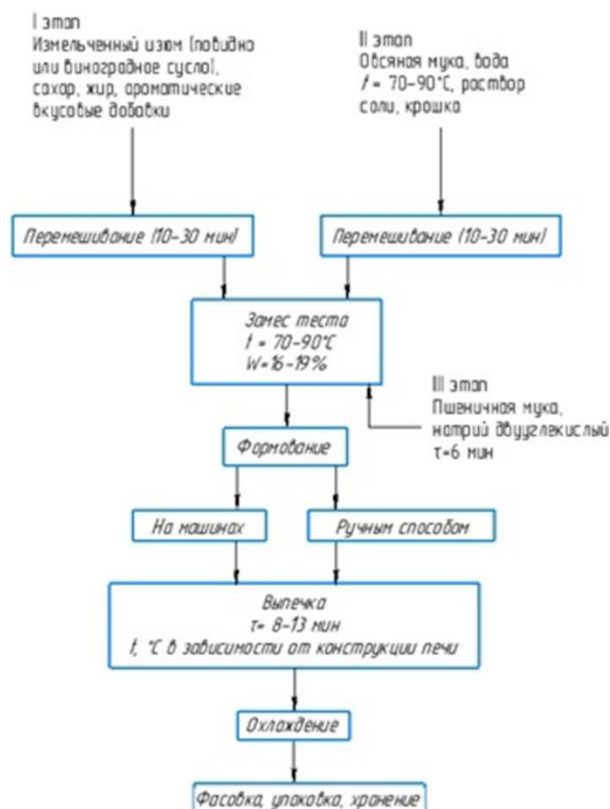


Рисунок 3 – Технологическая схема производства овсяного печенья

Второй по важности проблемой являются особенности используемого сырья. Всеобщезвестным фактом, который следует отметить является свойство муки – взрываться, при несоблюдении принятых правил и норм. Ежегодно в мире происходит 400-500 аварий на объектах хранения и переработки растительного сырья, большая часть из них произошли на участках с наличием муки, что также отмечает риски и высокие затраты на производство, а следовательно экономические проблемы для самого предприятия. Помимо этого, следует отметить такие проблемы хранения сырья для производства овсяного печенья, как – определенные условия влажности и температуры; загрязнения воздуха (наличие посторонних запахов); биологические факторы – несоблюдение которых ускоряет биохимические процессы, а именно развитие плесени, микроорганизмов, а также вредителей. В результате чего, мы получаем несоответствие сырья по ГОСТ, следовательно его утилизацию и огромные потери сельскохозяйственной продукции.

Также помимо основных проблем, следует отметить риски в:

- производственном процессе (сложность в многостадийности замеса теста, строгость температурных режимов выпекания);
- организации производства (недостаточная автоматизация процессов производства, неосознанное несоблюдение СанПиН);
- экономических аспектах (высокие затраты на энергоресурсы, своевременная необходимость модернизации оборудования);
- маркетинге (высокая конкуренция на рынке, следовательно необходимости в совершенствовании и обновлении ассортимента продукции) ;

- инновационных ограничениях (нехватка научных исследований, сложность внедрения новых рецептур, дефицит высококвалифицированного персонала).

Выявив определенные сложности в производстве овсяного печенья, следует отметить потенциал их решения, путем внедрения инновационных подходов и модернизации процессов.

Наиболее результативными и прибыльными перспективами являются технологические инновации, а именно возможность внедрения автоматических линий, которые в свою очередь увеличивают производительность предприятия, снижают затраты, улучшением качества продукции и показателями безопасности. Необходимо выделить возможность использования экструдированной муки, повышающей содержание белка и срок хранения итогового продукта.

Также перспективным развивающимся направлением в наше время является практика использования вторичного сырьевого ресурса. Опираясь на последние научные данные, ярким примером является использование жмыха льна [3] (оптимальная замена 30% маргарина).

Следует отметить прогресс нового направления – ассортимента «правильных» линеек, отличающихся пониженной калорийностью продукта и определенными функциональными добавками – диетические, специальные и функциональные линии.

Важным направлением развития в настоящее время становится экологическая составляющая производства – рациональное потребление ресурсов, возможность переработки, минимизация отходов и разработка экологичной упаковки, отвечающей требованиям стандарта транспортировки и маркировки.

Таким образом, при внедрении выдвинутых перспектив и преодоления имеющихся проблем, производство овсяного печенья имеет высокий потенциал развития. Выполнение данных условий даст возможность не только удовлетворить растущий спрос на качественную продукцию печенья, но и укрепить позиции отечественных производителей на рынке. Также имеется возможность создать конкурентноспособную продукцию «нового поколения».

Литература

1. ГОСТ 24901-2014. Печенье. Общие технические условия: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 14 ноября 2014 г. № 72-П. // Информационный банк «Отраслевые технические нормы»;
2. Гусенко М.С. Алиханов: Доля импортного оборудования в пищепроме за 4 года снизилась до 47% / Гусенко М.С. [Электронный ресурс] // Российская газета : [сайт]. – URL: <https://rg.ru/2024/08/07/alihanov-dolia-importnogo-oborudovaniia-v-pishcheprome-za-4-goda-snizilas-do-47.html> (дата обращения: 23.09.2025).
3. Шанина, Е. В. Перспективы применения вторичного сырьевого ресурса (жмыха льна) в производстве овсяного печенья [Текст] / Е. В. Шанина // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5. – С. 202-209.

ПЕРСПЕКТИВЫ СИНТЕТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ АЛМАЗОВ

В данной статье речь пойдет о том, насколько перспективным и эффективным может быть применения синтетических алмазов в промышленности, так как автор видит большой потенциал их применения.

Первое, о чем хочется сказать, это преимущества алмаза.

Самое главное преимущество алмазных кристаллов – это их твердость. Ведь алмаз является самым твердым минералом на Земле. Алмаз обладает невероятной прочностью, блеском и способностью проводить тепло. Эти свойства объясняются его строением. Алмаз состоит из атомов углерода, каждый из которых соединен с четырьмя соседними и активно обменивается с ними электронами: вместо того чтобы держаться «своего» атома, эти частицы путешествуют между разными. Так между атомами образуется самая прочная химическая связь – ковалентная, разорвать которую очень сложно. Благодаря его повышенной прочности, еще более углубленное изучение алмаза делает его актуальным многоцелевым компонентом для разнообразных отраслей промышленности и энергетики [1].

Что касается добычи, то добывают алмазы тремя способами: карьер, шахта и россыпи.

В карьерах добываются алмазы, находящиеся на глубине до 600, реже 1000 метров. В начале бурят скважины, в них кладут взрывчатку. Полученную горную породу отвозят на фабрику обогащения на грузовиках.

Если говорить о шахтах, то вглубь земли копаются туннель на глубину 500–1000 метров, далее строится инфраструктура: система вентиляции, лифты, транспорт для доставки рабочих, вагонетки для добытой руды, дороги для бульдозеров и прочей техники.

Россыпные месторождения алмазов позволяют находить кристаллы, не выкапывая скважин и туннелей. Древний и дешевый способ добычи, основанный на промывании горной породы при помощи большого сита.

Практически каждый континент планеты известен своими месторождениями алмазов. Основными поставщиками продукции на мировой рынок драгоценных камней стали:

- Россия;
- Африка;
- Канада;
- Австралия.

Более двух столетий южная часть африканского континента занимает лидирующие позиции по предоставляемым объемам самородков. Возглавляют список лидеров:

- ЮАР. Эта страна поставляет ежегодно до 7,4 млн. карат самородков.

- Ангола. Государство является поставщиком бесцветных и прозрачных розовых кристаллов. Рудники Фукаума и другие дают 8,7 млн. карат. В денежном эквиваленте ежегодная сумма дохода составляет до 1,5 млрд. долларов.

- Ботсвана. Здесь осуществляют добычу свыше 40 млн. карат алмазов на 2 млрд. долларов. В стране находят редкие экземпляры, имеющие зеленый оттенок. Самые крупные разработки ведутся в Орапа, Дамтшаа, Джваненге, Летлхакане.

Добыча самоцветов в Австралии ведется достаточно давно, поэтому запасы на исходе. В стране существует только одна разработка в шахте Аргиль. Здесь встречаются красные и розовые алмазы. На мировом рынке их объем достигает 90%.

В Канаде основная добыча и производство алмазного сырья ведется на севере и западе государства. К крупным месторождениям относят: Гачо Ренар и Куэй. Ежегодная добыча составляет 12 млн. карат (примерно на 2 млрд. долларов). На рудниках добывают камни весом минимум 0,3 карата. Их подлинность подтверждает 3 сертификата, где указана: шахта, область добычи и качество минерала.

Говоря же о нашей стране, то Россия поставляет на мировой рынок ежегодно до 38,3 млн. карат минерала. Где добывают алмазы в России, разберем более подробно. Основные источники этого драгоценного сырья расположены на следующих отечественных месторождениях:

- Верхотинское или имени В. Гриба в Архангельской области, рядом с Ломоносовским источником. Глубина карьера – 460 м, ресурс сырья до 100 млн. карат.

- Имени М. Ломоносова в Архангельской области возле поселка Поморье. Месторождение используется уже 40 лет. Глубина карьера – 200 м, ширина 1,2 км. Здесь обнаружено 6 кимберлитовых трубок. Предполагаемые запасы минералов – 166,7 млн. карат. Ежегодно в карьере добывают почти 2.6 млн. карат. Основная достопримечательность месторождения – высококачественные камни, имеющие форму ромбододекаэдра.

- Ботуобинская. Это новая разработка в Якутии. Здесь алмазы добывают с 2012 г. Их залежи оценивают в 71 млн. карат.

Затрагивая тему того, где же используют алмазы, то неожиданно, что за относительно небольшое время существования алмазной добычи, применение они получили весьма обширное.

Инструментами с алмазным напылением режут и шлифуют другие твердые материалы. Для отвода тепла, алмаз используют как компонент мощных процессоров, лазерных диодов, транзисторов. Алмазной крошкой покрывают инструменты для бурения скважин. Невероятная твердость камня позволяет разрушать самые прочные породы, в которых залегают нефть и природный газ. Долото, покрытое синтетическим алмазом, обеспечивая высокую скорость проходки скважины, из которой добывают углеводороды. Алмазные насадки для бурового инструмента применяют для геологоразведки: полые коронки аккуратно вырезают керн, сохраняя структуру породы для анализа.

Так как алмазы устойчивы к радиации и химическим воздействиям, их применяют в самых экстремальных условиях. Например, строя термоядерные реакторы, специалисты следят за происходящим внутри с помощью алмазных детекторов радиации и нейтронов. Через алмазные окна в термоядерные реакторы планируют подавать энергию для нагрева плазмы.

Лабораторно выращенные алмазы предлагают использовать как катализаторы для ускорения реакции между водородом и кислородом в топливных элементах [3].

Кристаллы алмазов демонстрируют плазмонные свойства – способность создавать волны электронов, движущихся при попадании на них света. Это свойство предлагают использовать для управления электрическими полями и создания солнечных батарей нового поколения.

Если в алмазе небольшое количество атомов углерода заменить азотом или кремнием, получится материал, подходящий для изготовления элементов квантовых компьютеров – систем памяти и передачи информации, – а также источников для сверхбыстрого квантового интернета. Алмаз можно превратить в сверхпроводник, если «подмешать» в него бор. Новые свойства пригодятся в энергетике – например, для создания высокоэффективных электромагнитов термоядерных реакторов.

Также, согласно журналу Nature Communications, физики произвели метан из алмаза и графита в условиях, схожих с земными недрами. Ученые под руководством Мириам Пенья-Альварес исследовали обратный процесс – как в земных недрах алмаз и графит разлагаются и переходят в метан. Исследователи использовали ячейку с алмазной наковальней – пресс для создания очень высокого давления, чтобы воспроизвести условия на глубине более 70 км. Затем ученые стали нагнетать туда чистый водород с температурой 300 градусов. Они создали среду, похожую по температуре и давлению на верхнюю мантию Земли, и выяснили, что водород и алмаз легко вступают в реакцию с образованием метана всего за несколько секунд. При добавлении к алмазам графита реакция стала идти интенсивнее. Это явление может играть важную роль в углеродном цикле Земли, образуя значительное количество abiогенного метана, а это уже в свою очередь является важным преимуществом, так как метан можно применить как полностью экологически чистый источник топлива [4].

По мимо вышеперечисленного, есть очень позитивные новости на счет создания алмазных батарей. Ученые и инженеры Великобритании заявили о создании первой в мире алмазной батареи на основе углерода-14, которая может работать тысячи лет и применять ее планируется в космосе. А это не может не радовать, так как подобные, можно сказать, вечные источники питания могут значительно помочь электроэнергетике в будущем [5].

Стоит обратить внимание на абсолютный прорыв в области синтеза алмазов от южнокорейских ученых. Новая технология позволяет избежать необходимости в высоком давлении и затравочных кристаллах. Метод основан на использовании нагретого галлия с небольшим количеством кремния в графитовом

тигле, помещенном в камеру с нормальным атмосферным давлением. Через камеру пропускают нагретый метан, обогащенный углеродом. Оптимальным катализатором роста алмазов оказалась смесь галлия, никеля и железа с добавлением кремния. В результате, на дне тигля за 15 минут образуется алмазная пленка [6]. Этот метод становится совершенно революционным, так как такие скорости синтеза разгонят промышленность на новый уровень развития.

Возвращаясь к добыче и получению алмазов, также кроме традиционной добычи в шахтах и карьерах, всё больше получает распространение получения алмазов синтетическим путем. Несмотря на то, что синтезировали первый искусственный алмаз в 1953 году, с того момента изучение синтеза алмазных кристаллов не стояло на месте, и к этому моменту имеет разнообразные способы их получения в лабораторных условиях:

1. Алмазы получают с помощью высокого давления и высокой температуры, оборудованием выступают многотонные прессы с давлением в 5 ГПа с температурой до 1500 градусов Цельсия. В HPHT методе (high pressure high temperature) используются три вида компоновки прессов: ленточный пресс, кубический пресс и пресс с разрезной сферой. Затравки алмазов помещают на дно капсулы, которая помещается в пресс. В прессе под давлением капсулу нагревают до температуры выше 1400 °С, и металл-растворитель плавится. Расплавленный металл растворяет углерод, также заложенный в капсулу, и позволяет перемещаться атомам углерода к затравкам, благодаря чему затравки растут, формируя большие алмазы.

2. Химическое осаждение из газовой фазы. Метод заключается в том, что рост алмаза происходит за счет осаждения углерода на затравку из углеводородной газовой смеси.

3. Детонация взрычатки. Алмазы получают при детонации углеродосодержащей смеси в металлической камере. Высокая температура и высокое давление создаются во время взрыва, которых достаточно для формирования алмаза.

4. Ультразвуковая кавитация. Способ заключается в формировании кристаллов алмаза за счет воздействия на графитовую суспензию ультразвука.

Таким образом, подводя итог к проведенному анализу, можно отметить, что изучение и применение алмазов достигло значительных высот и успехов, и не стоит на месте. В следствии чего, можно сделать вполне оптимистичный прогноз, что синтетические алмазы ждет очень даже перспективное будущее для их дальнейшего использования в промышленности и в быту.

Литература

1. Филд Дж.Э. Свойства природных и синтетических алмазов / Дж.Э. Филд. – Лондон: Академическое издание, 1992. – 392 с.
2. Зайцев А. М. Оптические свойства алмаза: справочник / А. М. Зайцев. – Берлин: Спрингер, 2001. – 464 с.
3. Мочалин В.Н., Шендерова О., Хо Д., Гогоци Ю. Свойства и применение наноалмазов // Nature Nanotechnology. – 2012. – Том 7.
4. Мириам Пенья-Альварес, Альберто Витале Бровароне. Синтез абиогенного метана из алмазов и графита в геологически значимых условиях // Nature Communications. – 2021. – № 6387.
5. Лана Любавина. Создана первая в мире алмазная батарея, способная проработать тысячи лет <https://www.cnews.ru/news/top/2024> // CNews. – 2024.
6. Анжелла Марина. Ученые научились синтезировать алмазы за 15 минут при нормальном давлении <https://3dnews.ru/1105325> // 3DNews. – 2024.

СРАВНЕНИЕ МЕТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА И ЭТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВНЫХ ДОБАВОК

Топливные добавки – это те вещества, которые добавляются к жидким топливам, которыми являются бензины, авиационные керосины, дизельное и котельное топливо, с целью улучшения их эксплуатационных характеристик или сохранения первоначальных свойств топлива в различных условиях.

Добавки для автобензинов делятся по своей функциональности на:

- антидетонационные;
- маркеры и красители;
- деэмульгаторы и моющие добавки.

Антидетонаторы, к которым относятся метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ) и этил-трет-бутиловый эфир (ЭТБЭ), так же называемые высокооктановыми добавками, являются важнейшими компонентами бензинов, которые используют для двигателей внутреннего сгорания с зажиганием от искры. Такие добавки защищают двигатели от детонационных процессов – неконтролируемого преждевременного сгорания топлива при впрыске в цилиндр двигателя, чем это предусмотрено системой зажигания, что приводит к снижению мощности двигателя и его повышенному износу.

На основе антидетонационных добавок создаются различные многофункциональные топливные добавки, которые обладают большим спектром различных функций и повышенной эффективностью применения [1].

МТБЭ $(\text{CH}_3)_3\text{COCCH}_3$ является высокооктановым кислородосодержащим компонентом, используется в качестве добавки к бензинам, улучшающим их эксплуатационные свойства, в числе которых и экологические, так как с этой добавкой в выхлопных газах образуется меньше оксида углерода, благодаря повышенной детонационной стойкости топлива и его более полному сгоранию в двигателе. Кроме этого, МТБЭ заменяет собой ароматические присадки бензинов, что снижает присутствие канцерогенной ароматики в выхлопных газах. Этот эфир синтезируют из метанола и бутан-бутадиеновых фракций, которые являются побочными продуктами нефтехимических производств, что благополучно сказывается на цене компонентов синтеза и себестоимости продукта [2].

Помимо использования в качестве добавки к бензинам, МТБЭ используют как относительно недорогой растворитель в органической химии благодаря свойствам, сравнимым со свойствами диэтиловым эфиром, но с меньшей растворимостью в воде и более высокой температурой кипения. Относительно других растворителей, МТБЭ имеет явное преимущество – слабую склонность к образованию взрывоопасных органических пероксидов, благодаря чему его используют в качестве растворителя на тех производствах, где работа с диэтиловым и другими эфирами имеет высокую опасность и представляет определенную сложность. МТБЭ в качестве растворителя используют и на нефтехими-

мических производство для депарафинизации парафинистых нефтяных фракций, в качестве растворителя жиров, восков, смол, масел, камедей и красителей, а также отдушек. Объемная доля МТБЭ регулируется законодательно и для Российской Федерации она составляет 15%, ровно столько же в странах Евросоюза, за исключением Польши, где допустимое содержание равно 5%. Мировое потребление МТБЭ составляет около 20-22 миллионов тонн в год [3].

На производствах ЭТБЭ $(\text{СН}_3)_3\text{ОС}_3\text{Н}_8$ синтезируют на том же оборудовании и в аналогичных условиях, что и МТБЭ, за исключением более высокой температуры синтеза и повышенного давления процесса [4].

ЭТБЭ имеет одно несомненное преимущество – биоразлагаемость в природе, что делает его использование более экологичным для окружающей среды и людей. В качестве сырья может использоваться биоэтанол, который производят из растительного сырья, при этом по сравнению с метанолом в МТБЭ, биоэтанол гораздо экологичнее, при этом и сильно дороже в производстве, а это сказывается на себестоимости ЭТБЭ. Тем не менее, его экологичность послужила основным фактором постепенного перехода США и Европы к модернизации производств МТБЭ и перевода их на синтез ЭТБЭ, а также запуска новых мощностей для синтеза ЭТБЭ. В 2011 году объемы производства всех эфиров составляли 4,5 миллиона тонн, при чем ЭТБЭ составлял 50% от этого объема [5].

Возвращаясь к физико-химическим свойствам эфиров, стоит упомянуть, что они хорошо растворимы в бензинах, обладают высокими октановыми числами при смешении, но по-разному растворимы в воде, при чем ЭТБЭ заметно легче растворяется в воде. Это очень важное различие, потому как в товарных бензинах всегда присутствует вода, то эфир будет переходить в водную фазу и совместно с ней отслаиваться и, из-за разности плотностей, будет опускаться на дно резервуаров хранения, что способствует ухудшению качества бензина. Для предотвращения расслоения бензина в резервуаре, в смесь требуется добавлять эмульгатор, которым может являться изобутиловый спирт $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$. В результате этого повышаются затраты на производство, что по итогу отразится на цене топлива. МТБЭ не вызывает подобных проблем из-за того, что он прекрасно растворяется только в бензине и не переходит в водную фазу. МТБЭ имеет наиболее близкую к бензину топливную характеристику, а наличие в нем кислорода значительно улучшает процесс сгорания топлива в двигателе, повышая тем самым экономичность и снижая содержание в выхлопе продуктов неполного сгорания. Использование МТБЭ позволяет заметно сокращать расход нефти для производства определенного объема товарного бензина, что приводит к значительной экономии из-за смягчения требований к октановым характеристикам традиционных углеводородных элементов в товарном продукте [6].

Метил-трет-бутиловый эфир до сих пор является одной из наиболее популярных антидетонационных топливных добавок в мире. Он отличается очень высокой октановой характеристикой: типично RON МТБЭ (октановое число по исследовательскому методу) $\approx 115-120$, и в целом BRON (октановое число смешения) $\approx 105-123$, имеет слабую водорастворимость. МТБЭ не образует

азеотропов с товарным бензином и водой, поэтому добавка не создает проблемы фазового расслоения в хранилищах. Он легко смешивается с базовым бензином и более совместим с бензиновой инфраструктурой, чем спирты. С самого начала производства в мире применялся повсеместно (до 20–15% в составе смеси) как более дешевый и более практичный аналог дорогим компонентам. Главным недостатком является его токсичность для окружающей среды – МТБЭ очень устойчив в почве и грунтовых водах, поэтому череда аварий на хранилищах этого эфира привела к запретам или ограничениям в ряде штатов США и некоторых странах Европы. Но технических проблем добавление МТБЭ в бензин не вызывает: он только незначительно увеличивает испаряемость и повышает парциальную фракцию при 100°C дистилляции. Анализ материалов и уплотнений систем двигателей внутреннего сгорания показал, что происходит умеренное набухание, что характерно для большинства эфирных примесей. Это показывали сравнительные испытания – использование 13% смеси МТБЭ давало несколько большее набухание уплотнителей, чем этанол или базовый бензин [7].

Этил-трет-бутиловый эфир является близким аналогом для МТБЭ, получаемый из изобутилена и этанола. Собственный RON ЭТБЭ также высок, примерно 110–115, а BRON от 105 до 123. По своим свойствам оба эфира очень схожи между собой, но ЭТБЭ имеет чуть более высокую температуру кипения и немногим ниже давление паров смеси, что незначительно снижает испаряемость бензина. Он также практически нерастворим в воде, но образует с ней азеотропные смеси, при этом хорошо смешивается с бензином и топливными смесями. В плане набухания уплотнений систем, исследования показали, что 13% ЭТБЭ в топливе дает меньшее набухание для большинства резин и уплотнений, чем 13% МТБЭ в смеси с тем же базовым бензином. Благодаря своей экологичности сырья и итогового продукта он разрешен к применению в топливе во многих странах Европы и США, заменяя собой МТБЭ в местных производствах или составляет серьезную конкуренцию последнему. Ограничений на ЭТБЭ обычно нет, кроме общеевропейского лимита кислорода, поэтому он востребован там, где ограничивают МТБЭ [7].

Основные характеристики МТБЭ и ЭТБЭ приведены в таблице 1 [5].

Таблица 1 – Физико-химические характеристики

Характеристики	МТБЭ	ЭТБЭ
Плотность, кг/м ³	746	750
Температура кипения, °С	55,3	72,8
Давление насыщенных паров, Па	0,8	0,4
Теплота сгорания, (низшая) кДж/л	26 260	26 910
Теплота испарения, кДж/ кг	337	321
RON	115-120	110-115
BRON	105-123	105-123
Растворимость в воде при 20, % масс.	4,5	0,1

Таким образом, подводя итог всему вышеописанному, следует выбирать между метил-трет-бутиловым эфиром и этил-трет-бутиловым эфиром основываясь на том, что МТБЭ имеет высокое октановое число; обладает низкой водорастворимостью, что предотвращает фазовое расслоение в бензине; повышает сгораемость топлива, снижая выбросы углеводородов с выхлопными газами; и снижает расход нефти на производство бензина; но при этом имеет свои недостатки, а именно устойчивость в почве и грунтовых водах и его токсичности, что привело к запрету использования МТБЭ в ряде штатов США и некоторых странах Европы. В то время как ЭТБЭ имеет немногим меньшее октановое число; обладает большей водорастворимостью и образует азеотропные смеси; биоразлагаем и имеет меньшее влияние на экологию по сравнению с МТБЭ, поэтому ЭТБЭ становится более предпочтительным выбором в странах с ограничениями на использование МТБЭ из-за его экологических преимуществ; вызывает меньшее набухание уплотнений относительно равной концентрации МТБЭ в топливных смесях, что повышает их долговечность и надежность. При всем этом ЭТБЭ требует добавления гомогенизатора для предотвращения расслоения топливной смеси из-за наличия воды в бензине, что вкупе с дороговизной этанола относительно метанола, используемого в синтезе МТБЭ, значительно повышает себестоимость готового продукта.

Следовательно, выбор между МТБЭ и ЭТБЭ зависит от экологических норм страны потребителя, требований к топливным характеристикам и экономических факторов производства.

Литература

1. ООО «ИГ «Инфомайн». Обзор рынка топливных добавок (МТБЭ/ЭТБЭ, МТАЭ, ММА) в России и мире. - 3-е изд. - М.: ООО «ИГ «Инфомайн», 2024. - 101 с.
2. Характеристики метил-трет-бутилового эфира // Proplast URL: <https://proplast.ru/articles/metil-tret-butilovyyj-efir-mtbe-tehnologiya-proizv/> (дата обращения: 25.09.2025).
3. Производство метил-трет-бутилового эфира // Smart-Lab URL: <https://smart-lab.ru/blog/957748.php> (дата обращения: 25.09.2025).
4. Кравченко, Н. А. Разработка технологии производства этил-трет-бутилового эфира на базе технологической схемы производства метил-трет-бутилового эфира / Н. А. Кравченко, А. Д. Морковкина, Н. А. Рахимова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2017. – № 45 (179). – С. 28-32. – URL: <https://moluch.ru/archive/179/46434/> (дата обращения: 25.09.2025).
5. Жапаргазинова К. Х., Сутжанов А. Б. Перспективы использования этил-трет-бутилового эфира в качестве октаноповышающей присадки к моторным топливам // Вестник ПГУ. - Павлодар: ПГУ имени С. Торайгырова, 2015. - С. 85-91.
6. Технология производства метил-трет-бутилового эфира // Библиофонд URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=581374#text> (дата обращения: 25.09.2025).
7. 12 самых популярных высокооктановых добавок (антидетонаторов) // Уфа-Хим URL: <https://ufachem.ru/information/12mainfueladditives> (дата обращения: 25.09.2025).

*Г.В. Короткова, к.б.н., доцент; Л.Р. Штин-Соломин, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТАНОВКИ ЗАМЕДЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ

Экологические проблемы установок замедленного коксования включают в себя риски связанные с: выбросами вредных веществ в атмосферу (особенно при сжигании топлива и работе установки), образованием большого количества отходов, загрязнением почвы и грунтовых вод. В статье будет рассмотрено оборудование и проведен анализ экологичности.

Основными источниками загрязнения являются: блок трубчатых печей, блок коксовых камер, отделение грохочения нефтяного кокса.

Блок трубчатых печей предназначен для высокотемпературного нагрева нефтяных продуктов за счет сгорания топлива или преобразования электрической энергии в условиях термических процессов. Блок коксовых камер предназначен для замедленного коксования – процесса переработки нефтяных тяжелых остатков и получения ценных продуктов, таких как нефтяной кокс, светлые углеводороды и промышленные газы. Отдел грохочения нефтяного кокса – процесс сортировки кокса по размеру с помощью грохотов, с целью получения сортового кокса с минимальным содержанием мелких фракций для его дальнейшего использования [2].

Трубчатые печи в зависимости от используемого топлива и процесса могут выбрасывать различные вредные вещества в атмосферу. В них могут входить: сернистый ангидрид (SO_2), оксид углерода (CO), диоксид углерода (CO_2), диоксид азота (NO_2) [3]. Высокая концентрация сернистого ангидрида негативно сказывается на растительности, сильно повреждая ее. На листьях образуются пятна и обесцвечивается хлорофилл, в следствии чего листья желтеют. Также снижается продуктивность и рост растения. Сам по себе газ CO не оказывает сильного влияния на окружающую среду, но вступая во взаимодействие с гидроксильными радикалами (OH), образует более сильные газы, например CO_2 . Главная проблема углекислого газа в том, что он создает тепловую изоляцию для земли, предотвращая уход тепловой энергии в космос [2]. NO_2 при взаимодействии с водой превращается в азотную кислоту, что приводит к закислению озер и кислотным дождям.

В работе блока коксовых камер отмечено присутствие таких веществ как: оксид углерода (CO), углеводороды, твердые частицы (пыль, сажа и т.д.), диоксид серы (SO_2), а также соединения твердых металлов, например, свинец (Pb) [1]. При попадании в почву бензапирен ($C_{20}H_{12}$) изменяет свойства почвы и снижает ее продуктивность. Высокие концентрации свинца в почве снижают рост растений и уменьшают их биомассу, главным образом за счёт нарушения деления клеток, замедления фотосинтеза и дыхания. Окислительный стресс, вызванный избытком свинца, приводит к повреждению клеточных мембран, что усиливает негативные эффекты на растение. Свинец, поступая в организм животных с пищей и воздухом, накапливается в органах и тканях, особенно в

печени, мышцах и мозге. Его токсическое воздействие проявляется нарушением метаболизма железа, кальция и цинка, образованием анемии, поражением нервной системы и развитием болезней сердца и сосудов [1].

Основным источником проблем при грохочении является высокая запыленность, возникающая при измельчении и разделении материала. Мельчайшие частицы кокса, размер которых составляет менее 10 мкм, легко поднимаются в воздух и распространяются на большие расстояния, осажаясь на зданиях, растительности и водоемах. Работа механизмов и виброгрохотов создает повышенный уровень шума и вибрации, которые могут влиять на состояние работников.

Проанализировав оборудование и влияние выбросов в окружающую среду можно прийти к выводу, что для снижения негативного воздействия установки замедленного коксования необходимо внедрение мер по очистке газов, улавливанию твердых частиц и пыли, а также по контролю за содержанием опасных веществ.

Литература

1. Березовский В.В. Токсичность тяжелых металлов и их влияние на биологические системы / В.В. Березовский – Долгопрудный: Интеллект, 2012 – 287 с.
2. Бринкман Э. Физические проблемы экологии / Н. Т. Походенко, Б. И. Брондз – Москва: Химия, 2013 – 312 с.
3. Лазарева, Н. В., Левиной, Э. Н. Вредные вещества в промышленности: справочник для химиков, инженеров и врачей / Н. В. Лазарева, Э. Н. Левиной – 7-е изд. – Москва: Химия, 2014 – 592 с.

*Е.А. Макаренко, студ., А.О. Блинов, к.ф.-м.н., ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАТУРАЛЬНЫХ ЗАГУСТИТЕЛЕЙ И СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ТЕХНОЛОГИИ КОНФЕТ ИЗ СУХОФРУКТОВ

Конфеты из сухофруктов – это идеальный полезный перекус, сочетающий в себе природную сладость, витамины и клетчатку. Для создания идеальной текстуры – пластичной, и не рассыпающейся – необходимы компоненты, которые свяжут измельченные сухофрукты в единую массу [2].

В современной пищевой промышленности, особенно в сегменте здорового питания, все большее предпочтение отдается натуральным загустителям и связующими веществам.

Роль загустителей и связующих веществ в производстве фруктовых конфет

1. Формование и пластичность: обеспечивает легкую формовку массы, предотвращает рассыпание готового изделия.
2. Стабилизация текстуры: создают нужную консистенцию – от нежной и мягкой до плотной и жевательной.
3. Удержание влаги: предотвращают высыхание конфет, продлевая их срок годности.
4. Снижение калорийности: позволяют полностью или частично отказаться от рафинированного сахара, патоки и искусственных добавок.

Целью данной работы является теоретический анализ использования натуральных загустителей и связующих веществ в технологии производства конфет из сухофруктов.

Классификация и обзор натуральных загустителей и связующих

1. На основе пектина. Получают из: яблок, цитрусовых, свеклы.

Принцип действия: пектин – это натуральный полисахарид, который в присутствии сахара и кислоты образует прочный гель [1]. В конфетах из сухофруктов он создает стабильную, нежную и упругую текстуру.

Преимущества: создает «желейную» текстуру, работает в комбинации с натуральными кислотами самих фруктов (например, с лимонным соком), является пребиотиком.

Особенности применения: требует точной дозировки, наличия сахара и определенной температуры для активации. Идеален для более нежных конфет, где не требуется сверхплотная консистенция.

2. На основе агар-агара. Получают из: красных водорослей.

Принцип действия: агар-агар образует очень прочный и термостабильный гель даже в небольшой концентрации. В отличие от пектина, он застывает без обязательного присутствия сахара.

Преимущества: образует плотную, текстуру, не имеет вкуса и запаха, подходит для веганской продукции, высокая желирующая способность.

Особенности применения: требует нагревания до 85-95°C для растворения и активации. Гель более твердый и не такой эластичный, как пектиновый.

3. Семена (Чиа, Лен) Получают из: семян растений.

Принцип действия: при контакте с жидкостью семена выделяют слизистые вещества (полисахариды), которые работают как мощный загуститель и эмульгатор.

Преимущества: обогащают продукт омега-3 жирными кислотами, клетчаткой и белком.

Просты в использовании: достаточно смешать молотые семена с измельченными сухофруктами и дать массе отдохнуть.

Особенности применения: могут потребовать дополнительной жидкости для активации.

4. Натуральные сиропы и пасты. получают из: Фиников, чернослива, инжира.

Принцип действия: эти сухофрукты при перемалывании превращаются в липкую, пластичную пасту благодаря высокому содержанию натуральных сахаров и растворимой клетчатки.

Преимущества: являются одновременно подсластителем, связующим и основным ингредиентом, не требуют дополнительной активации, идеальны для энергетических батончиков.

Особенности применения: паста из фиников используется для рецептов домашних конфет. Она обеспечивает идеальную связность и естественную сладость [2].

5. Инулин и олигофруктоза. Получают из: цикория, топинамбура, агавы.

Принцип действия: Инулин срабатывает как текстуратор, создавая кремообразную структуру, схожую с жиром. Он хорошо связывает воду и придает массе объем.

Преимущества: является пребиотиком, выраженного вкуса не имеет, подходит для диабетиков.

Особенности применения: часто используется в комбинации с связующими для улучшения текстуры и повышения пищевой ценности.

Таким образом, использование натуральных загустителей и связующих веществ открывает широкие возможности для создания высококачественных, полезных и востребованных конфет из сухофруктов. Правильный выбор загустителей и связующих веществ позволяет не только добиться идеальной текстуры, но и значительно обогатить продукт, питательными веществами.

Литература

1. ГОСТ 33310-2015. Добавки пищевые. Загустители пищевых продуктов. Термины и определения. - М.: Стандартинформ, 2015. - 12 с.
2. Иванченко, В.А. Функциональные пищевые ингредиенты в производстве кондитерских изделий / В.А. Иванченко, М.С. Петрова // Пищевая промышленность. - 2020. - № 5. - С. 45-48.

*Е.А. Макаренко, студ., А.О. Блинов, к.ф.-м.н., ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КОНФЕТ ИЗ СУХОФРУКТОВ И ТРАДИЦИОННЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Популярность на здоровое питание набирает все большую популярность, также стали популярны «полезные» сладости, в частности, конфеты на основе сухофруктов и орехов. Они производятся как здоровая альтернатива традиционным кондитерским изделиям.

Целью данной работы является сравнительный анализ химического состава конфет из сухофруктов и традиционных кондитерских изделий.

Традиционные конфеты (карамельки, шоколадные, ириски, помадка): Их рецептура строится на сахаре (сахароза, глюкозный сироп), патоке, жирах (часто гидрогенизированных или пальмовом масле), какао-продуктах, ароматизаторах, красителях и эмульгаторах. Пищевая ценность таких продуктов определяется в основном простыми углеводами и жирами [1].

Конфеты из сухофруктов: Основу этих продуктов составляют сухофрукты (чернослив, финики, изюм, курага), орехи (миндаль, грецкие, фундук), семена (например, кунжут или чиа) и иногда мед или сиропы (агавы, топинамбура) в качестве связующего элемента. Их состав обогащен за счет исходного сырья.

Гликемический индекс (ГИ) -показатель влияния углеводов в продуктах питания на изменение уровня глюкозы в крови относительно влияния чистой глюкозы.

За эталон принято изменение уровня сахара в крови в течение 2 часов после употребления глюкозы. ГИ глюкозы принят за 100.

Традиционные конфеты: обладают высоким ГИ (65-80 и выше). Это приводит к быстрому выбросу энергии, за которым следует резкий спад и снова чувство голода.

Таблица 1 – Сравнительная таблица химического состава

Параметр	Традиционные конфеты	Конфеты из сухофруктов	Последствия для здоровья
Сахар	Очень высокое содержание добавленных сахаров (сахароза, глюкозный сироп)	Высокое содержание, но в форме натуральных фруктозы и глюкозы. Источник – сами сухофрукты (финики, изюм)	Сахар в сухофруктах поступает в комплексе с клетчаткой, что замедляет его усвоение и предотвращает резкие скачки глюкозы в крови. В традиционных конфетах сахара усваиваются быстро, что вредно для поджелудочной железы и способствует набору веса.
Жиры	Источник насыщенных жиров, а иногда и трансжиров (из гидрогенизированных масел).	Источник полезных ненасыщенных жиров из орехов и семян (Омега-3, Омега-6).	Ненасыщенные жиры полезны для сердечно-сосудистой системы и мозга. Насыщенные и транс-жиры повышают уровень «плохого» холестерина (ЛПНП) и риск развития атеросклероза.
Витамины и Микроэлементы	Витамины и микроэлементы практически отсутствуют. В обогащенных витаминами вариантах – синтетические добавки	Богатый состав: Магний (орехи, сухофрукты) – полезен для нервной системы. Калий (курага, изюм) – полезен для сердца. Железо (чернослив, финики) против анемии. Витамины группы В, Е, А	Конфеты из сухофруктов можно рассматривать как источник микронутриентов, а традиционные конфеты это просто калории
Пищевые волокна (клетчатка)	Клетчатка практически отсутствует	Клетчатка поступает из сухофруктов, орехов и семян	Клетчатка нормализует пищеварение, является пребиотиком, способствует длительному чувству сытости, снижает гликемический индекс продукта. Это преимущество конфет из сухофруктов
Белки	Низкое содержание бел-	Умеренное содер-	Белки необходимы для

	ков (исключение – продукты с молочным белком или нугой)	жание белков за счет орехов и семян	организма и повышают чувство сытости
Добавки	Широкий спектр добавок: ароматизаторы, красители, эмульгаторы, стабилизаторы, консерванты	Минимум добавок. Часто производятся без консервантов и красителей благодаря природным свойствам сухофруктов	Натуральный состав продукта снижает нагрузку на печень и уменьшает риск аллергических реакций

Конфеты из сухофруктов: имеют средний ГИ (40-60), благодаря клетчатке и жирам, которые замедляют усвоение сахаров. Энергия выбрасывается постепенно, обеспечивая более стабильный уровень сахара в крови.

Энергетическая ценность (Калорийность).

Очень важно, что калорийность обоих видов конфет может быть очень высокой.

Конфеты из сухофруктов и орехов – это концентрат фруктозы и растительных жиров.

Традиционные конфеты – это концентрат сахарозы и жиров

Сравнительный анализ показывает, что конфеты из сухофруктов имеют значительные преимущества перед традиционными с точки зрения питательной ценности:

1. Стабильная энергия: более низкий гликемический индекс обеспечивает длительное насыщение.
2. Полезные жиры: содержат ненасыщенные жирные кислоты.
3. Натуральный состав: минимум искусственных добавок.

Но это не означает, что их можно есть без ограничений. Они остаются высококалорийным продуктом с большим содержанием природных сахаров.

Традиционные конфеты – это быстрый, но кратковременный источник энергии («пустые калории»), который не несет пользы для здоровья.

Для потребителя конфеты из сухофруктов являются более здоровым выбором, но, должны употребляться в меру. Традиционные же кондитерские изделия стоит рассматривать для редкого, а не ежедневного употребления.

Литература

1. Медведева А. А. М 42 Производство конфет и шоколада: технологии, оборудование, рецептуры. - СПб.: Изд-во ДНК, 2007 - 256 с.
2. Румянцева, В.В. Технология кондитерского производства: конспект лекций для вузов / В.В. Румянцева. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – 141 с..

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Оптимизация технологических процессов – ключевая задача современной пищевой промышленности. Одним из ее решений может быть использование методов машинного обучения, это направление является перспективным.

Одним из типовых процессов в производстве продуктов питания является технологический процесс производства растворимого горячего шоколада, представлен на рисунке 1.

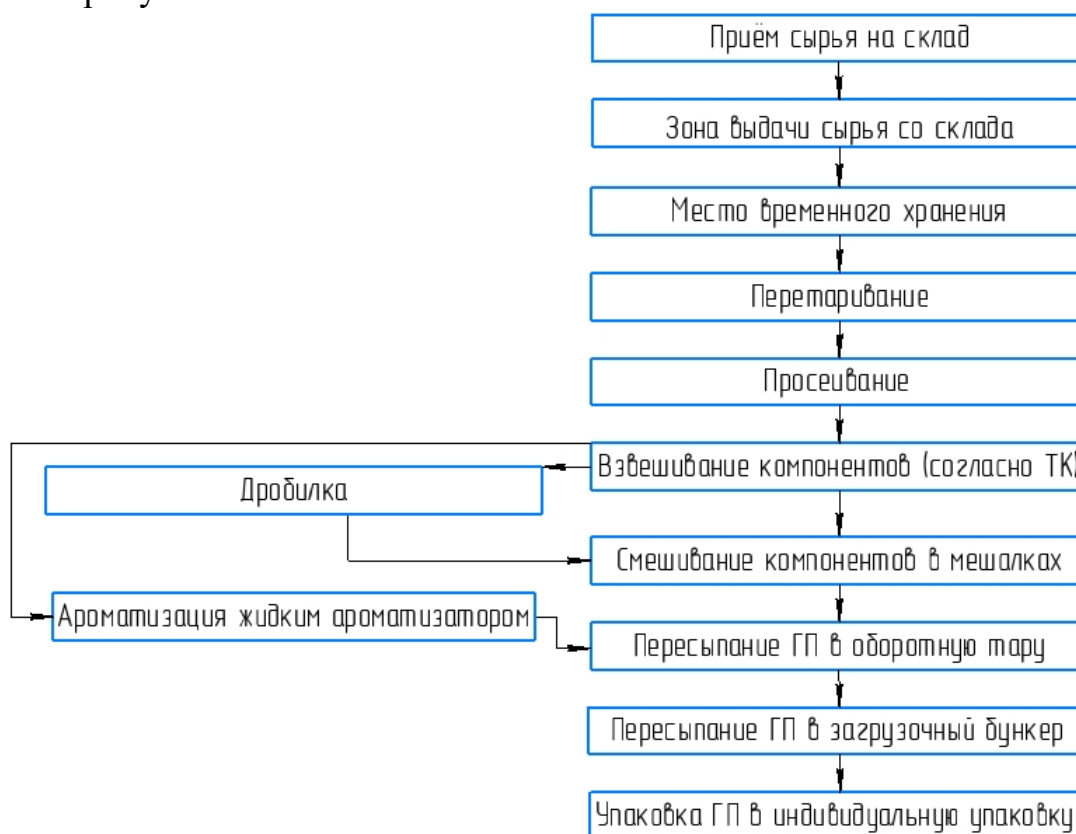


Рисунок 1 – Схема производства продукции

Основные этапы процесса: прием и контроль качества какао-бобов, их переработка (обжарка, измельчение, прессование), создание рецептурной смеси, агломерация или распылительная сушка для придания растворимости, фасовка.

Растворимый горячий шоколад, как многокомпонентный порошкообразный продукт, представляет собой сложную дисперсную систему. Его ключевые потребительские свойства – скорость и полнота растворения, стабильность взвеси, насыщенность вкуса и аромата – напрямую зависят от строгого контроля соблюдения всех этапов производства. Традиционные методы контроля, основанные на выборочном лабораторном анализе, не обеспечивают необходимой оперативности и полноты данных, недостаточно эффективно могут выявлять отклонения показателей качества при производстве продукции.

Внедрение машинного обучения в технологические процессы расширит возможности для повышения эффективности производства, позволит контролировать каждый этап производственного процесса. Практическим результатом станет стабильно высокое качество выпускаемой пищевой продукции [1].

Цель работы – проанализировать и систематизировать потенциал применения современных цифровых решений для повышения эффективности производства растворимого горячего шоколада

На этапе сбора и анализа данных для улучшения производственного цикла, а также его автоматизации, важно учитывать все производственные факторы [2].

Качество конечного продукта закладывается на этапе приемки какао-бобов. На данном этапе может быть применима обработка данных о каждой партии сырья (сорт, регион происхождения, условия ферментации и сушки, результаты входящего контроля) при помощи интеллектуальной системы, определяющей дальнейшие рекомендуемые производственные режимы. Возможно получение данных для корректировки дальнейших процессов (например, режимов обжарки) под конкретную партию сырья, что позволяет повысить качество продукта.

Обжарка представляет собой не менее важный этап для формирования совокупности всех органолептических характеристик продукта. Оборудование, оснащенное сетью датчиков (IoT), непрерывно передает данные о температуре в зоне обжарки, влажности бобов, скорости газового потока. Алгоритмы машинного обучения могут не просто поддерживать заданный режим, но и динамически оптимизировать режимы с учетом особенностей исходного сырья. Это позволяет добиваться стабильного результата даже при работе с неоднородными партиями какао-бобов.

Методы Data Science позволяют значительно улучшить рецептуру и технологию смешивания в производстве пищевых продуктов, включая горячий шоколад. Основная идея – на основе больших объемов данных о сырье, параметрах производства и свойствах готовой продукции построить модели, которые выявляют ключевые взаимосвязи между компонентами и процессами.

Статистический анализ позволит определить оптимальное соотношение ингредиентов, обеспечивающее необходимый вкус, текстуру и растворимость продукта, предсказать, как изменение параметров смешивания (скорость, время, температура) влияет на качество конечного порошка. Также быстрее находить новые рецептуры, минимизируя количество физических экспериментов и связанных с ними затрат сырья и времени и автоматически анализировать данные с датчиков в процессе производства для оперативной корректировки параметров и поддержания стабильного качества и вносить текущие изменения в технологический процесс для его стабилизации.

Таким образом, статистический анализ превращает традиционный эмпирический подход в более точный и предсказуемый процесс, позволяя адаптироваться к изменению качества сырья и требованиям рынка. Это повышает эффективность производства и качество конечного продукта.

Чтобы порошок хорошо растворялся его нужно агломерировать, то есть образовать более крупные частицы(агломераты) из более мелких. Основная цель этого процесса – достижение равномерной пористости и одинакового размера частиц. Процесс агломерации или сушки возможно контролировать с помощью компьютерного зрения.

Видеомониторинг системы позволит в режиме реального времени анализировать размер и форму частиц после агломератора или сушильной башни. Если в ходе анализа будут обнаружены отклонения от заданных параметров, то интеллектуальная система машинного обучения после обработки данных проведет автоматическую корректировку режимов подачи пара, скорости распыления, давления пара и температуры.

При анализе данных, поступающих с датчиков оборудования, система автоматически начинает прогнозировать необходимость обслуживания форсунок пара, распылительной или барабанной сушилки, очистки воздушных фильтров. Это позволит минимизировать простои оборудования и наладить техническое обслуживание оборудования

На линии фасовки, системы машинного зрения могут проверять целостность упаковки, соответствие веса и наличие посторонних включений, передавая данные о каждой произведенной упаковке (дата и время, вес или объем, параметры производства). Это позволит мгновенно идентифицировать и отозвать конкретную партию в случае брака или претензии со стороны потребителей.

Внедрение перечисленных технологий позволяет создать цифрового двойника всей производственной линии. Это виртуальная модель, которая:

1. Проводит симуляции.

Моделирование новых рецептур или изменение параметров процесса (температура сушки, давление пара и т.п.) в цифровом пространстве. Это позволит оценить характеристики конечного продукта без остановки производства и лишнего расхода сырья;

2. Осуществляет оптимизацию в реальном времени.

Цифровой двойник постоянно сравнивает данные производственной линии с заданными эталонами и предлагает корректировки для максимизации эффективности производства, что способствует минимизации энергопотребления.

К основным плюсам цифровизации технологических процессов относятся: прирост эффективности; повышение скорости, гибкости, точности и стабильности; полная прослеживаемость и безопасность; снижение влияния человеческого фактора [3].

Использование машинного обучения для оптимизации технологических процессов пищевой промышленности позволит повысить качество продукта, уменьшать потери и затраты. Цифровые технологии становятся не просто инструментом улучшения, а основным способом развития всей отрасли пищевого производства.

В статье проведен анализ современных тенденций внедрения информационных технологий и инновационных решений в технологический процесс производства растворимого горячего шоколада. Рассмотрены ключевые стадии

процесса такие как: приемка и контроль качества какао-бобов, их переработка (обжарка, измельчение, прессование), создание рецептурной смеси, агломерация или распылительная сушка для придания растворимости, фасовка. В этих стадиях показано, что наибольший эффект на каждом из этапов достигается за счет мониторинга параметров в реальном времени, машинного обучения для прогнозирования органолептических свойств и оптимизации рецептур. Выявлено, что интеграция технологий машинного обучения для оптимизации технологического процесса позволит существенно снизить процент брака, потери энергии и сырья. Комплексная цифровизация производства является необходимым и ключевым фактором для повышения качества продукции со стабильно высокими потребительскими свойствами.

Литература

1. Гончаров, М. В. Перспективы применения искусственного интеллекта и машинного обучения в автоматизации процессов производства и контроля качества пищевых продуктов / М. В. Гончаров, А. Д. Боханов, А. С. Терехов // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 2(164). – С. 80-83. – EDN MEHBCP.
2. Ващенко, А. А. Инновационные способы производства помадных конфет / А. А. Ващенко, М. Г. Куликова // Естественные и технические науки. – 2022. – № 6(169). – С. 350-351. – EDN GCXELR.
3. Kulikova, M. G. Assessment of the Potential of Digital Technologies in the Implementation of Deep Cycles of Grain Products Processing / M. G. Kulikova, M. V. Belyakov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 2020 International Science and Technology Conference on Earth Science, ISTCEarthScience 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года. – IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 022089. – DOI 10.1088/1755-1315/666/2/022089. – EDN BILJWT.

*П.Е. Самусева, студ.; М.А. Новикова, ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОСОЛА В ПРОИЗВОДСТВЕ МЯСНЫХ ДЕЛИКАТЕСОВ

Мясная и мясоперерабатывающая промышленность является одной из ведущих отраслей пищевой индустрии. Мясо - основной источник полноценного белка, аминокислот, микроэлементов и витаминов.

Статистика потребления мясной продукции по данным Росстата представлена на рисунке 1.

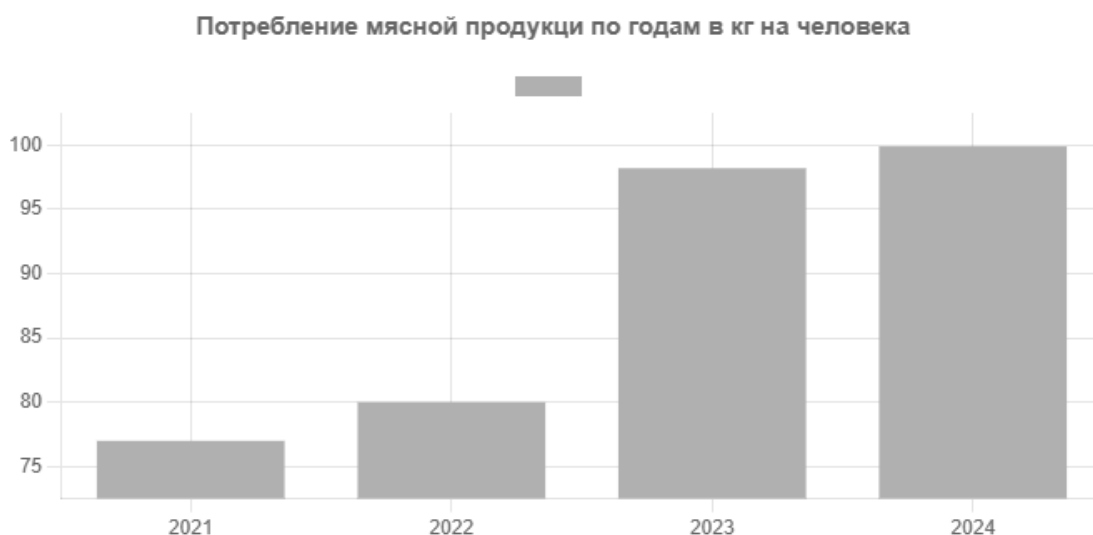


Рисунок 1 – Диаграмма потребления мясной продукции по данным Росстата

Существует огромное количество рецептов приготовления мясных деликатесов. Благодаря этому они отличаются особыми органолептическими свойствами.

По данным отчета «Нильсен» за прошлый год наблюдался рост продаж мясных деликатесов на 13%. В текущем году ожидается, что динамика продаж останется положительной. Данное явление обусловлено выходом на рынок новых продуктов в рамках импортозамещения и доступностью продукта для покупателей с разным бюджетом.

Одним из самых популярных мясных деликатесов является карбонад. Данный продукт представляет собой цельно-мышечный продукт из свинины без костей, со слоем жира не более 0,5 см.

Развитие мясоперерабатывающей отрасли на сегодняшний день обусловлено наличием требований к снижению времени на обработку продукта, повышению его безопасности и улучшению органолептических свойств.

Технологический процесс производства карбонада состоит из следующих этапов: подготовка сырья, посол, выдержка, термическая обработка и охлаждение.

Одной из главных и определяющих операций является посол, так как именно на данном этапе обеспечивается сохранность продукта в дальнейшем, и происходит формирование необходимых технологических и потребительских свойств: вкуса, запаха, цвета, консистенции.

При посоле возникают сложные биохимические, массообменные и ферментативные процессы, в результате которых в мясе происходят накопление и перераспределение посолочных веществ, изменение состояния белковых веществ, массы и микроструктуры мяса, а также стабилизация окраски и изменение форм связи влаги.

Традиционные методы посола (сухой, мокрый, смешанный) характеризуются значительной продолжительностью (3 - 16 суток), что экономически не выгодно, к тому же увеличивают риск развития порчи. В связи с этим исследуются новые методы посола мяса, основанные на применении современных технологий.

Целью данной работы является теоретический анализ современных инновационных методов посола в производстве карбонада.

В работе рассматриваются роботизированные инъекторы для посола, ультразвуковой и биотехнологической методы посола, а также перспективы их применения в дальнейшем.

Инъектирование (шприцевание) – процесс принудительного введения рассола в толщу продукта. Является популярным методом посола карбонада в настоящие годы, однако имеет ряд недостатков: неравномерность посола, нестабильное качество и риск порчи продукта. Инъектирование может осуществляться игольным, струйным и регулируемым зонным инъектированием.

Перспективным и инновационным внедрением в мясоперерабатывающую промышленность являются роботизированные инъекторы. Данное оборудование обеспечивает высочайшую точность дозирования раствора ($\pm 0,5\%$). Каж-

дый иньектор находится под управлением компьютера, который проводит анализ структуры мяса и адаптирует параметры посола в реальном времени. Роботизация процесса позволяет прийти к снижению затрат на рассол, увеличению срока годности и увеличению выхода мяса.

Другим перспективным и необходимым направлением является применение в процессе посола ультразвуковой обработки. Ультразвук – это звуковая волна с частотой выше 20 кГц.

В последние годы отмечаются положительные влияния, возникающие при применении ультразвука. Связываются они с частичным механическим разрушением волокон соединительной и мышечной тканей, вследствие чего создаются благоприятные условия для ускорения химических и массообменных процессов [1].

Ультразвук положительно влияет на структуру мяса, позволяет получить нежные, мягкие, равномерно окрашенные куски карбонада без предварительного внутримышечного шприцевания [2].

Развитие биотехнологий позволило получить метод посола с применением пробиотических микроорганизмов в технологии производства мясных деликатесов. Исследованиями было установлено, что применение пробиотических продуктов, содержащих живые микроорганизмы, способно оказывать положительное влияние на процесс посола и свойства конечного продукта. Одними из таких пробиотических продуктов являются Наринэ форте, Кефинар и Бифишка.

Включение данных добавок в процессе производства мясных деликатесов, в том числе карбонада, значительно ускоряет биохимические процессы, происходящие при созревании. Это положительно сказывается на функциональных свойствах исходного сырья и, как следствие, приводит к увеличению выхода готовой продукции.

Конечные продукты отличаются повышенной питательной ценностью, улучшенными органолептическими свойствами и уменьшенным содержанием вредных соединений.

Метаболиты, выделяемые пробиотическими микроорганизмами, способствуют насыщению мяса полноценными белками и витаминами группы В, а также расщеплению канцерогенных веществ. Присутствие пробиотиков в процессе созревания позволяет достичь наиболее высокого уровня сочности, цвета и улучшенного аромата.

Таким образом, пробиотические культуры в технологической линии производства карбонада способствует увеличению срока их годности и повышению безопасности продукта для потребителя.

Важным направлением в развитии инновационных методов является внедрение автоматизированных систем контроля параметров процесса и возможное использование искусственного интеллекта для оптимизации технологических режимов производства мясного деликатеса карбонад.

Таким образом, рассмотренные выше инновационные методы посола открывают новые возможности для повышения качества карбонада. Кроме того, современные технологии позволяют снизить энергетические затраты, делая

производство мясных деликатесов более выгодным, безопасным и экологичным.

Литература

1. Инновационные технологии производства мясных продуктов: учебное пособие / А.Я. Дьячков, Ю.А. Ренева, Е.В. Михалева; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Пряшникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2022. С 96-109.

2. Григорьев К.И. Актуальность разработки установки для посола мяса с использованием ультразвука / Григорьев К.И., Беззубцева М.М. // Технологии обеспечения предприятий АПК.

*П.Е. Самусева, студ.; М.А. Новикова, ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КАРБОНАДА: ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Карбонад – мясной деликатес, изготовленный из спинно-поясничного отруба свинины высшего или первого сорта. Данный продукт представляет собой высококачественное и изысканное мясное изделие, которое создается с особым вниманием к вкусу, текстуре и аромату.

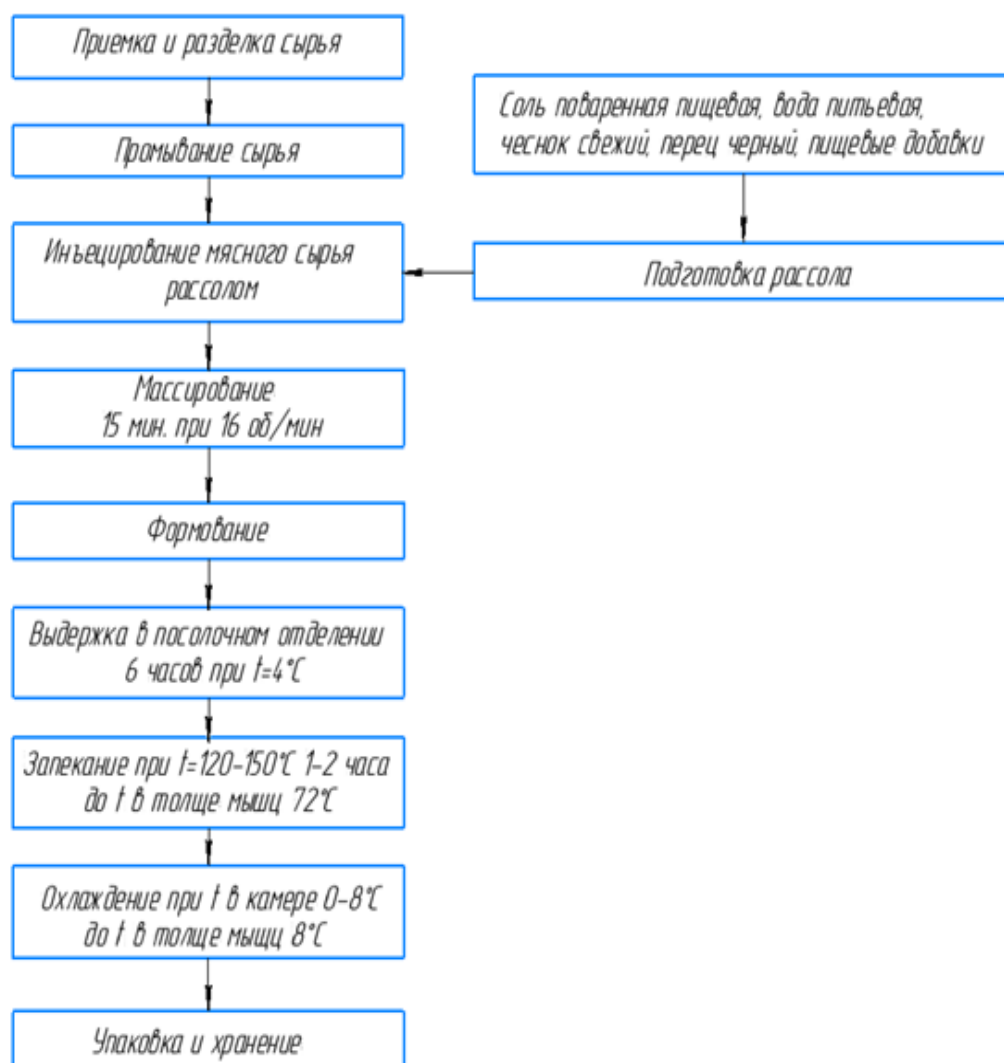


Рисунок 1 – Технологическая схема производства карбонада

Правильный выбор оборудования для производства карбонада является ключевым фактором, влияющим на качество конечного продукта.

Целью данной работы является теоретический анализ современного оборудования для производства карбонада, а также особенности выбора и эксплуатации данного оборудования.

Технологическая схема производства представлена на рисунке 1.

На любом предприятии мясоперерабатывающей отрасли происходит первичная разделка поступившего сырья. Этот процесс осуществляют либо вручную, либо посредством соответствующего оборудования – дисковых и ленточных электрических пил, которые позволяют быстро и безопасно обработать большие объемы мяса, включая отделение от кости. При выборе пилы следует учитывать особенности данного оборудования и его задачи. Так, ручные пилы используют для распила подвешенных цельных туш, ленточные пилы подходят для разделки крупных кусков мяса на куски меньшего размера, а дисковые – являются отличным инструментом для разделки цельно-мороженных продуктов.

Следующим этапом является подготовка рассола для последующего посола продукта. Основным сырьем для посолочной смеси карбонада являются: поваренная пищевая соль, питьевая вода, свежий чеснок, черный перец и пищевые добавки. В качестве оборудования выступают мешалки для рассола, обеспечивающие однородное смешивание всех ингредиентов. При выборе данного оборудования следует учитывать объем емкости, скорость вращения и соответствие устройства санитарным нормам. Согласно требованиям ГОСТ в пищевой промышленности необходимо использовать оборудование с нержавеющей поверхностями.

Целью посола является формирование необходимых потребительских свойств продукта и предохранение его от микробиологической порчи.

Непосредственный посол карбонада осуществляется принудительным введением в толщу продукта через специальные иглы посолочной смеси. Для этого используются автоматические много-игольчатые инъекторы, оснащенные насосом, который подает рассол в короб с иглами. При выборе устройства следует учитывать его производительность и мощность.

Для ускорения посола карбонада активное применение находят вакуумные массажеры. Данное устройство позволяет равномерно распределить рассол и создать более мягкий и сочный продукт. В основе конструкции находится барабан, который вращается на небольшой скорости и позволяет рассолу проникнуть внутрь продукта, не нарушая его структуры. Существуют массажеры с различным числом барабанов, наклонные и горизонтальные, однокамерные и многокамерные. Современным и высокопроизводительным является вакуумный массажер с охлаждением, который позволяет быстро и деликатно подготовить продукт к дальнейшей обработке. Последующими этапами технологического процесса является придание формы продукту и его выдержка в посолочном отделении.

Важным этапом в производстве карбонада является его термическая обработка, так как на данной стадии продукт становится готовым к употреблению. В качестве оборудования используют термические камеры, печи и установки. Выбор зависит от вида обработки: копчение, варка, запекание, жарение или совокупность нескольких режимов термической обработки.

Холодильное оборудование, применяемое в производстве карбонада, предназначено для холодильной обработки и хранения готовой продукции. Существует универсальное оборудование, которое способно выполнять все эти функции. К ним относятся холодильные шкафы и сборные холодильные камеры. Для осуществления лишь холодильной обработки используется группа специального оборудования: морозильные аппараты с интенсивным движением воздуха, плиточные морозильные и криогенные агрегаты.

Таким образом, производство карбонада представляет собой сложный технологический процесс последовательно взаимосвязанного оборудования, от работы которого зависит конечный результат.

Выбор оборудования должен осуществляться на основе технического и экономического обоснования, учитывающего производительность, энергоэффективность, гигиеничность и уровень автоматизации машин.

Правильный подбор и учет всех особенностей оборудования позволит оптимизировать производственный процесс и положительно повлиять на качество карбонада и эффективность предприятия в целом.

Литература

1. Горлов И.Ф. Разработка технологии производства запеченного карбонада / Горлов И.Ф., Божкова С.Е., Гниломедова С.А., Суркова С.А // Аграрно-пищевые инновации, 2020. С. 56-65.
2. Технология, оборудование и проектирование предприятий мясной отрасли: учебник / А.З. Тахо-Годи, В. И. Комлацкий, Т.А. Подойницыва, Ю.А. Козюб. – Краснодар: КубГАУ, Издательство: Краснодарский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭФ» Минэнерго России, 2019. – 283 с.

*Р.О. Соболев, студ.; М.А. Новикова, ст. препод.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

БЕЗОТХОДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТВОРОГА: ПЕРЕРАБОТКА СЫВОРОТКИ – ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Эффективность экологического производства тесно переплетается с рациональным подходом к использованию сырья, ориентированным на минимальные отходы и полную его реализацию. Высокая питательная ценность молока и его исключительные биологические свойства диктуют использование всех его частей исключительно для создания пищевых продуктов. Классические методы переработки молока не позволяют полностью использовать все его компоненты для создания продуктов, таких как масло, сыр, творог и казеин. В процессе производства этих товаров неизбежно образуются отходы, например, обезжиренное молоко, пахта и молочная сыворотка, которые находят широкое применение в пищевой, кормовой, медицинской и технической промышленности. На самом деле, эти элементы служат дополнительным поставщиком сырья, относящимся к категории вторичных материальных ресурсов и объединяемых общим термином – немолочное вещество животного происхождения.

Целью исследования является изучение проблем и их решений по безотходному производству творога.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- изучить перспективы развития безотходного производства творога;
- изучить состав молочной сыворотки.

Молочная сыворотка, являясь возобновляемым природным ресурсом, может стать ценнейшим ресурсом для человечества в будущем, когда традиционные источники энергии, такие как нефть, уголь и газ, станут недоступны. В ближайшем будущем молочная сыворотка может быть использована для создания широкого спектра продуктов и напитков, необходимых для повседневного потребления, а также для производства средств гигиены, биоэтанола, биогаза, лекарственных препаратов и других полезных веществ [2].

Молочная сыворотка в последнее время всё чаще используется в пищевой промышленности и признана ценным источником питательных веществ. В её составе насчитывается более двухсот биологически активных компонентов, включая лактоферин и иммуноглобулин, полный спектр витаминов группы В, а также витамины С, А, Е и биотин, а также никотиновую кислоту, холин и целый ряд микро- и макроэлементов, например, кальций, калий, фосфор, железо и цинк. Профиль молочной сыворотки формируется в зависимости от типа исходного продукта и применяемой технологии производства. В её составе присутствуют все необходимые организму аминокислоты. Сыворотка обладает огромным потенциалом для разработки инновационных функциональных продуктов. Ее богатый состав обеспечивает высокую питательную и биологическую ценность, а технологичность в обработке открывает широкие возможности для создания разнообразных продуктов. Кроме того, нейтральный вкус сыворотки позволяет без труда интегрировать ее с другими компонентами, при необходимости корректируя вкусовые характеристики конечного продукта [3].

Основной способ решения проблемы комплексной переработки молочной сыворотки заключается в создании безотходных технологий для сыра, творога и казеина.

Рассмотрим ключевые проблемы и перспективы комплексной переработки молочной сыворотки в таблице 1.

Таблица 1 – Основные проблемы и перспективы переработки сыворотки

Проблема	Перспективы, решение
Использование необработанной сыворотки как удобрения приводит к замедлению роста растений при концентрации >10%, особенно на определённых почвах	Отказ от прямого внесения; переработка сыворотки перед использованием в сельском хозяйстве
Использование сырой сыворотки осложнено быстрой порчей при высоких температурах (особенно летом) и сложным процессом транспортировки	Переработка на месте в сгущённые или сухие формы; уменьшение объёма для транспортировки

Высокие затраты на сушку сыворотки	Предварительное сгущение до 70–80% сухих веществ (испарение дешевле сушки в разы); применение оборудования типа Paraflash (Anhydro)
Низкая рентабельность некоторых продуктов (например, сгущённая очищенная сыворотка – рентабельность 12,5%)	Использование биотехнологий: производство сгущённой гидролизованной сыворотки (рентабельность до 41,1%)
Отсутствие эффективного комплексного использования всех компонентов сыворотки	Раздельная переработка на белковые концентраты, молочный сахар, минеральные соли, сырный крем, казеиноальбуминозную массу и др.
Производство молочного сахара считается невыгодным и энергозатратным, в России почти не развито	Европейская практика показывает обратное; внедрение энергоэффективных технологий получения лактозы
Отсутствие глубокой переработки компонентов (белков, жиров, лактозы)	Производство функциональных компонентов: лактулоза, тагатоза, галактоолигосахариды, гидролизаты белков и жиров
Недостаточная реализация биотехнологического потенциала	Производство: органических кислот, этанола, витаминов, ферментов, биогаза, микробного белка, антиоксидантов
Слабо используется энергетический потенциал сыворотки в России	Пример Германии – 240 заводов перерабатывают сыворотку в биогаз; можно внедрить в РФ
Недостаточное распространение технологий переработки в регионах России	Примеры успешных предприятий: Ставрополь (комбинированный продукт), Бежецк (ЗЦМ), Рубцовск (порошок сыворотки), Ипатово (молочный сахар, БИКОДО)
Высокая минерализация и кислотность творожной сыворотки, что мешает её дальнейшему использованию	Применение электродиализа: деминерализация до 70% снижает солонатовость и кислотность, облегчает сушку
Ограниченное применение мембранных технологий	Широкое внедрение мембранной фильтрации открывает новые продукты и повышает глубину переработки
Отсутствие иерархии в подходах к переработке сыворотки	Прогноз развития по «пирамиде технологий»: в основании – объёмы переработки; выше – от традиционных до высокотехнологичных (мембранных и глубокой изоляции)

Из представленной таблицы следует, что наиболее острые проблемы переработки сыворотки связаны с её нестабильностью, высокой минерализацией, затратностью сушки и низкой рентабельностью традиционных методов. Однако, современные технологии (сгущение, биотехнологическая переработка, мембранные процессы и электродиализ) открывают широкие перспективы для безотходного использования сыворотки.

Эффективное решение проблемы переработки сыворотки требует комплексных организационных шагов. Необходимо возродить производство молочного сахара, увеличить выпуск заменителей цельного молока на основе сыворотки, а также организовать сбор и централизованную обработку сыворотки

для производства сгущенной и сухой сыворотки на мощных установках. Важно также стандартизировать свойства сыворотки разных видов для ее эффективного использования [1].

Ограничения в переработке сыворотки обусловлены рядом факторов: недостаточное финансирование для внедрения современных технологий и приобретения новой техники; сравнительно скромные инвестиции в молочную отрасль по сравнению с другими секторами экономики; недостаточная осведомленность о пользе продуктов из сыворотки и недостаток рекламных кампаний, пропагандирующих здоровый образ жизни; отсутствие массового производства разнообразных и многокомпонентных продуктов на основе сыворотки.

В заключение, необходимо отметить, что достижение безотходного производства творога возможно лишь посредством комплексного подхода к переработке всех отходов молочного производства. Эффективное использование отходов молочной промышленности в производстве новых продуктов питания позволит расширить доступ к биологически полноценной пище, оптимизировать экономические показатели молокоперерабатывающих заводов за счет расширения ассортимента выпускаемой продукции и повысить экологическую ответственность производства, сократив выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду.

Литература

1. Бережная Е. А. Современное состояние и перспективы переработки молочной сыворотки // Вестник науки. 2021. №1 (34). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-pererabotki-molochnoy-syvorotki> (дата обращения: 20.09.2025).
2. Султанбекова П.С., Оралсынкызы М, Мейрбекова А.С. Экологические аспекты применения ультрафильтрации в молочной промышленности // Вестник науки и образования. 2020. №25-3 (103). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-aspekty-primeneniya-ultrafiltratsii-v-molochnoy-promyshlennosti> (дата обращения: 20.09.2025).
3. Шелкова С. О. Перспективы реализации инвестиционного решения строительства цеха по производству молочной сухой сыворотки в орловской области // Научный журнал молодых ученых. 2022. №2 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-realizatsii-investitsionnogo-resheniya-stroitelstva-tseha-po-proizvodstvu-molochnoy-suhoy-syvorotki-v-orlovskoy-oblasti> (дата обращения: 20.09.2025).

*Р.О. Соболев, студ.; М.А. Новикова, ст. препод.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РОЛЬ ЗАКВАСОЧНЫХ КУЛЬТУР В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТВОРОГА, ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ГОТОВОГО ПРОДУКТА

Творог – традиционный кисломолочный продукт, получаемый путем сквашивания молока с последующим удалением сыворотки, занимает значимое место в рационе питания населения многих стран благодаря своей высокой пищевой и биологической ценности. Его значение обусловлено, в первую очередь, содержанием полноценного молочного белка с оптимальным аминокислотным составом, включая незаменимые аминокислоты, такие как лизин, метионин и триптофан. Помимо этого, творог служит важным источником легкоусвояемого кальция, фосфора, витаминов группы В и ряда биологически активных пептидов, образующихся в процессе ферментации [1].

Актуальность темы обусловлена необходимостью совершенствования технологии производства творога как с точки зрения повышения его пищевой и биологической ценности, так и с целью оптимизации производственных процессов в условиях современной молочной промышленности. На сегодняшний день особое значение приобретает управление качеством готовой продукции через биотехнологические параметры, в первую очередь – через состав и активность заквасочной микрофлоры.

Целью исследования является обоснование технологической и биохимической роли заквасочных культур в формировании качественных характеристик творога и выявление возможностей их целенаправленного применения для повышения выхода, органолептической стабильности и биологической ценности готового продукта.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- провести сравнительный анализ видов заквасочных культур, используемых в производстве творога;
- охарактеризовать влияние заквасочной микрофлоры на физико-химические и органолептические параметры творога, включая консистенцию, кислотность, влагоудержание и вкус;
- оценить роль заквасок в обеспечении микробиологической безопасности.

Поставленные задачи решались путём теоретического обобщения и анализа опубликованных отечественных и зарубежных источников, описывающих практические аспекты применения заквасочных культур в технологии кисломолочных продуктов, в частности – творога.

Технология производства кисломолочных продуктов, включая творог, основывается на способности специфических микробных культур индуцировать кислотообразование, коагуляцию белков и формирование органолептического профиля. В производстве творога заквасочные культуры выполняют центральную биохимическую функцию (инициируют молочнокислое брожение), понижающую рН и приводящую к денатурации казеинового комплекса.

Использование стандартных мезофильных культур обеспечивает формирование тонкодисперсного сгустка и умеренную кислотность, оптимальную для творога столового типа. Термофильные культуры на основе применяются при производстве плотного, более сухого творога, в том числе в фасованном виде и с пролонгированным сроком хранения [5].

Березкина Г. Ю. и соавт. в своём экспериментальном исследовании сравнили эффективность действия двух поликомпонентных заквасок – *Бифивит* и *Lactoferm Eco* – на стандартной творожной массе из нормализованного молока с кислотностью 19–21 °Т. Использование *Бифивита* обеспечило достижение конечной кислотности 75 ± 2 °Т за 6,5 часов при температуре 30 °С, в то время как при применении *Lactoferm Eco* показатель достигался за 5,3 часа при сохранении пластичной структуры сгустка и снижении потерь белка при отделении сыворотки [4].

Физико-химические параметры готового продукта существенно зависят от штаммового состава культуры. При использовании термофильных заквасок с

высоким уровнем протеолитической активности наблюдается увеличение доли низкомолекулярных пептидов в белковой фракции. Это оказывает влияние на текстуру продукта: наблюдается более равномерная кремообразная структура, повышенная влагоудерживающая способность, сниженная склонность к отделению сыворотки [2]. Эти свойства ценны при промышленной фасовке творога в условиях вакуумной упаковки с удлинённым сроком хранения до 14 суток.

Положительное влияние заквасок на биохимический профиль творога проявляется в увеличении содержания витаминов В1, В2, В12, синтезируемых микроорганизмами в процессе ферментации. В частности, в пробах, ферментированных пробиотической культурой *Lactobacillus rhamnosus*, содержание витамина В12 достигало 0,8 мкг/100 г, что составляет около 25% от суточной нормы для взрослого человека. Присутствие активных форм этих витаминов увеличивает биологическую ценность продукта и позволяет позиционировать его в рамках функционального питания.

На основании анализа, можно сделать вывод, что оптимизация заквасочной культуры представляет собой эффективный способ повышения технико-экономических показателей производства творога. В частности, при грамотно подобранном штаммовом составе закваски происходит более полное и направленное коагулирование белков молока, в первую очередь казеиновой фракции, что позволяет минимизировать белковые потери при отделении сыворотки. Коагуляция протекает равномерно, с формированием плотного, но эластичного сгустка, обладающего повышенной способностью к удержанию влаги. Это способствует увеличению сухого остатка в готовом продукте и, соответственно, выходу товарной массы без ухудшения органолептических характеристик. Согласно экспериментальным данным, выход творога может возрасти в среднем на 4-6% при сохранении постоянного объёма молочного сырья, что с учётом масштабов промышленного производства даёт существенный экономический эффект.

Кроме того, подбор заквасочных культур влияет на длительность сквашивания. Быстрое достижение технологически необходимой кислотности, обусловленное активным ростом молочнокислых бактерий, позволяет сократить продолжительность ферментации в среднем на 20–30 минут, снижая энергозатраты на поддержание температурного режима и повышая общую производительность линии. Снижение длительности технологического цикла благоприятно отражается на микробиологической безопасности, так как ограничивает окно для возможной контаминации внешней микрофлорой, в условиях частично открытых производственных систем [3].

Изученные данные позволяют утверждать, что подбор заквасок – это не вспомогательный, а системообразующий этап технологического проектирования. От выбранной заквасочной культуры напрямую зависит не только биохимическая динамика процесса, но и структура, текстура, кислотность, вкус, стойкость готового продукта к физико-химическим изменениям в процессе хранения. Заквасочная микрофлора определяет стабильность рН, уровень оста-

точной лактозы, степень синтеза ароматических соединений, содержание метаболитов с антиоксидантной и антимикробной активностью.

Таким образом, современные биотехнологические подходы позволяют целенаправленно формировать заквасочные культуры с определёнными функциональными характеристиками: кислотопродуцирующей способностью, скоростью роста, продукцией экзополисахаридов, активностью протеаз и липаз, чувствительностью к бактериофагам. Эти параметры задают не только ход технологического процесса, но и физико-химическую стабильность творога на этапе хранения и транспортировки, что критически важно при поставках в розничные сети с длительным логистическим циклом.

Литература

- 1 Бояршинова Е. В. Технология производства творога с фруктовым наполнителем для питания детей старше 6 месяцев //Иновации и продовольственная безопасность. – 2022. – №. 4. – С. 37-44.
2. Бабаназаров Э., Акмухаммедова М., Гарлыева О. Технология производства творога //научный журнал «IN SITU». – 2024. – С. 30.
3. Гаглоева Т. Н., Завьялова В. Г. Особенности технологии производства творога с пищевыми волокнами //Наука и Образование. – 2024. – Т. 7. – №. 3.
4. Березкина Г. Ю., Вострикова С. С., Макарова В. В. Использование заквасок бифивит и Lactoferm Eco при производстве творога //Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – №. 3. – С. 44-51.
5. Кулалаева А. С., Майоров А. В. Технология производства творога //актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства Учредители: Марийский государственный университет. – №. 23. – С. 665-666.

*Е.Л. Царегородцев, к.т.н., доц.; А.С. Терехов, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТАБЛЕТИРОВАНИЯ ЧАЯ

Современное состояние пищевой промышленности характеризуется активным переходом к цифровым технологиям и интеллектуальным системам управления. Особую актуальность эти тенденции приобретают в процессах, связанных с обработкой сыпучих материалов и прессованием, где традиционные системы управления демонстрируют ограниченную эффективность. Производство таблетированного чая представляет собой сложный технологический процесс, чувствительный к множеству возмущающих воздействий, среди которых наиболее значимым является колебание влажности исходного сырья [1].

Существующие системы АСУ ТП стабилизируют усилие прессования (F) по жесткой программе, не адаптируясь к изменению свойств сырья. Это приводит к увеличению доли брака – появлению таблеток с трещинами («ламинация») и недостаточной прочностью.

В связи с этим возникает необходимость в разработке принципиально новых подходов к управлению процессом таблетирования, основанных на адаптивных алгоритмах, способных компенсировать изменения свойств сырья в реальном времени. Теоретическое обоснование таких систем представляет значительный научный и практический интерес, поскольку позволяет определить пределы эффективности управления и оптимальные пути технической реализации.

Для решения поставленной задачи предложена модификация стандартной АСУ ТП путем введения дополнительного контура адаптивного управления (рисунок 1).

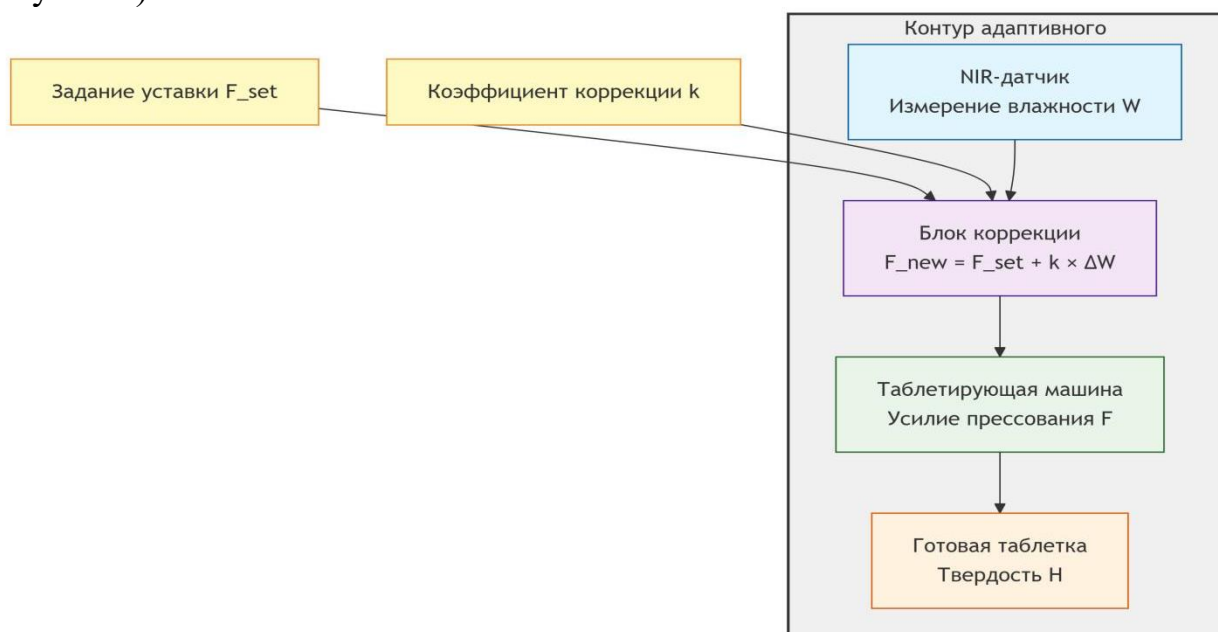


Рисунок 1 – Структурная схема адаптивной системы управления

В основе алгоритма лежит эмпирическая зависимость, установленная для данной рецептуры: для поддержания постоянной твердости (Н) при росте влажности (ΔW) необходимо пропорционально увеличить усилие прессования. Алгоритм коррекции имеет вид: $F = F_0 + k \cdot \Delta W$, где F_0 – штатное усилие, k – эмпирический коэффициент коррекции, ΔW – отклонение влажности от номинала [2].

На основе технической документации и характеристик оборудования установлено, что оптимальная влажность сырья составляет 5% с допустимыми колебаниями $\pm 1,5\%$. Проведенные расчеты демонстрируют, что при таких колебаниях влажности в системе со стандартным управлением до 7% продукции не соответствует нормативам по твердости [3]. Сравнительный анализ распределения твердости таблеток, представленный на диаграмме (рис.2), подтверждает существенное различие между системами управления.

Столбчатая диаграмма отражает распределение значений при работе стандартной системы управления, характеризующееся значительным разбросом показателей и высоким процентом бракованной продукции. Наблюдается широкое распределение значений твердости со значительной долей продукции за пределами допустимого диапазона 95-105 Н, выделенного на диаграмме зеленым цветом. Применение адаптивного алгоритма, представленного на диаграмме в виде линейного графика, позволяет сузить разброс значений, сконцентрировав более 95% продукции в целевом диапазоне.

Эффективность систем управления подтверждается показателями индекса воспроизводимости технологического процесса, которые составляют менее 1,0 для стандартной системы управления и более 1,67 для адаптивной системы.

Расчет по предложенному алгоритму показывает, что для компенсации скачка влажности с 5% до 6,5% требуется увеличение усилия прессования с 8 кН до 9,5 кН, что позволяет удерживать твердость таблетки в целевом диапазоне и снизить долю брака с 7% до ~2%.

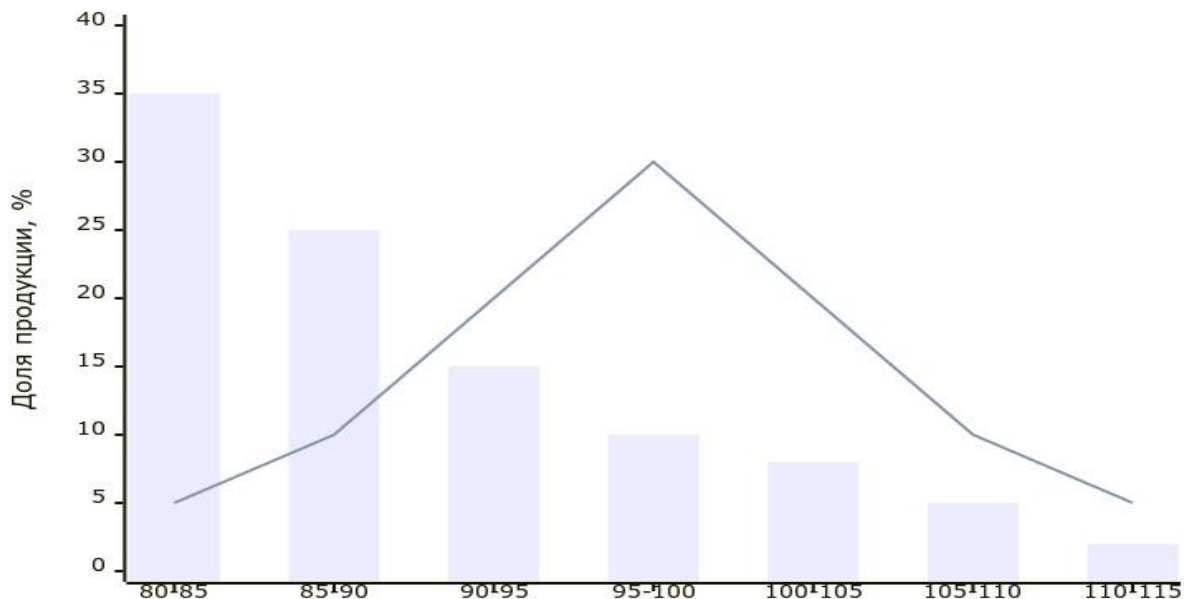


Рисунок 2 – Сравнение распределения твердости таблеток

Проверка расчетов подтвердила правильность полученных данных. Выявленная зависимость между изменением влажности и количеством брака демонстрирует необходимость совершенствования системы управления процессом и подтверждает эффективность предложенного адаптивного алгоритма.

Проведенный анализ отказоустойчивости системы продемонстрировал, что при сбое NIR-датчика алгоритм автоматически переходит в режим стабилизации по базовым параметрам (усилию прессования и скорости), что исключает полную остановку производства.

Таким образом теоретическое исследование подтвердило эффективность адаптивных алгоритмов управления процессом таблетирования чая. Разработанная математическая модель демонстрирует значительное снижение влияния колебаний влажности сырья на качество продукции. Расчеты показывают возможность достижения показателей воспроизводимости процесса, соответствующих современным стандартам качества.

Определены оптимальные параметры настройки системы, обеспечивающие устойчивую работу в различных производственных условиях. Полученные результаты создают основу для дальнейших прикладных исследований и практического внедрения адаптивных систем управления в производство таблетированного чая.

Литература

1. Краснов, А. Е. Цифровые системы управления в пищевой промышленности / А. Е. Краснов, Д. Л. Злобин, Л. А. Злобин. – Москва : Пищепромиздат, 2022. – 284 с.
2. И. А. Теория автоматического управления / И. А. Иванов, С. П. Еремочкин, М. И. Стальная. – Москва : Высшая школа, 2020. – 350 с.
3. Рачков, М. Ю. Автоматизация технологических процессов и производств : учебник / М. Ю. Рачков. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 320 с.

*Е.Л. Царегородцев, к.т.н., доц.; С.Н. Чугунов, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)
С.А. Абакумов, студ.*

(ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет»)

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ВЫЗОВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ГАЗОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ САНКЦИЙ ПРОТИВ РФ

Российская федерация является лидером по добыче газа среди остальных стран. И долгое время добытый газ предназначался на продажу на зарубежные рынки, за счет которой в казну государства приходит прибыль. Для доставки проданного газа зарубежному покупателю строятся газопроводы для транспортировки продукта с точки добычи через ступени обработки к конечной цели. Под обработкой газа понимается постоянная поддержка скорости, давления, допустимой степени примесей, за счет которой конечный продукт будет качественным [1]. Для поддержки состояния газа допустимым для продажи на газопровод стоят компрессорные станции, предназначенные для перекачки газа, очистки от примесей и повышения давления.

Газопроводы строятся для увеличения количества покупателей продукта, который имеет смысл для последнего и ведущего к получению прибыли с продажи. В качестве примера можно привести газопровод «Ямал-Европа» протяженностью около 2000 км маршрутом Торжок – Смоленск – Минск - Франкфурт-на-Одере, который включает в себя 14 компрессорных станций, 3 из которых на территории Российской Федерации, и ориентированный на западный рынок (рисунок 1).

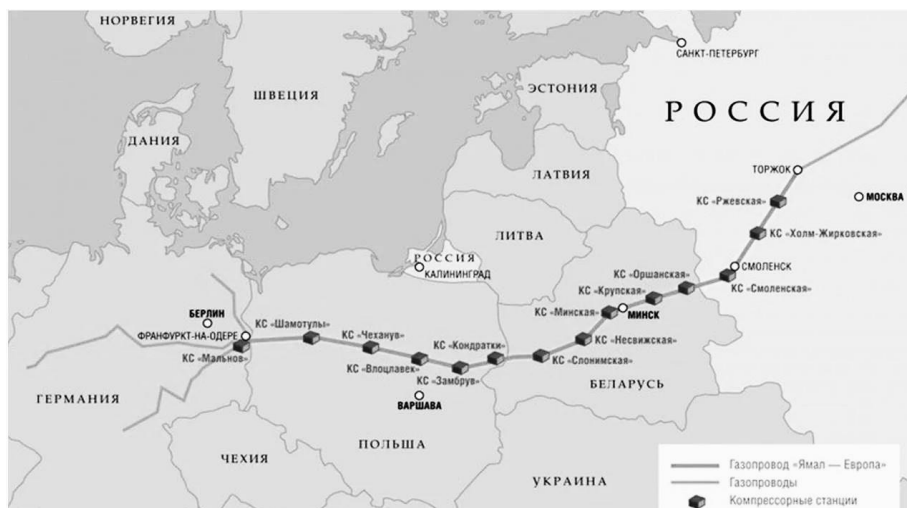


Рисунок 1 – Маршрут газопровода «Ямал-Европа»

Для дополнительной прибыли в казну газоперерабатывающая промышленность также была ориентирована на восточный рынок, в частности на Китай, в который по соглашению был проведен газопровод «Сила Сибири» с начальной точкой в Иркутске и конечной на границе с Китаем с дальнейшей отправкой газа туда (рисунок 2).



Рисунок 2 – Маршрут газопровода «Сила Сибири»

И вот в условиях экономических санкции по отношению к Российской Федерации и последовавшему отказу покупателей с западного рынка от продукта газопровод «Ямал-Европа» оказался бесперспективным, не приносящим прибыли, и как следствие, остановил свою работу.

Поэтому в качестве альтернативы на межгосударственном уровне между РФ и КНР в 2025 году было принято решение о строительстве нового ведущего в Китай газопровода «Сила Сибири 2», который будет строиться на основе последних достижений науки и техники в области газопереработки.

Из-за более длинного планируемого расстояния по сравнению с остановленным газопроводом «Ямал-Европа» около 7000 км потребуются строительство большего количества компрессорных станций, требуемых для поддержания давления и скорости движения газа по газопроводу.

Из-за данного фактора, а также требуемого современного оборудования для транспортировки газа в приемлемом состоянии через несколько климатических поясов, себестоимость газопровода повышается. И потому стоит задача себестоимость снизить и использовать оборудование, требуемое для отслеживания параметров газа и их последующей адаптации под окружающую среду.

Требуемым подходящим решением для последнего пункта представляется оснащение оборудования современными разработками в сфере микроэлектроники. Предлагается включение узла контроля параметров окружающей среды и газа.

Также для сокращения расходов с дальнейшим сохранением эффективности газопровода возможна оптимизация количества строящихся на длине компрессорных станций (рисунок 3) с допустимой по установленным нормам пропускной способностью [2]. Это также позволит минимизировать затраты на транспортировку и снизить среднюю температуру газа в участках и энергетические затрат на компримирование для дальнейшей транспортировки [3].

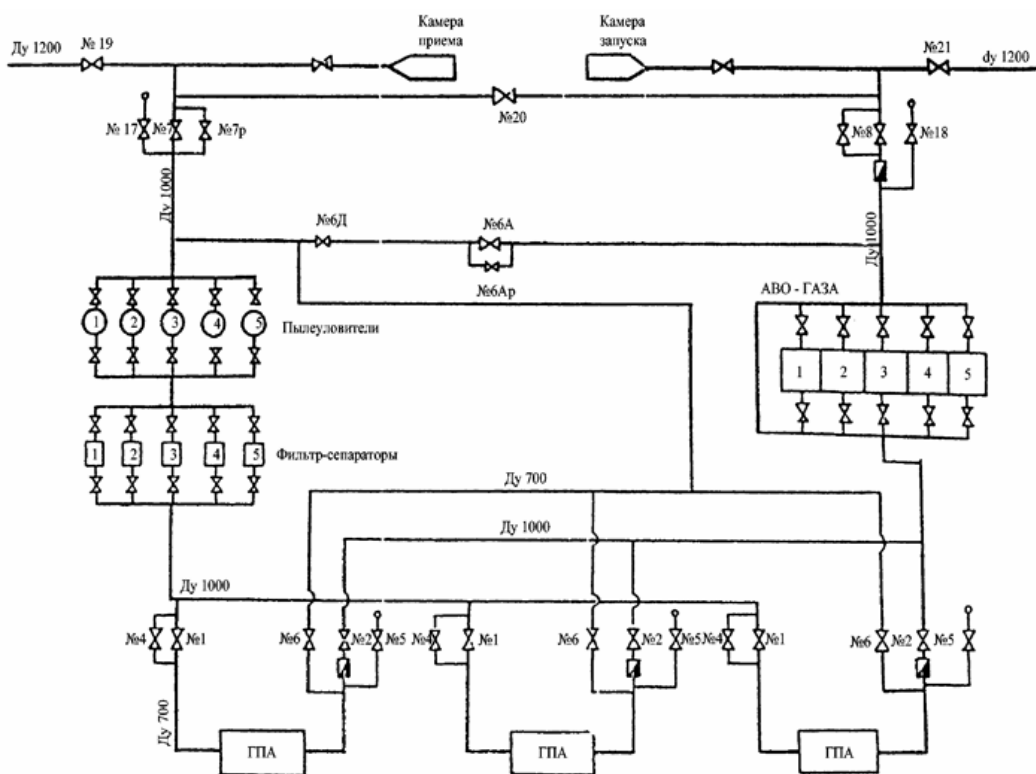


Рисунок 3 – Технологическая схема компрессорной станции

Также взамен строительства дополнительных компрессорных станций возможен вариант увеличения количества газоперекачивающих агрегатов с учетом предполагаемой общей мощности и установки оптимального давления [4]. Это позволит оптимизировать экономические затраты.

Литература

1. Салюков В.В., Харионовский В.В. Магистральные газопроводы. Диагностика и управление техническим состоянием. М.: Недра, 2016. 213 с.
2. Калинин А.Ф. Эффективность и регулирование режимов работы систем трубопроводного транспорта природный газов. – М.: МПА-Пресс, 2004. -168 с.
3. Коршак А.А. Компрессорные станции магистральных газопроводов – СПб, 2012. – 83 с.
4. Демчук В. Ю., Доронин М. С. Газораспределительные системы: возможности повышения энергетической эффективности // Инженерные системы. АВОК - Северо-Запад. - 2015. - Вып. № 2. - С. 60-64.

*Е.Л. Царегородцев, к.т.н., доцент; С.Н. Чугунов, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)
А.А. Байкузова, студ.*

(ФГБОУ ВО Смоленский государственный университет)

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

С учетом современного состояния науки и техники, системы автоматизированного проектирования и автоматики интерес вызывает разработка и внедрение аппаратуры мониторинга, обеспечивающей непрерывный поток точных данных о состоянии окружающей среды в режиме реального времени. Такой подход, направленный на переход от эпизодических наблюдений к системному

отслеживанию изменений, представляет собой ключевую задачу в контексте обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития.

Для создания модели использовались современные системы автоматизированного проектирования (САПР), в частности, среда проектирования AltiumDesigner, в сочетании с микроконтроллерной платформой Arduino. Такой технологический подход позволяет реализовать комплексное решение - от проектирования высокоточной печатной платы с сенсорными модулями до разработки программного обеспечения для сбора и первичной обработки данных.

AltiumDesigner – это профессиональная САПР электронных устройств, предназначенная для комплексной разработки печатных плат. В отличие от более простых инструментов, она предоставляет инженерам сквозной workflow: от создания принципиальных схем и разводки печатных плат до подготовки производственных файлов и 3D-моделирования готового устройства [1].

Arduino – это открытая аппаратно-программная платформа для быстрой разработки электронных проектов и прототипирования, основанная на простых в использовании аппаратных (платы) и программных (среда разработки) компонентах. В отличие от профессиональных промышленных контроллеров, Arduino ориентирована на доступность, низкий порог входа и активное сообщество пользователей [2].

В интересах темы исследования была разработана принципиальная схема для ее возможного применения в общей системе мониторинга параметров окружающей среды (рисунки 1-2).

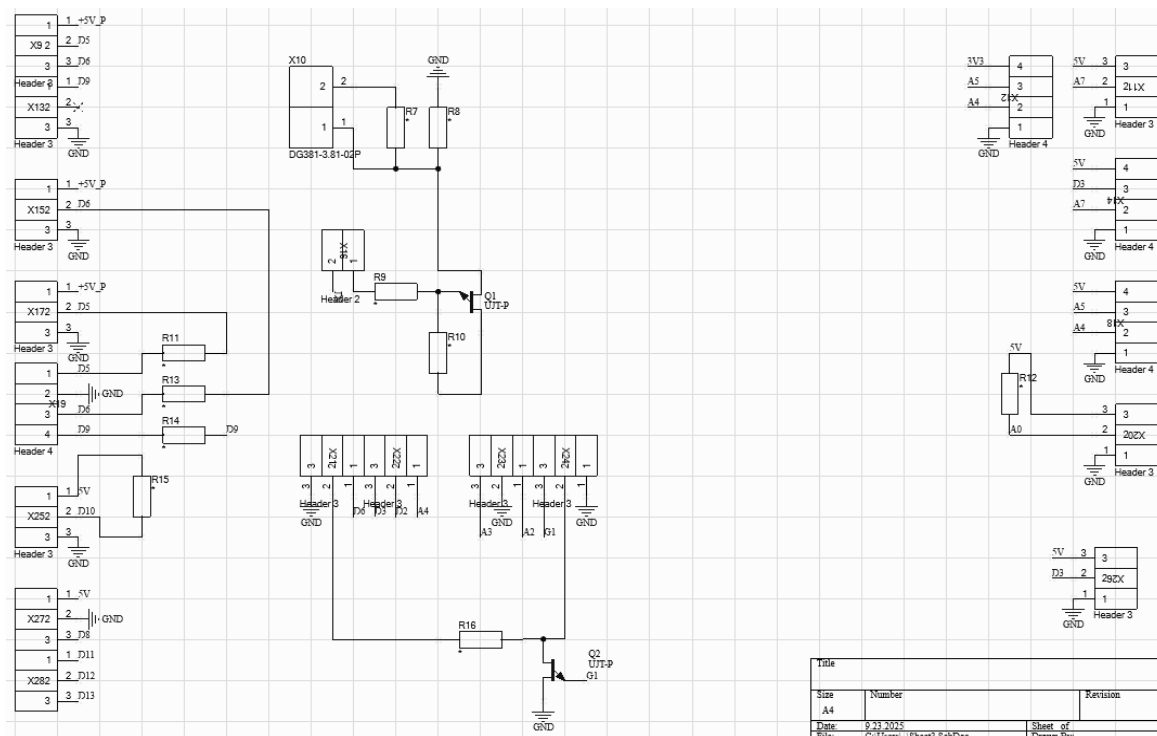


Рисунок 1 – Принципиальная схема материнской платы

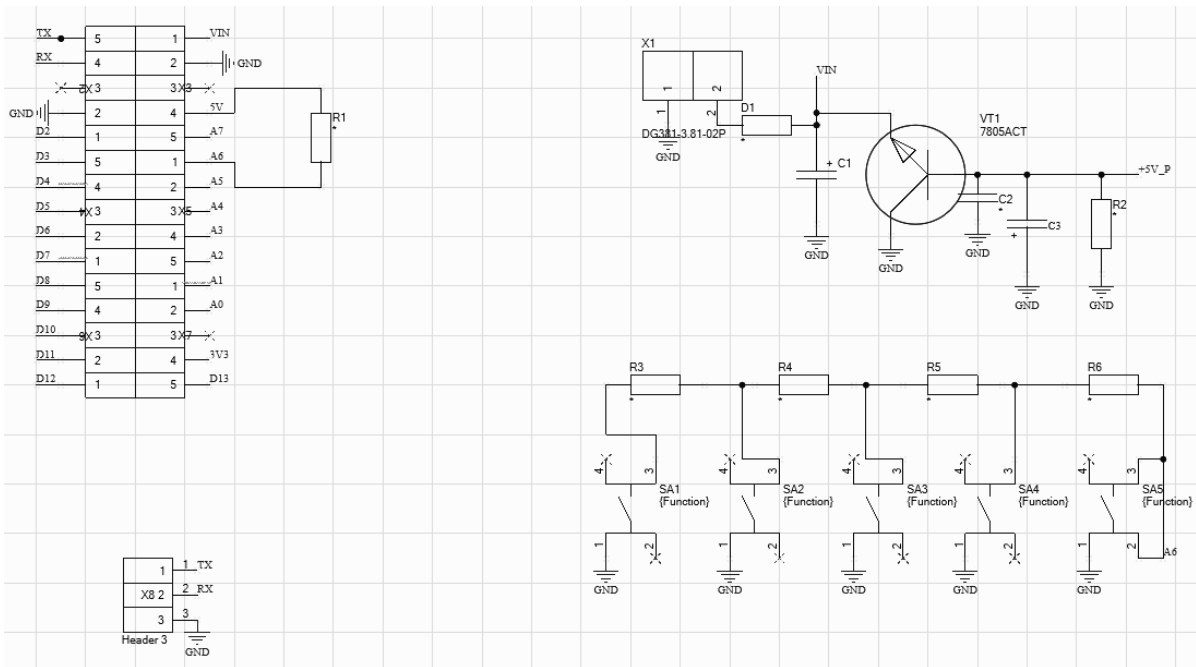


Рисунок 2 – Принципиальная схема элементов платы расширения

На основе разработанной принципиальной схемы с помощью современного САПР получена 3D-модель, представленная на рисунке 3.

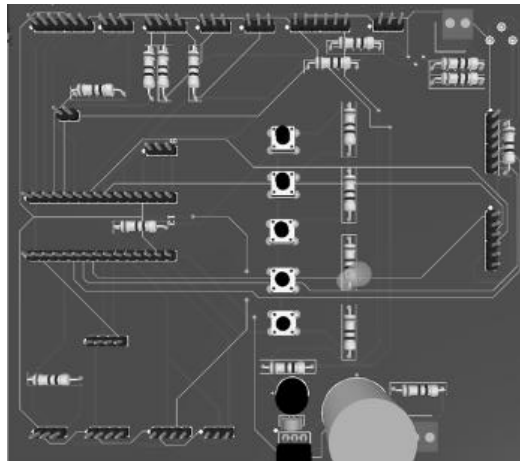


Рисунок 3 – 3D-модель платы

Выполнена разводка дорожек в соответствии с логикой работы принципиальной схемы (рисунки 4-5).

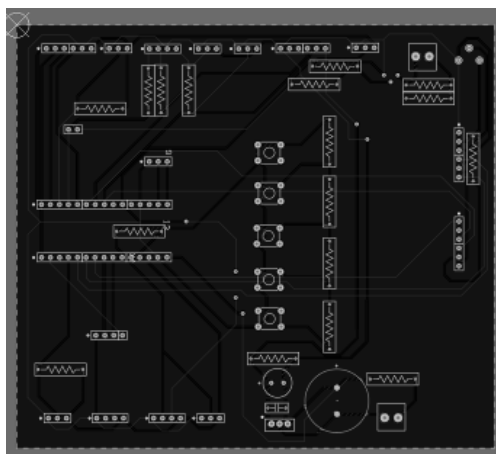


Рисунок 4 – Результаты разводки дорожек печатной платы (верхняя часть)

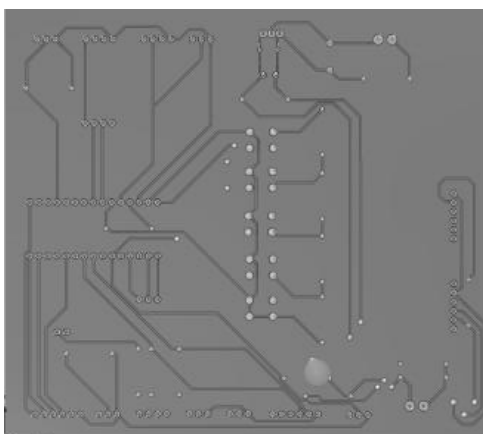


Рисунок 5 – Результаты разводки дорожек печатной платы (нижняя часть)

На основании полученных документов с помощью САПР, необходимых для производства печатной платы, получен лабораторный макет. Проведенные испытания показали его работоспособность и возможность оценки параметров окружающей среды в реальном масштабе времени (рисунок 6).

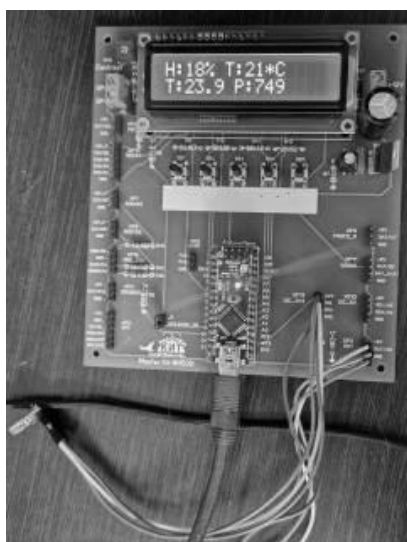


Рисунок 6 – Рабочий лабораторный макет оценки параметров окружающей среды (влажность, атмосферное давление, температура)

По замыслу авторов публикации алгоритм работы для программного кода платы Arduino не приводился и находится на стадии доработки.

Литература

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. – 4-е изд. – М.: Мир, 1993. – 704 с.
2. Мартин Р. Чистый код: создание, анализ и рефакторинг. – СПб.: Питер, 2021. – 464 с.

*А.А. Черненкова, асп.; О.Н. Румянцева, к.т.н., доцент
(Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург)*

ВЛИЯНИЕ ЗЕЛЕНИ ПЕТРУШКИ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАПИТКА

Дефицит биологически активных веществ наблюдается во многих регионах земного шара. В настоящее время проблема сместилась из плоскости абсолютной доступности продуктов в область структурных дисбалансов рациона и качества питания.

В современных условиях наблюдается устойчивый рост потребительского спроса на продукты функционального назначения. Функциональные продукты – это новые продукты, состав которых подобран таким образом, чтобы они содержали вещества или живые микроорганизмы, которые могут укреплять здоровье или предотвращать заболевания, причём в безопасной и достаточно высокой концентрации, чтобы обеспечить желаемый эффект [1].

В связи с уходом международных брендов с рынка открываются возможности для локальных производителей. Одним из перспективных направлений является использование местного растительного сырья с доказанными функциональными свойствами.

Целью исследования являлось определение оптимального соотношения яблок и листовой петрушки в напитке, обеспечивающего сбалансированные органолептические характеристики.

Яблоки являются ценным источником пектинов, органических кислот и полифенольных соединений, однако их витаминный состав относительно беден.

Петрушка (*Petroselinum crispum*), традиционно рассматриваемая как приправа, обладает значительным биохимическим потенциалом. Ее сок характеризуется высокой концентрацией калия (554 мг/100 г), кальция (138 мг/100 г) и витамина С (133 мг/100 г), содержание которого почти в 3 раза превышает показатель лимона. Научные исследования указывают на его мочегонный эффект, противовоспалительные свойства и наличие антиоксидантов с потенциальной антиканцерогенной активностью (апигенин, кверцетин) [2,3]. Однако интенсивный травянистый вкус и аромат петрушки значительно ограничивают ее применение в пищевых продуктах.

При добавлении в напиток петрушка становится функциональным компонентом – то есть веществом, обогащающим продукт сверх базовой питательной роли фруктов или ягод. В этом качестве она способствует достижению следующих целей:

1. Обогащение биоактивными соединениями – её флавоноиды, фенольные кислоты и витамины увеличивают антиоксидантный потенциал напитка.

2. Снижение гликемической нагрузки напитка за счёт добавления пищевой клетчатки и понижения доли легкоусвояемых углеводов.

На базе кафедры «Технологические машины и оборудование» филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске были проведена серия опытов на разработку рецептуры функционального напитка.

Яблоки, очищенные от сердцевины, и листовую петрушку подвергали гомогенизации с добавлением питьевой воды. Было приготовлено 5 вариантов смесей с различным соотношением яблока и петрушки (таблица 1).

Таблица 1 – Схема опыта для оценки влияния концентрации веществ

<i>разца</i> <i>Наименование сырья</i>	<i>№ об-</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Яблоко «Гренни Смит»</i>		<i>50%</i>	<i>55%</i>	<i>52%</i>	<i>47%</i>	<i>45%</i>
<i>Петрушка обыкновенная листовая</i>		<i>10%</i>	<i>5%</i>	<i>8%</i>	<i>13%</i>	<i>15%</i>
<i>Вода</i>		<i>40%</i>	<i>40%</i>	<i>40%</i>	<i>40%</i>	<i>40%</i>

Для оценки органолептических свойств напитка по 6 показателям было проведено исследование с участниками фокусной группы (рисунок 1).

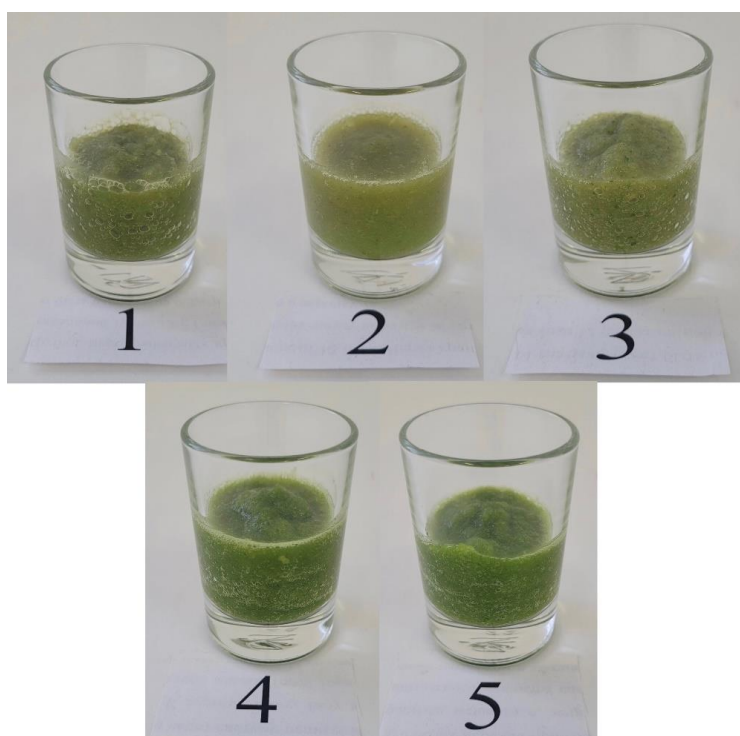


Рисунок 1 – Результаты эксперимента по *различному соотношению яблока и петрушки*

Результаты органолептической оценки показали (рисунок 2), что образец №3 получил наивысшие оценки по вкусу и общему впечатлению. Дальнейшее

увеличение доли петрушки приводило к появлению выраженной горечи и чрезмерно интенсивного травянистого аромата, что негативно отражалось на потребительских свойствах продукта.

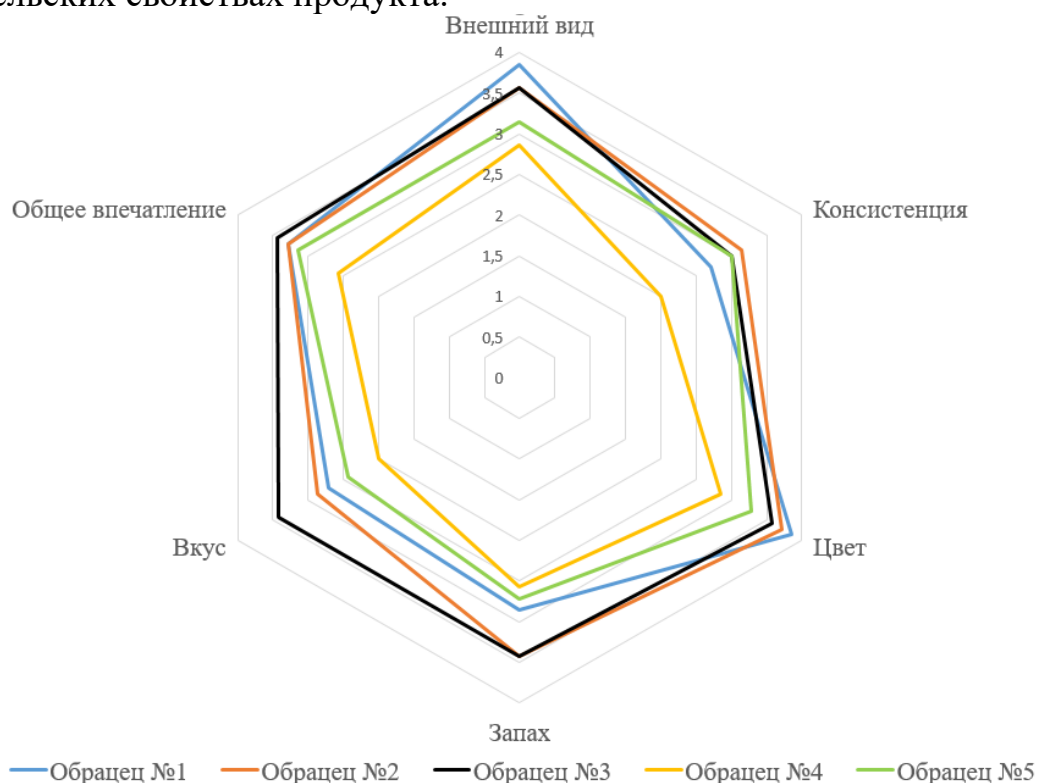


Рисунок 2 – Профилограмма результатов органолептического исследования

Проведенное исследование подтвердило актуальность и перспективность разработки функциональных напитков на основе местного растительного сырья. В условиях структурных дисбалансов в питании населения такие продукты позволяют целенаправленно обогащать рацион биологически активными веществами.

В результате органолептического анализа было выявлено оптимальное соотношение компонентов, обеспечивающее наилучшие сенсорные характеристики. Наибольшее предпочтение дегустаторов получил образец №3 с содержанием яблока 52% и петрушки 8%. Данная рецептура позволяет достичь баланса, при котором полезные свойства петрушки реализуются без негативного влияния ее доминирующего вкуса и аромата на общее впечатление.

Таким образом, разработанный напиток с оптимальным соотношением яблока и петрушки представляет собой практическое решение для создания конкурентоспособного локального продукта функционального назначения, отвечающего как требованиям укрепления здоровья, так и потребительским предпочтениям.

Литература

1. Temple NJ. A rational definition for functional foods: A perspective. *Front Nutr.* 2022 Sep 29;9:957516. doi: 10.3389/fnut.2022.957516. PMID: 36245478; PMCID: PMC9559824.
2. Молчанова А.В., Голубкина Н.А., Кошеваров А.А., Харченко В.А., Шевченко Ю.П. Биохимическая характеристика сортов петрушки различных разновидностей (*Petroselinum crispum* [Mill.] Nym. ex A.W. Hill.). *Овощи России.* 2019;(3):74-79. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-74-79>

3. Mara de Menezes Epifanio N, Rykiel Iglesias Cavalcanti L, Falcão Dos Santos K, Soares Coutinho Duarte P, Kachlicki P, Ożarowski M, Jorge Riger C, Siqueira de Almeida Chaves D. Chemical characterization and in vivo antioxidant activity of parsley (*Petroselinum crispum*) aqueous extract. *Food Funct.* 2020 Jun 24;11(6):5346-5356. doi: 10.1039/d0fo00484g. PMID: 32462155.

М.Э. Чирков, асп.

(Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМЕШАННОГО ХЛАДАГЕНТА ДЛЯ МАЛОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Малотоннажное производство сжиженного природного газа (далее – СПГ) с каждым годом развивается все активнее, как за рубежом (Китай, США), так и в России. Популяризация получения сжиженного природного газа вызвана следующими причинами:

- газоснабжение населенных пунктов. Именно малотоннажное производство СПГ решает проблему газификации удаленных поселков, городов, где прокладка магистрального газопровода либо невозможна – из-за сложности рельефа (скалистая местность), климатологии (мерзлые грунты), либо экономически невыгодна – например, поблизости отсутствуют действующие компрессорные станции, позволяющие поддерживать давление в магистральном газопроводе;

- развитие транспорта на газомоторном топливе. На данный момент в России используются следующие виды транспорта, работающие на сжиженном природном газе: водный (паромы «Маршал Рокоссовский», «Генерал Черняховский»; речной теплоход «Чайка СПГ»), сельскохозяйственный (комбайн КЗК-12А-1; трактор Ростсельмаш 2375), железнодорожный (магистральные газотурбовозы ГТ-1 и газотепловозы ТЭМ-19), автомобильный (тягач КАМАЗ-54901 NEO; городской автобус ЛиАЗ-5292 LNG);

- доступность малотоннажных технологий для локальных проектов – если строить огромный завод по производству СПГ для снабжения, например, небольшого автопарка нерентабельно и экономически нецелесообразно, то небольшой комплекс по сжижению может закрыть потребность в газомоторном топливе.

На данный момент в России активно используются следующие малотоннажные циклы:

- дроссельные – самые простые и дешевые, требующие низких энергозатрат, но и обладающие низкой производительностью;

- детандерные – обладают средними затратами, КПД, сложностью, гибкостью к составу;

- азотные – высокие капитальные затраты, сложные, однако обладают высокой производительностью.

На сегодняшний день использование в малотоннажных установках смешанного хладагента в России почти не встречается – кроме комплекса по сжижению природного газа «Сибирь-Энерго» [1], несмотря на то, что применение смешанного хладагента (далее – СХА) имеет ряд преимуществ:

- высокий коэффициент сжижения – 98-99%;
- за счет высокого КПД – низкие эксплуатационные расходы и максимальная энергоэффективность;
- высокая гибкость по отношению к природному газу – в зависимости от входных параметров сжижаемого природного газа (давление, температура, расход, состав) можно регулировать состав смешанного хладагента, тем самым повышая КПД установки сжижения [2].

Несмотря на то, что состав смешанного хладагента сильно варьируется и СХА, производимый различными компаниями, может количественно и качественно довольно значительно отличаться, выделяют следующие группы смешанного хладагента:

- двухкомпонентные смеси. Чаще всего встречается смесь метан + азот, такие смеси очень просты, надежны, однако обладают низкой эффективностью. Двухкомпонентные смеси используются в пилотных установках, где не требуется большое производство СПГ;

- трехкомпонентные, «легкие» смеси – на основе азота-метана-пропана. Такие смеси эффективны при сжижении «сухого», с повышенным содержанием метана природного газа (до 95%). Несмотря на то, что на этапе предварительного охлаждения данные смеси не так эффективны, как более тяжелые смеси, они являются гораздо менее пожароопасными, так как метан, пропан более летуче, чем изо-бутан или более тяжелые компоненты;

- четырёхкомпонентные смеси – в основном, состоящие из азота-метана-этана-пропана. В отличие от трехкомпонентных, данные смеси более эффективны на этапе предварительного охлаждения, так как этан позволяет сгладить кривую охлаждения, что повышает КПД установки сжижения природного газа;

- «тяжелые» смеси (пять и более компонентов) – включают в себя азот, метан, этан, пропан, изобутан. Эти смеси обладают наибольшей эффективностью, особенно при работе с «жирным» природным газом, который содержит большое количество этана и пропана, чтобы оптимизировать кривую охлаждения.

На взгляд автора, именно гибкость подбора смешанного хладагента является преимуществом для выбора данного способа производства сжиженного природного газа в малотоннажной промышленности России, так как позволяет решить следующие проблемы:

- различная климатология из-за широкой географии – нет необходимости менять и подстраивать оборудование под конкретный климат, если есть возможность скорректировать сам хладагент;

- отличия газовых месторождений по составу газа;

- утилизация попутного газа – компоненты попутного нефтяного газа – метан, этан, пропан, изобутан можно потенциально использовать в смешанном хладагенте.

Главными проблемами использования смешанного хладагента в малотоннажном производстве сжиженного природного газа остаются:

- сложность оптимизации – неоптимальность состава сильно снижает эффективность работы циклов сжижения;

- СХА, если говорить про наибольшую эффективность, должен корректироваться при изменении состава природного газа на входе, что является довольно трудоемким процессом,

- на данный момент в России нет достаточного количества специалистов, которые могут заниматься расчетами, оптимизацией и настройкой смешанного хладагента, что замедляет скорость внедрения СХА в российскую газовую промышленность,

- СХА более пожароопасен, если сравнивать его с азотом, так как содержит легковоспламеняющиеся компоненты.

Несмотря на перечисленные недостатки, системы сжижения на смешанном хладагенте приобретают все большую популярность. Основные направления исследований СХА, такие как переход к адаптивным системам подбора состава хладагента, цифровизации и машинному обучению, создание виртуальных копий и моделей СХА для проведения расчетов, позволят сделать из смешанного хладагента универсальный способ сжижения природного газа в малотоннажных установках.

Литература

1. Акулов С. В., Синицина Ю. В., Кузнецов Е. А., Курочкин А. В., Чиркова А. Г., Руднев Н. А. Оптимизация технико-экономических параметров процесса сжижения природного газа на малотоннажной установке со смешанным хладагентом // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2023. № 3. С. 125–157.

2. Алпатов Д.А., Мельникова Д.А., Ермолина Л.В. Преимущества применения технологий сжижения природного газа на основе смешанных хладагентов в России // Эксперт: теория и практика. 2023. № 4 (23). С. 182-187.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 5 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ОПТОТЕХНИКА

1. *Аверкиев В.В., Котова С.С., Смолин В.А. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА МОНИТОРНОГО РАСШИРИТЕЛЯ С СИСТЕМОЙ ОПОВЕЩЕНИЯ О ПЕРЕРЫВЕ* 3
2. *Амелин С.А., Амелина М.А. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ИНТЕРФЕЙСА ARINC-429* 6
3. *Амелин С.А., Баранова М.С. АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНФРАКРАСНОГО ПУЛЬТА ПРОЕКТОРА* 11
4. *Астахов С.П., Астахова Т.С. СПОСОБ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ* 16
5. *Астахов С.П., Астахова Т.С. СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ЧАСТИ ПАССИВНОГО ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ ДВИЖУЩИХСЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ* 19
6. *Астахов С.П., Сапроненкова Е.А., Соболевский В.Г. АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНОВ ОПТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА* 23
7. *Быстричкина В.М., Кусова Д.А., Жбанова В.Л. СРАВНЕНИЕ ОРТОСКОПИЧЕСКОГО ОКУЛЯРА АББЕ И ОКУЛЯРА ПЛЕССЛА* 25
8. *Гафуров В.Р., Жбанова В.Л. СОЗДАНИЕ КОРОБА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЦВЕТА РАЗНОЦВЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ* 29
9. *Ковалева М.С., Макарова Е.А. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ МОДУЛЕЙ СТЕНДА «ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ»* 33
10. *Кондратьев О.С., Субботин Н.В., Смолин В.А. ОБЗОР И СОЗДАНИЕ БЛОКА ПИТАНИЯ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ЛАБОРАТОРИИ* 38
11. *Котова С.С., Аверкиев В.В., Смолин В.А. СОЛАРОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОДЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ-ОБСКУРЫ* 40
12. *Котова С.С., Смолин В.А. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ШУМОВ ЦИФРОВОЙ ФОТОКАМЕРЫ* 43
13. *Котова С.С., Смолин В.А. ОПТИКО-ЛАЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ 3D- КОНТРОЛЯ И КОРРЕКЦИИ ОБЪЕКТА* 46
14. *Мальшикин В.В., Бехтер С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЕМЯН ОВСА МЕТОДОМ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ* 48
15. *Мелешко И.И., Суханов А.Н., Рассказа Д.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ В МЕДИЦИНСКОМ ОБОРУДОВАНИИ* 51

16.	<i>Образцов С.А., Туматов И.В. РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА УСТРОЙСТВА ПРОЕКЦИИ ИНФОРМАЦИИ БОРТОВОГО КОМПЬЮТЕРА НА ЛОБОВОЕ СТЕКЛО АВТОМОБИЛЯ</i>	55
17.	<i>Петрова Ю.С., Амелина М.А. ПОРТАТИВНЫЙ КАЛИБРАТОР-ПОВЕРИТЕЛЬ ТОКОВОЙ ПЕТЛИ СРЕДСТВ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ</i>	58
18.	<i>Петрова Ю.С., Амелина М.А. ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ГЕНЕРАТОР-ФОРМИРОВАТЕЛЬ ТЕСТОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ НАЛАДКИ АСУ ТП</i>	63
19.	<i>Петрова Ю.С., Амелина М.А. УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ</i>	66
20.	<i>Поликарпов А.А., Субботин Н.В. ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И МОНИТОРИНГА</i>	70
21.	<i>Поляков Р.В., Якименко И.В. ВЛИЯНИЕ СЕГМЕНТАЦИИ ВИДЕОПОТОКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕЙРОСЕТЕВОГО ОБНАРУЖЕНИЯ БПЛА НА СЛОЖНОМ ФОНЕ</i>	72
22.	<i>Пучков А.В., Смолин В.А. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА МНОГОКАНАЛЬНОГО СБОРА ДАННЫХ НА ПЛИС</i>	76
23.	<i>Рупишис Д.А., Рассказа Д.С. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПОЛУПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ЭКВАЛАЙЗЕРА ДЛЯ ГИТАРНОГО ПЕДАЛБОРДА</i>	81
24.	<i>Смирнов С.М., Малышкин В.В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ СВЕТОФИЛЬТРОВ ДЛЯ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИЕМНИКОВ</i>	84
25.	<i>Строев Н.Н., Горошко А.Ю., Ковалева Д.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И ГРАФЕНА В ГИБКОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ</i>	87
26.	<i>Строев Н.Н., Игнатенков Г.Ю. МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ В АВТОПИЛОТАХ БПЛА: ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ</i>	91
27.	<i>Строев Н.Н., Игнатенков Г.Ю. ВАЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ ДАТЧИКОВ В АВТОПИЛОТЕ</i>	94
28.	<i>Строев Н.Н., Сапроненкова Е.А. АКТУАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ В ХОДЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ РАБОТЫ С ЭЛЕКТРОННЫМИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ</i>	96
29.	<i>Строев Н.Н., Ковалева Д.А., Горошко А.Ю. МЕТОД ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ</i>	101
30.	<i>Строев Н.Н. МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ КООРДИНАТ ОБЪЕКТА В ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ИЗМЕРЕНИЙ</i>	106
31.	<i>Сулимский Е.С., Кравченков Н.Д. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КВАЗИ-</i>	111

- ОПТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВОВ НА ОСНОВЕ ДВУХЛИНЗОВОЙ СИСТЕМЫ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН*
32. Сулимский Е.С., Кравченко Н.Д. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ДВУХЛИНЗОВЫХ КВАЗИОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ 115
33. Сулимский Е.С., Кравченко Н.Д. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИОСИСТЕМ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА 118
34. Сулимский Е.С., Маслов К.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КВАЗИОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА 121
35. Суханов А.Н., Мелешко И.И., Жбанова В.Л. ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ОБЩЕЖИТИЙ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА 125
36. Филатов Д.А., Амелин С.А. ПРИМЕНЕНИЕ ДРАЙВЕРОВ СВЕТОДИОДОВ ДЛЯ ФИТОЛАМП 128
37. Хроменков З.А., Малышкин В.В. ОТРАЖАЮЩИЕ РЕФЛЕКТОРЫ ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 133
38. Булыженков А.Д., Рассказа Д.С. АЛГОРИТМ ИНТЕГРАЦИИ МИКРОМОДУЛЯ TPS82130 В РАЗРАБАТЫВАЕМЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА 138

СЕКЦИЯ 6

ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1. Блинов А.О., Грищенко Д.С. ТЯЖЕЛАЯ НЕФТЬ – РЕСУРС БУДУЩЕГО: ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВЫЗОВА ДО ГЛОБАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ 144
2. Блинов А.О., Лапоух П.О. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРООЧИСТКИ НА ГЛУБИНУ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ ДИЗЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ 147
3. Блинов А.О., Лапоух П.О. ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К СНИЖЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ В ДИЗЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЯХ НЕФТИ 149
4. Гончаров М.В., Осипов Д.П. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАСЛА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ПОЛУКОКСОВАНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ 153
5. Гончаров М.В., Осипов Д.П. ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРЮЧЕГО СЛАНЦА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ БАЗОВЫХ МАСЕЛ 156
6. Денисов В.Н., Смирнова Е.Е. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАМЕСА ТЕСТА 158
7. Денисов В.Н., Смирнова Е.Е. ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ХЛЕБОПЕКАРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ: 162

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

8. *Евсюков А.Г., Блинов А.О. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САХОРОЗАМЕНИТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ НАПИТКОВ* 165
9. *Клименкова В.Н., Новикова М.А. ОСОБЕННОСТИ УПАКОВКИ И ХРАНЕНИЯ ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ* 168
10. *Клименкова В.Н., Новикова М.А. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ* 171
11. *Колесников К.Ю., Короткова Г.В. ПЕРСПЕКТИВЫ СИНТЕТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ АЛМАЗОВ* 176
12. *Короткова Г.В., Базуев А.С. СРАВНЕНИЕ МЕТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА И ЭТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВНЫХ ДОБАВОК* 180
13. *Короткова Г.В., Штин-Соломин Л.Р. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТНОВКИ ЗАМЕДЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ* 184
14. *Макаренко Е.А., Блинов А.О. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАТУРАЛЬНЫХ ЗАГУСТИТЕЛЕЙ И СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ТЕХНОЛОГИИ КОНФЕТ ИЗ СУХОФРУКТОВ* 185
15. *Макаренко Е.А., Блинов А.О. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КОНФЕТ ИЗ СУХОФРУКТОВ И ТРАДИЦИОННЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ* 187
16. *Маслова К.С., Одаренко М.О. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ* 190
17. *Самусева П.Е., Новикова М.А. ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОСОЛА В ПРОИЗВОДСТВЕ МЯСНЫХ ДЕЛИКАТЕСОВ* 193
18. *Самусева П.Е., Новикова М.А. СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КАРБОНАДА: ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА И ЭКСПЛУАТАЦИИ* 196
19. *Соболев Р.О., Новикова М.А. БЕЗОТХОДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТВОРОГА: ПЕРЕРАБОТКА СЫВОРОТКИ – ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ* 198
20. *Соболев Р.О., Новикова М.А. РОЛЬ ЗАКВАСОЧНЫХ КУЛЬТУР В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТВОРОГА, ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ГОТОВОГО ПРОДУКТА* 201
21. *Царегородцев Е.Л., Терехов А.С. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТАБЛЕТИРОВАНИЯ ЧАЯ* 204
22. *Царегородцев Е.Л., Чугунов С.Н., Абакумов С.А. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ВЫЗОВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ГАЗОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ САНКЦИЙ ПРОТИВ РФ* 207
23. *Царегородцев Е.Л., Чугунов С.Н., Байкузова А.А. МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ* 209
24. *Черненко А.А., Румянцева О.Н. ВЛИЯНИЕ ЗЕЛЕНИ ПЕТРУШКИ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-*

ГО НАПИТКА

25. *Чирков М.Э. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМЕШАННОГО ХЛАДАГЕНТА
ДЛЯ МАЛОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА СЖИЖЕННОГО
ПРИРОДНОГО ГАЗА* 216

Научное издание

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2025
(микроэлектроника и оптотехника, технологии и оборудование в промышленности)
Сб. трудов XV Межд. науч.-техн. конф.
Сборник трудов в 3-х томах
Том 2

Подписано в печать 19.11.2025 г.
Формат 60x84¹/₁₆ . Тираж 100 экз. Печ. л. 13,6

Издательство «Универсум»
Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-557-5

