

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА**
(микроэлектроника и оплотехника)

**XXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ**

15 апреля 2026 г.

СБОРНИК ТРУДОВ
ТОМ 2

СЕКЦИЯ 4

СМОЛЕНСК
2026

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

Р е ц е н з е н т ы :
Доктор технических наук, профессор Якименко И.В.

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И
ЭКОНОМИКА** (микроэлектроника и оплотехника). Сб. трудов XXIII-ой Межд. науч.-техн. конф.
студентов и аспирантов. В 3 т. Т 2. – 2026. – 318 с.

ISBN 978-5-91412-567-4

В сборнике публикуются труды участников Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика», в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области микроэлектроники и оплотехники.

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

ISBN 978-5-91412-567-4

©Авторы
©«Универсум»
© филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2026

СЕКЦИЯ 4 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ОПТОТЕХНИКА

*В.В. Аверкиев, студ.; рук. В.А. Смолин, доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА МОНИТОРНОГО РАСШИРИТЕЛЯ С СИСТЕМОЙ ОПОВЕЩЕНИЯ О ПЕРЕРЫВЕ

В статье рассматривается принципиальная схема устройства «Мониторный расширитель с системой оповещения о перерыве», предназначенное для управления адаптивной светодиодной подсветкой и контроля времени работы пользователя за электронно-вычислительной машиной. Устройство позволяет формировать динамическую подсветку, синхронизированную с изображением на экране, а также реализует систему оповещения о необходимости сделать перерыв при длительной работе.

Длительная работа за компьютером без перерывов приводит к увеличению зрительной нагрузки и снижению работоспособности пользователя. Современные системы подсветки, такие как Philips Ambilight и Govee Immersion Kit (рис. 1), обеспечивают динамическое освещение, однако не выполняют функции контроля времени работы и предупреждения пользователя о необходимости отдыха.



Рисунок 1 – Устройства-аналоги

Для решения данной задачи была разработана принципиальная схема устройства, объединяющая функции адаптивной подсветки и системы

оповещения (рис. 2). Разработка принципиальной схемы выполнялась на основе ранее разработанных и проанализированных структурной и функциональной схем, которые определили архитектуру устройства, состав его основных блоков и логику их взаимодействия [1-2].

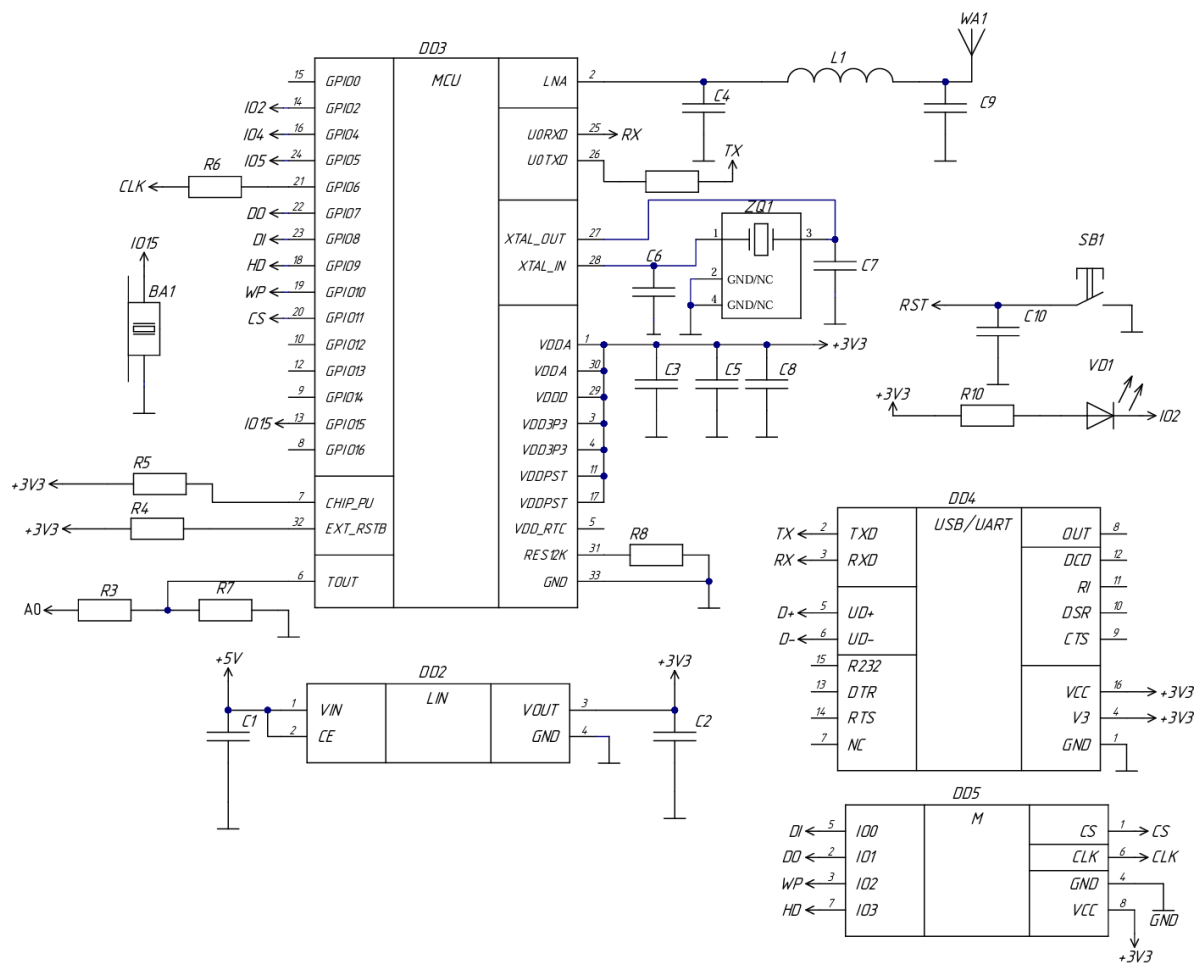


Рисунок 2 – Принципиальная схема микроконтроллера

Основу устройства составляет микроконтроллерный модуль Wemos D1 mini, построенный на базе ESP8266. Он выполняет сбор информации с подключенных датчиков, обработку данных и формирование управляющих сигналов для светодиодной ленты WS2812B.

Для программирования и отладки используется преобразователь интерфейса USB/UART CH340, обеспечивающий обмен данными между микроконтроллером и персональным компьютером через разъём USB Type-C.

Питание устройства осуществляется от источника напряжения 5 В. Для питания микроконтроллера и периферийных модулей используется стабилизатор напряжения, формирующий уровень 3,3 В.

Микроконтроллер ESP8266 имеет ограниченное количество интерфейсов I²C, поэтому для подключения нескольких однотипных датчиков используется расширитель портов TCA9548A (рис. 3).

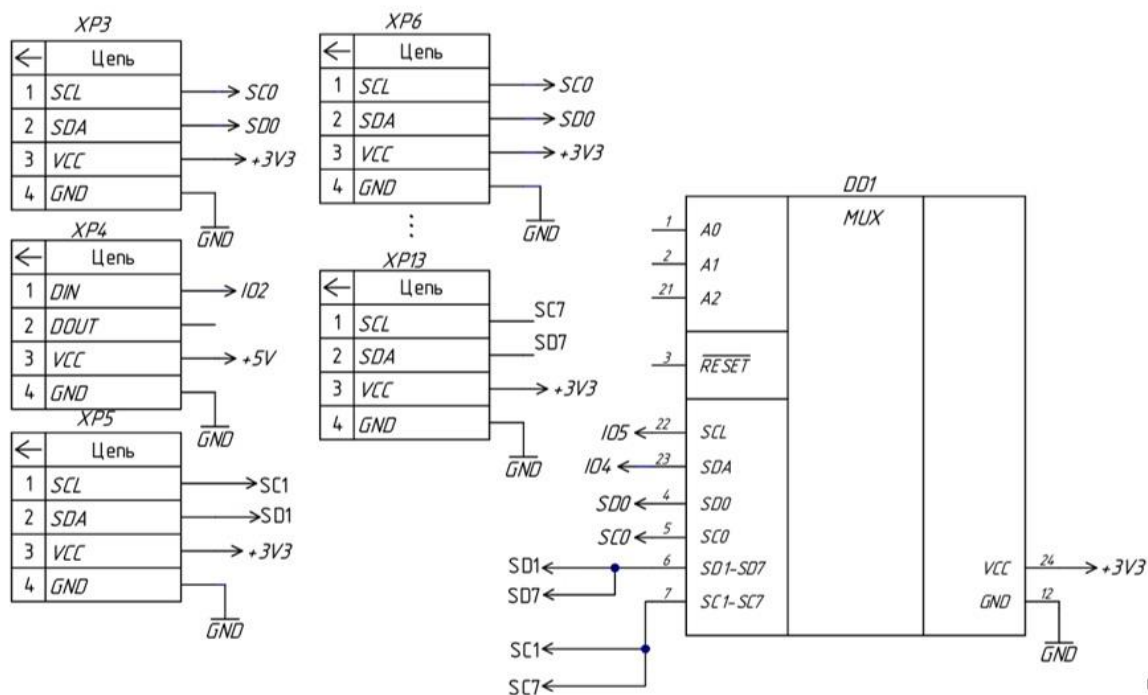


Рисунок 3 – Принципиальная схема расширителя портов, датчиков и RGB-ленты

Расширитель портов позволяет поочередно активировать до восьми независимых каналов I^2C , что обеспечивает подключение нескольких датчиков с одинаковым адресом без конфликтов на шине.

В качестве датчиков цвета используются модули VEMML6040, которые устанавливаются по периметру лицевой части монитора (рис. 4). Каждый датчик контролирует цвет изображения в определенной зоне экрана (рис. 4) и передает данные микроконтроллеру. На основе полученных значений компонентов R, G и B формируется адаптивная подсветка соответствующих участков светодиодной ленты.

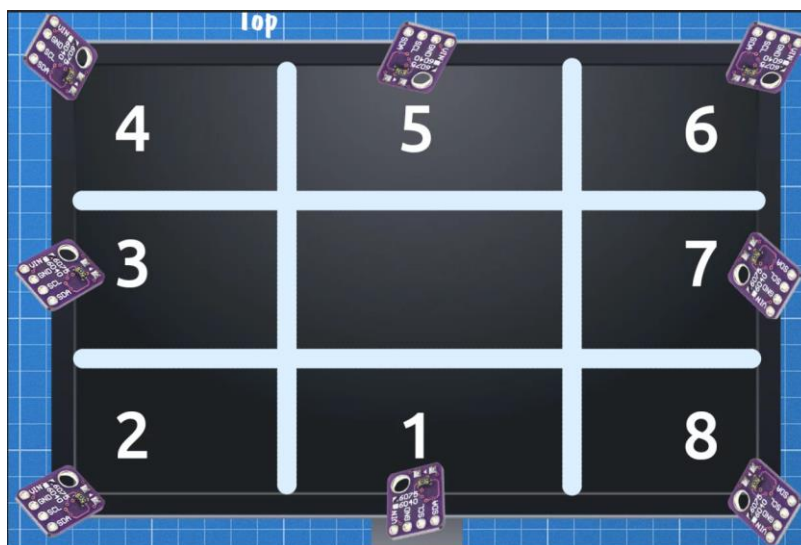


Рисунок 4 – Зоны экрана датчиков цвета

Для определения присутствия пользователя используется инфракрасный датчик AMG8833, фиксирующий тепловое излучение человека перед монитором. Это позволяет запускать отсчёт времени работы только при реальном присутствии пользователя.

Датчик освещённости BH1750 измеряет уровень внешнего освещения. Полученные данные используются для автоматической регулировки яркости светодиодной подсветки.

В качестве исполнительного устройства используется адресная светодиодная лента WS2812B, подключенная к выводу GPIO2 микроконтроллера. Управление каждым светодиодом осуществляется индивидуально, что позволяет формировать динамические световые эффекты.

Для звукового оповещения о необходимости сделать перерыв применяется звукоизлучатель KY-006, подключенный к выводу GPIO15.

Подключение датчиков и модулей выполняется через разъёмы (рис. 5). Передача данных осуществляется по интерфейсу I²C с использованием линий SDA и SCL, подключённых к выводам GPIO4 и GPIO5 микроконтроллера.

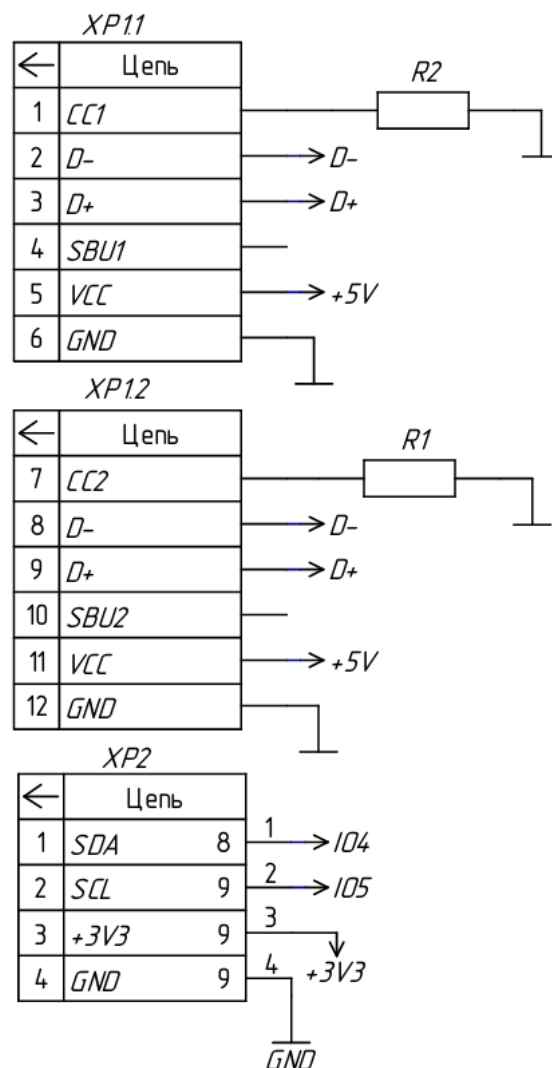


Рисунок 5 – Принципиальная схема разъемов

Для оповещения пользователя о необходимости сделать перерыв, в устройстве установлены светодиодная адресная RGB-лента и звукоизлучатель. RGB-лента начинает мигать, а звукоизлучатель издает длительный писк. Для получения цвета монитора в схеме предусмотрена установка восьми датчиков цвета VEML6040. Для определения, работает ли человек за компьютером используется датчик присутствия AMG8833. Датчик освещённости BH1750 служит для автоматической регулировки яркости светодиодной адресной RGB-ленты. Так как все датчики цвета имеют один и тот же адрес, в схему добавлен мультиплексор TCA9548A. Он поочередно осуществляет связь микроконтроллера с одним из датчиков цвета. Это позволяет избежать возникновения конфликта с адресацией.

Применение таких электронных компонентов позволяет считать данные цвета монитора, чтобы при помощи RGB-ленты обеспечить расширение подсветки монитора, а также предупредить пользователя о слишком долгом пребывании за компьютером и о необходимости сделать перерыв.

Литература

1. Смолин В.А., Аверкиев В.В. Структурная схема монитормного 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. Смолин В.А., Аверкиев В.В., Котова С.С. Функциональная схема монитормного расширителя с системой оповещения о перерыве // XV Международной научно-технической конференции «ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ - 2025» - Сборник трудов,19-20 ноября 2025 года, Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске Смоленск: Универсум – 2025 - том2. - С. 3-5 /.

*А.С. Агеев, студ.; рук. М.С. Ковалева, асс.
филлиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ИНТЕГРАЦИЯ МЕМРИСТОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМУ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОДСВЕТКИ ДИСПЛЕЯ

Несмотря на развитие технологий локального затемнения, применяемые системы динамической подсветки имеют ряд ограничений, значительно влияющих на качество изображения. К ним относятся ореолы вокруг ярких объектов, избыточная засветка тёмных областей и потеря деталей в высококонтрастных сценах. Дополнительной проблемой является ограниченное число зон подсветки, существенно уступающее количеству пикселей, а также нестабильность характеристик светодиодов [1]. Приведенные ограничения делают актуальным поиск новых архитектур управления подсветкой. Одним из перспективных направлений является использование мемристоров [2,3].

В статье представлен краткий обзор технологии мемристора, классификация существующих типов и анализ их свойств с целью определить применимость для управления динамической подсветкой.

Мемристор (рис. 1) – это элемент с управляемым сопротивлением, зависящим от истории протекания тока. Его ключевое свойство заключается в способности сохранять установленное состояние без питания, что позволяет

использовать его одновременно как элемент памяти и аналоговый регулятор. [2]. Конструктивно мемристор включает два электрода и тонкий функциональный слой, в котором под действием электрического поля происходят изменения проводимости. В одной из классических реализаций используется оксид металла с неоднородным распределением дефектов, обеспечивающий управляемое изменение сопротивления [2, 3].

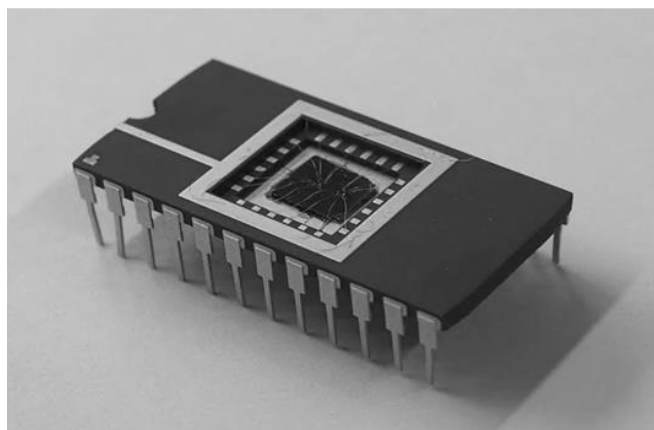


Рисунок 1 – Мемристор

Резистивное переключение может реализовываться за счёт формирования проводящих каналов в объёме материала либо за счёт изменения барьерных свойств на границе электрод–оксид. Конкретный механизм определяется используемыми материалами и конструкцией устройства. [2,3].

Принципиальным отличием мемристора является возможность работы в непрерывном диапазоне значений сопротивления, что позволяет реализовать многоуровневое управление [3]. Это свойство делает их перспективными для задач, связанных с аналоговой регулировкой, включая управление яркостью.

Мемристоры характеризуются нелинейной вольт-амперной характеристикой с гистерезисом (рис. 2), отражающим зависимость текущего состояния от предыстории воздействия. При увеличении частоты источника сигнала влияние гистерезиса уменьшается вследствие ограниченной скорости переноса носителей (ионов) [3].

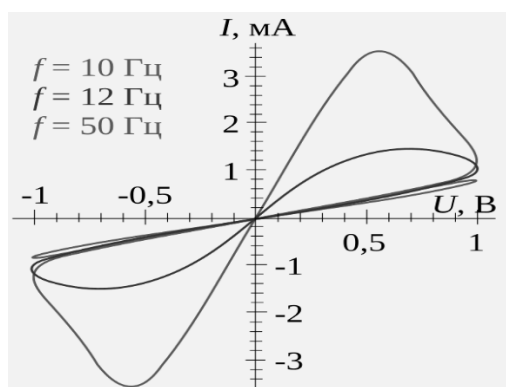


Рисунок 2 – Зависимость ВАХ мемристора от частоты синусоидального сигнала

Среди существующих типов мемристоров можно выделить несколько основных, различающиеся используемыми материалами и механизмом переключения [3]:

- оксидные мемристоров с изменением валентности (*VCM*) основаны на миграции кислородных вакансий под действием электрического поля, отличаются совместимостью с КМОП-технологией и высокой скоростью [3];

- электрохимические мемристоров (*ECM*) характеризуются использованием образование металлических проводящих каналов, обеспечивая низкие рабочие напряжения, но уступая по стабильности;

- иемристоров на фазовом переходе (*PCM*) реализуют переключение за счёт изменения фазового состояния материала и обладают высокой стабильностью, однако требуют значительных энергозатрат [5];

- сегнетоэлектрические мемристоров (*FeMEM*). Основаны на переориентации сегнетоэлектрических доменов, изменяющей туннельное сопротивление структуры металл-сегнетоэлектрик-металл, отличаются низким энергопотреблением, но сложны в интеграции;

- оптоэлектронные и фотонные мемристоров. Отдельный класс устройств, где переключение или считывание состояния может осуществляться оптическим сигналом, перспективны для создания систем, управляемых светом, и нейроморфных визуальных сенсоров [4].

Сравнительная характеристика типов мемристоров приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика основных типов мемристоров

Тип	Преимущества	Недостатки
<i>VCM</i>	Совместимость с КМОП, высокая скорость, аналоговое переключение	Большой разброс параметров между ячейками, необходимость калибровки в больших матрицах
<i>ECM</i>	Быстродействие, низкие напряжения	Низкая стабильность, чувствительность к окружающей среде
<i>PCM</i>	Многоуровневость, высокая стабильность, быстродействие	Высокое энергопотребление, требуется определенный нагрев, ограниченная токовая нагрузка в открытом состоянии
<i>FeMEM</i>	Низкое энергопотребление, быстродействие, аналоговое переключение	Сложная интеграция с КМОП, низкая надёжность, ограниченная токовая нагрузка
Оптоэлектронные	Оптическое управление, цветочувствительность, минимальная задержка, высокая пропускная способность	Необходимость источника света, недостаточная изученность, сложность масштабирования

Сравнительная характеристика (табл. 1) дала понять, что для задач управления динамической подсветкой наиболее релевантным являются мемристоров типа *VCM*. Их ключевыми преимуществами, по сравнению с другими типами мемристора, являются стабильное многоуровневое

подключение, совместимость с КМОП технологиями и высокая скорость. Эти характеристики позволяют реализовать плавное регулирование яркости и время отклика. В то же время другие типы мемристоров имеют высокое энергопотребление, низкую стабильность или недостаточная изученность, что снижает их применимость в рассматриваемой области.

Технология динамической подсветки основана на разбиении светодиодного массива на отдельные зоны с независимым управлением [1]. Для каждой зоны вычисляется уровень яркости на основе анализа входного видеосигнала, что позволяет повысить контрастность изображения.

Управление подсветкой реализуется с использованием многоуровневой системы, включающей обработку видеосигнала, формирование управляющих сигналов и непосредственное управление светодиодами. В активных матрицах широко применяется ячейка типа $2T1C$, включающая два транзистора и накопительный конденсатор.

Несмотря на технологическую отработанность, такая архитектура имеет ряд ограничений. Увеличение числа зон приводит к росту площади и усложнению разводки, а необходимость периодического обновления заряда делает систему энергозависимой. Эти факторы ограничивают масштабируемость и эффективность подсветки.

В качестве альтернативы традиционной схеме может быть рассмотрена архитектура, в которой функции хранения уровня яркости частично реализуются с использованием мемристора.

В предлагаемой конфигурации мемристор выступает как аналоговый элемент памяти, задающий уровень тока через светодиод. Запись состояния осуществляется путём подачи управляющего импульса, изменяющего сопротивление устройства, после чего установленное значение сохраняется без необходимости постоянного обновления.

Возможна реализация в виде структуры $1T1M$, где транзистор выполняет функцию выборки, а мемристор – хранения и регулирования. Это позволяет уменьшить площадь ячейки и снизить энергопотребление по сравнению с традиционной схемой.

К ограничениям предложенного подхода относится разброс параметров мемристоров, что требует разработки методов калибровки и компенсации для обеспечения равномерности яркости.

Следует отметить, что подобные подходы рассматривались для *microLED*-дисплеев [1]. В данной работе предложено их применение для зон подсветки ЖК-дисплеев, что снижает требования к точности элементов.

Проведённый анализ показывает, что мемристоры, в частности устройства типа VCM , обладают характеристиками, позволяющими рассматривать их как основу для построения новых архитектур управления динамической подсветкой.

Использование мемристорных элементов позволяет объединить функции хранения и регулирования в одной структуре, что открывает возможности для уменьшения размеров ячеек, повышения энергоэффективности и увеличения числа зон затемнения.

В отличие от существующих исследований, ориентированных на пиксельные структуры, в данной работе рассмотрено применение мемристоров на уровне зон подсветки, что представляет практический интерес для развития технологий динамической подсветки.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку методов компенсации разброса параметров и экспериментальную проверку предложенной архитектуры.

Литература

- [1]. Chen H., Wu T., Li Y. Local dimming technology and its application in LCD displays // Journal of the SID. – 2021. – Vol. 29, № 4. – P. 245-258.
- [2]. Strukov D.B., Snider G.S., Stewart D.R., Williams R.S. The missing memristor found // Nature. – 2008. – Vol. 453. – P. 80-83.
- [3]. Исаев А.Г., Пермякова О.О., Рогожин А.Е. Оксидные мемристоры для ReRAM: подходы, характеристики, структуры // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 5–20.
- [4]. Di Martino G., Tappertzhofen S. Optically accessible memristive devices // Nanophotonics. – 2019. – Vol. 8, № 10. – P. 1579-1589.
- [5]. Li Y., Zhong Y., Xu L., et al. Ultrafast synaptic events in a chalcogenide memristor // Nature Materials. – 2013. – Vol. 12. – P. 804-809.

*Д.С. Акентьев, студ., С.С. Зубарев, студ.; рук. В.С. Крупенькин
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ОБЗОР НЕИСПРАВНОСТЕЙ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ТИПА АТХ

Импульсный источник питания (ИИП) – это вторичный источник электропитания, в котором входное напряжение сначала выпрямляется, а затем преобразуется в высокочастотные импульсы (от десятков до сотен кГц), которые проходят через трансформатор или фильтр для получения необходимых выходных параметров (напряжения и тока) [1]. Существует множество типов ИИП, некоторые из которых описаны ниже:

- АТ (рис. 1а). Полностью устаревший стандарт, который не выпускается с конца 90-х годов, мощность редко превышала 200-250Вт, имел два отдельных 6-пиновых разъема (P8 и P9), дежурное питание отсутствовало, включение и выключение блока питания осуществлялось только посредством переключения тумблера [2];

- SFX (рис. 1б). Компактный и мощный стандарт для игровых и производительных мини-ПК, имеет габариты $\approx 125 \times 64 \times 100$ мм и обладает мощностью в диапазоне от 300Вт до 1000Вт. Так же обладает модульными кабелями, что позволяет убрать лишнее [2];

- TFX (рис. 1в). Узкий и длинный блок для офисных и тонких корпусов, имеет вытянутый размер $\approx 85 \times 65 \times 175$ мм и мощность до 500-700 Вт [2].

Блоки питания типа АТХ обладают наибольшей популярностью, вследствие чего их характеристики будут описаны более детально.

ATX (Advanced Technology Extended) – форм-фактор персональных настольных компьютеров. Разработан компанией Intel в 1995 году для замены использовавшегося долгое время стандарту AT.

Стандарт ATX определяет следующие характеристики: геометрические размеры материнских плат, общие требования по положению разъёмов и отверстий на корпусе, форму и положение ряда разъёмов (преимущественно питания) и другие. Блоки питания типа ATX (рис. 1г) имеют следующие особенности:

- диапазон мощности блоков питания 300-1500Вт;
- размер 150 x 86 x (140-230) мм;
- оснащение уровнями защиты: OCP (защита от перегрузки по току), OVP (защита от перенапряжения), SCP (защита от короткого замыкания), OTP (защита от перегрева);
- разъёмы типа 24-pin ATX, 4+4 pin CPU / EPS, 6+2 pin PCIe, 15-pin SATA, 4-pin Molex [2].



Рисунок 1 – Импульсные источники питания: «АТ» (а), «SFX» (б), «TFX» (в), «АТХ» (г)

Импульсные блоки питания типа АТХ, несмотря на кажущуюся сложность, подвержены вполне конкретному и ограниченному набору неисправностей. Ниже представлен обзорный список проблем с возможными вариантами решений:

1. Нестабильная работа блока питания.

Симптомы: нестабильная работа компьютера, перезагрузка компьютера под нагрузкой, повышенный писк от блока питания, некорректная работа периферийных устройств. Просадка напряжений при нагрузке, отключение блока питания.

В большинстве случаев это связано с конденсаторами или необратимой деградацией элементной базы.

Основными причинами выхода из строя конденсаторов являются перегрев и большой срок эксплуатации. При повышенной температуре срок эксплуатации снижается, а при превышении критической отметки в 105°C конденсатор вздувается и может взорваться. Конденсаторы со временем теряют свою ёмкость, это естественный процесс, но в бюджетных моделях блоков питания могут стоять дешёвые конденсаторы не самого лучшего качества, их срок службы изначально будет меньше, чем у более качественных компонентов.

Единственное верное решение этой проблемы – заменить конденсаторы, желательно все, на новые, с таким же номиналом, если замена не помогла, то значит, что остальные элементы блока питания со временем тоже деградировали, диодный выпрямитель, диодные сборки, транзисторы [3].

2. Не включается, но присутствует дежурное питание +5VSB.

Симптомы: при замыкании контактов PS-ON и GND блок питания не запускается, но дежурное питание присутствует.

Данная неисправность возникает из-за неисправности ШИМ-контролера, может быть неисправна сама микросхема в этом случае её нужно заменить и обязательно проверить остальную элементную базу. Если же она исправна, то следующей причиной может быть обрыв цепи, в этом случае для решения проблемы требуется комплексный подход, в первую очередь следует визуально осмотреть, а затем и проверить: высоковольтные конденсаторы в первичной цепи, импульсный трансформатор, диодные сборки, дроссели и катушки индуктивности, эти компоненты первыми выходят из строя при постоянном перегреве. Потом следует проверить цепи обратной связи и элементы обвязки ШИМ [4].

3. Блок питания уходит в защиту.

Симптомы: блок питания циклично включается и выключается.

Циклический запуск сигнализирует о том, что микросхема цела.

Часто причиной неисправности служит короткое замыкание в конденсаторах, диодных сборках шоттки и дросселей групповой стабилизации на линиях +3.3V, +5V, +12V из-за перегрева или большого тока, также причиной могут стать неисправные конденсаторы и силовые транзисторы в первичной цепи [4].

В статье рассмотрены характеристики различных типов импульсных источников питания, приведены самые популярные неисправности блоков питания типа ATX, а также их симптомы и возможные варианты устранения.

Литература

- [1]. Кузьмина А.С. Импульсные источники питания: теория и практика проектирования. - М.: Радио и связь, 2021. - 320 с.
- [2]. Thompson R.B., Thompson B.F. PC Hardware in a Nutshell. - 4th ed. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2005. - 896 p.
- [3]. A malfunction of an ATX power supply based on the cm6800ux chip [Электронный ресурс] URL: <https://en.eeworld.com.cn/bbs/thread-1301825-1-1.html>, свободный(дата обращения 12.03.2025)
- [4]. Ремонт ATX БП (и FSP в особенности) [Электронный ресурс] URL: https://overclockers.ru/blog/Fagear/print/12223/Remont_ATH_BP_i_FSP_v_osobennosti, свободный(дата обращения 12.03.2025)

АВТОНОМНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВЫСОТЫ ПЛАЗМАТРОНА

Станок плазменной резки (рис. 1) с числовым программным управлением (ЧПУ) – это высокотехнологичный комплекс, предназначенный для раскроя токопроводящих металлов [1]. Резка осуществляется за счёт энергии сжатой плазменной дуги, возникающей между электродом резака и деталью.



Рисунок 1 – Станок плазменной резки с ЧПУ

Система ЧПУ управляет перемещением резака по осям X и Y согласно заданному чертежу. Однако для обеспечения качественного реза критически важной является координата по оси Z (высота резака над металлом).

В процессе термического раскроя возникают факторы, препятствующие поддержанию стабильного зазора между соплом и заготовкой [2]:

Термическая деформация – листовый металл при нагреве деформируется («идёт волной»), что меняет расстояние до резака в разных точках стола.

Неровность укладки – лист может быть изначально искривлён или лежать на опорах непараллельно плоскости стола.

Износ расходных материалов – постепенное выгорание катода и сопла меняет характеристики дуги.

При слишком низком расположении резака есть риск его столкновения с деталью (рис. 2), что приводит к разбрызгиванию металла и выходу из строя узла.



Рисунок 2 – Столкновение резака с деталью

При слишком высоком расположении появляется скос кромок реза, увеличение ширины реза (рис. 3), риск обрыва дуги [2].

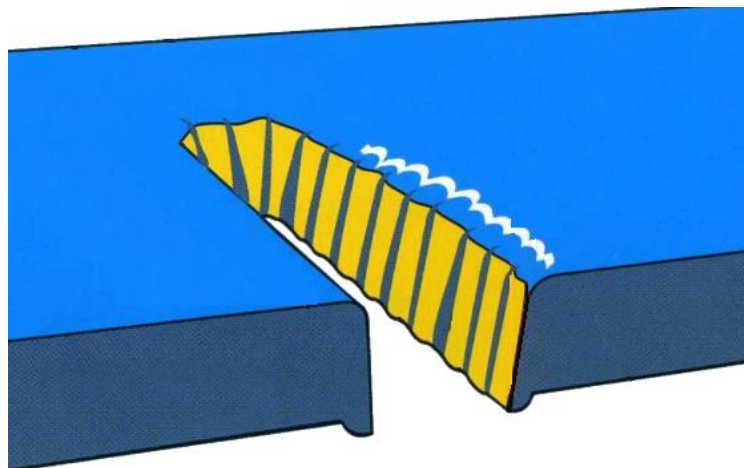


Рисунок 3 – Дефекты плазменной резки

Проект реализуется для конкретной аппаратной конфигурации, включающей *DSP* контроллер *RichAuto A12* (рис.4а) и инверторный источник плазменной резки (рис.4б) *AuroraPro Airforce 80M*.



(а)



(б)

Рисунок 4 – Аппаратная конфигурация проекта

Данный *DSP* контроллер является широко распространённым и надёжным решением для управления движением по осям. Однако в его базовой архитектуре отсутствует встроенный контур обратной связи по напряжению дуги. Это накладывает серьёзные ограничения на технологический процесс [1].

Отсутствует динамическая коррекция. По умолчанию *RichAuto A12* может перемещать ось *Z* только на фиксированные координаты, заданные в управляющей программе (*G*-коде). Он «не видит» реального расстояния между соплом и металлом в процессе резки.

Для устранения вышеуказанных недостатков выполняется модернизация станка путём внедрения автономного модуля *THC*.

Источник плазменной резки *AuroraPro Airforce 80M* выступает в роли генератора данных и позволяет снимать с силовых выводов информацию о напряжении дуги для определения точного расстояния до поверхности металла [2].

Модуль *THC* выступает в роли интеллектуального «моста», который анализирует поступающий от источника плазменной резки сигнал, отсекает помехи и вырабатывает корректирующие импульсы для управления двигателем оси *Z*.

Контроллер *RichAuto A12* получает от модуля *THC* статус готовности дуги (*Arc OK*) и управляет логикой начала или окончания реза, полностью делегируя при этом задачу оперативного удержания зазора новому устройству.

Модуль *THC* построен по двухблочной схеме (рис.5) для максимальной помехозащищённости [5].

Блок №1 – модуль измерения (*HV Sensor*). Устанавливается непосредственно у источника плазмы. Он состоит из трёх каскадов: делителя напряжения, гальванической развязки и защиты. Делитель напряжения представляет собой резистивную сборку (1,2 МОм), которая понижает напряжение в пропорции 1:150. Гальваническая развязка состоит из изолирующего усилителя *AMC1200* с барьером в 4000 В. Он передаёт сигнал в виде дифференциального напряжения, полностью отсекая высоковольтные помехи от логики. Для защиты используются *TVS* диоды, которые гасят импульсы высоковольтного поджига.

Блок №2 – контроллер управления (*Control Board*). Устанавливается в шкафу управления. Состоит он из следующих каскадов: вычислительного ядра, АЦП, интерфейсов, опторазвязки.

Вычислительное ядро устройства – это контроллер *Arduino Nano Every*, построенный на микроконтроллере *Atmega4809*. Его рабочая частота 20 МГц, объём памяти 48 Кб *Flash* и 6 Кб *SRAM*. Этого вполне хватит для решения задач реального времени.

АЦП *ADS1115* работает в пределах $\pm 4,096$ В, что при 16-битной разрядности позволяет точно отслеживать изменения напряжения дуги с шагом 0,05 В. Благодаря этому плазматрон максимально точно удерживается на нужной высоте [5].

Для удобства текущее напряжение выводится на *LCD* дисплей, а все настройки выполняются с помощью энкодера. Логика 5 В и 24 В согласуется через гальваническую развязку, состоящую из оптопар *PC817*.

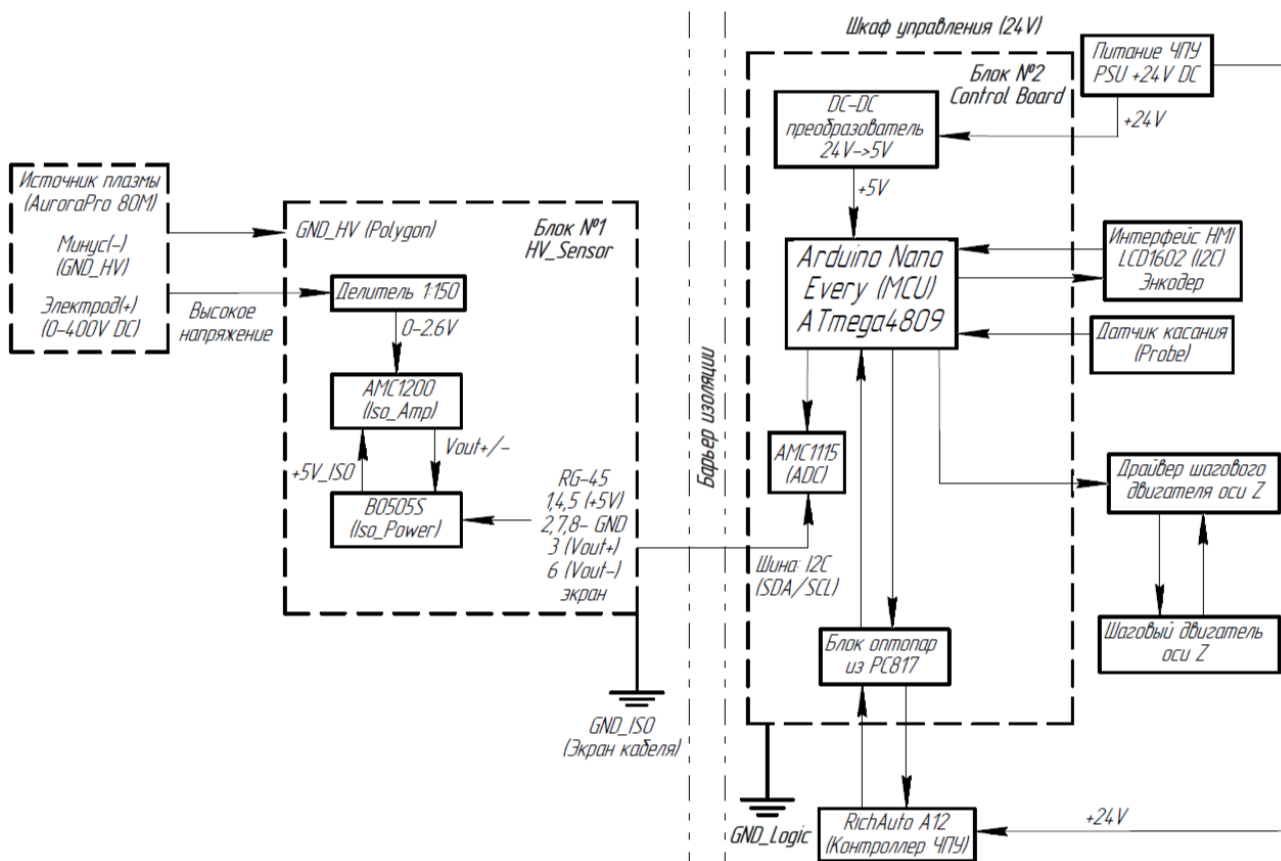


Рисунок 5 – Функциональная схема устройства

Порядок работы устройства:

Этап 1 – поиск материала (*IHS*). При получении сигнала Start ($Y1$) от A12, устройство активирует привод оси Z. Резак опускается до момента срабатывания датчика касания (*Probe*). После фиксации поверхности резак поднимается на заданную «высоту прокола» (*Pierce Height*).

Этап 2 – поджиг и перенос дуги. *THC* включает реле старта плазмы. Система ожидает появления напряжения на дуге. Как только напряжение стабилизируется в рабочем диапазоне, *THC* выдаёт сигнал ARC OK ($X5$) на контроллер A12. Только после этого ЧПУ начинает движение по осям X и Y.

Этап 3 – адаптивное регулирование (*Auto Mode*). Во время движения *THC* постоянно сравнивает текущее напряжение (V_{real}) с заданным (V_{set}). Для стабилизации движения в программном обеспечении реализован гистерезис – это «зона нечувствительности» или зазор между порогом включения и выключения сигнала, который предотвращает мгновенную реакцию системы на микроскопические изменения. Учитывая, что крутизна характеристики дуги составляет около 5 В/мм, порог срабатывания выбран равным $\pm 1,5$ В. Такой зазор позволяет игнорировать электрические помехи и естественные пульсации дуги, не вызывая ложных и слишком частых срабатываний привода. Корректирующие команды на подъём или опускание подаются только при выходе V_{real} за границы установленного «коридора» напряжения. Это предотвращает «дребезг» системы [3] и позволяет стабильно удерживать нужный зазор с точностью до 0,3 мм.

Рывки и раскачка резака убираются благодаря использованию ПИД-регулятора [3].

Для того чтобы минимизировать влияние электромагнитных помех, идущих от силовых кабелей источника плазменной резки, и обеспечить стабильный обмен данными между блоками, применяется экранированная витая пара.

В меню контроллера реализована возможность корректировки коэффициента делителя. Это сделано для того, чтобы точно настроить вольтметр *THS* под любой источник плазмы – будь то *Aurora*, *Hypertherm* и другие аналоги.

Устройство игнорирует кратковременные скачки напряжения при входе резака в металл и выходе из него – благодаря динамическому порогу в алгоритме управления. Это спасает плазматрон от удара о заготовку.

Разработанная система позволяет модернизировать бюджетный станок с ЧПУ и поднять качество резки деталей до промышленного уровня. Компоненты *AMC1200*, *ADS1115* и микроконтроллер *Atmega4809* обеспечивают высокую скорость реакции. Время обработки данных значительно меньше инерции механики. Благодаря этому скоростной потенциал двигателя оси Z реализуется полностью [3,4].

Литература

- [1]. Сосонкин, В. Л. Системы числового программного управления : учебное пособие / В. Л. Сосонкин, Г. М. Мартинов. – Москва : Логос, 2005. – 296 с. – ISBN 5-94010-213-8. (Фундаментальный учебник по принципам работы ЧПУ-контроллеров и алгоритмам управления осями).
- [2]. Гнитиёв, П. А. Технология плазменной резки : учебное пособие / П. А. Гнитиёв ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 132 с. (Раскрывает физические характеристики плазменной дуги и влияние высоты резака на качество кромок).
- [3]. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Профессия, 2003. – 752 с. (Классический источник для обоснования использования ПИД-регулирования и анализа устойчивости системы обратной связи).
- [4]. Евстифеев, А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя / А. В. Евстифеев. – Москва : Додэка-XXI, 2007. – 592 с. (Необходим для описания работы аппаратной части контроллера на базе ATmega4809/328P).
- [5]. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл ; перевод с английского И. И. Короткевич [и др.]. – 7-е изд. – Москва : Бином, 2014. – 704 с. (Ключевой источник для проектирования систем гальванической развязки, фильтрации помех и работы с прецизионными АЦП).

КОНЦЕПЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО СВЕТОВОГО ПЛАНШЕТА С УЛУЧШЕННОЙ ЭРГОНОМИКОЙ

До того, как повсеместное применение получила ксерография, для множения и копирования схем, чертежей, иллюстраций и топографических карт широко использовался способ переноса изображения на просвет, при котором оригинал располагается на подсвеченной снизу поверхности, накрывается листом кальки (или тонкой бумаги низкой плотности) и по просвеченным линиям рисунка оригинала вручную осуществляется их обводка на поверхности листа кальки. В домашних условиях подобную процедуру можно легко осуществить, используя остекление окна (как правило, только в дневное время), а мультипликационные студии, художественные училища проектные бюро оснащались светокопировальными столами (рис. 1) – приспособлениями для ручного копирования бумажных документов на просвет, состоящими из:

- прозрачной или полупрозрачной поверхности (столешницы),
- подсветки столешницы снизу на основе электрических ламп (чаще газоразрядных, иногда накаливания).

Светокопировальные столы могли быть как с фиксированным горизонтальным положением столешницы, так и с возможностью ее наклона и (или) поворота, но всех их объединял один существенный недостаток: все они обладали значительными габаритами.



Рисунок 1 – Светокопировальный стол

Несмотря на широкое увлечение и внедрения в настоящее время техники цифровой живописи, многие художники и дизайнеры продолжают работать в традиционных техниках живописи и графики, что в совокупности с возможностью удалённой работы объясняет возросшую потребность среди представители творческих профессий в более современном аналоге светокопировального стола, которым стал световой планшет для рисования и копирования [1], например, один из вариантов его исполнения (рис. 2).

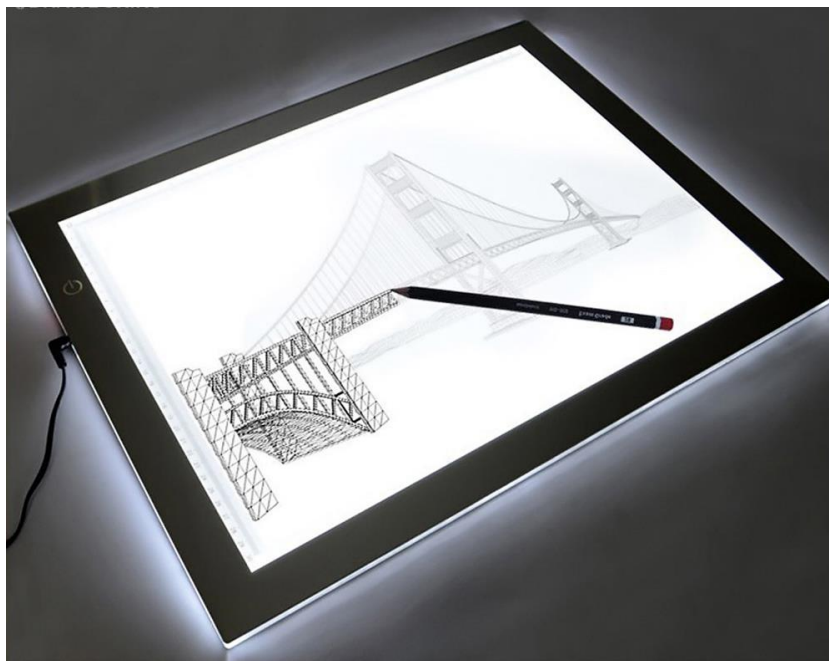


Рисунок 1 – Пример одного из вариантов исполнения светового планшета

Световой планшет представляет собой компактный вариант светокопировального стола, конструктивно объединявший в своем составе:

- рабочую поверхность (как правило выполненную из акрила);
- систему подсветки рабочей поверхности на основе излучающих диодов (преимущественно люминофорных, белого цвета);
- контроллер управления режимами работы системы подсветки (как правило, реализация трех фиксированных уровней яркости, или (и) режим плавного изменения уровня яркости);
- систему управления (реализующую функции включения, выключения и выбора режима работы (уровня яркости)).

Анализ функционала доступных световых планшетов выявил присущий им недостаток, заключающийся в конфликте эргономики и функциональности:

- как правило размеры рабочих поверхностей световых планшетов соответствуют основным бумажным форматам: А5, А4, А3, А2;
- исходя из универсальности использования одного планшета, а также исходя из экономических соображений не нескольких, логичнее приобрести один планшет с размерами рабочей поверхности крупного формата (А2 или А3), т. к. на нём можно работать с изображениями меньших форматов;

- однако из-за реализации режима равномерной подсветки всей рабочей поверхности световых планшетов (в предлагаемых моделях) в этом случае возникает эффект более интенсивной яркости поверхности, находящейся в периферийной области зрения (рис. 3), что ведет к повышенной утомляемости органов зрения, т. е. нарушаются требования эргономики.



Рисунок 3 – Пример более интенсивной яркости поверхности светового планшета, находящейся в периферийной области зрения

Предлагаемая концепция универсального светового планшета с улучшенной эргономикой предусматривает реализацию нескольких дополнительных режимов его работы, таких как:

- возможность выбора размеров подсвечиваемых участков рабочей поверхности, соответствующих бумажным форматам;

- возможность автоматического выбора размера подсвечиваемого участка рабочей поверхности, соответствующего бумажному листу произвольного формата;

- возможность изменения наряду с интенсивностью свечения рабочей поверхности ее цвета, на основе применения системы подсветки, состоящей из *RGB*-излучающих диодов и оперативной регулировки интенсивности их свечения.

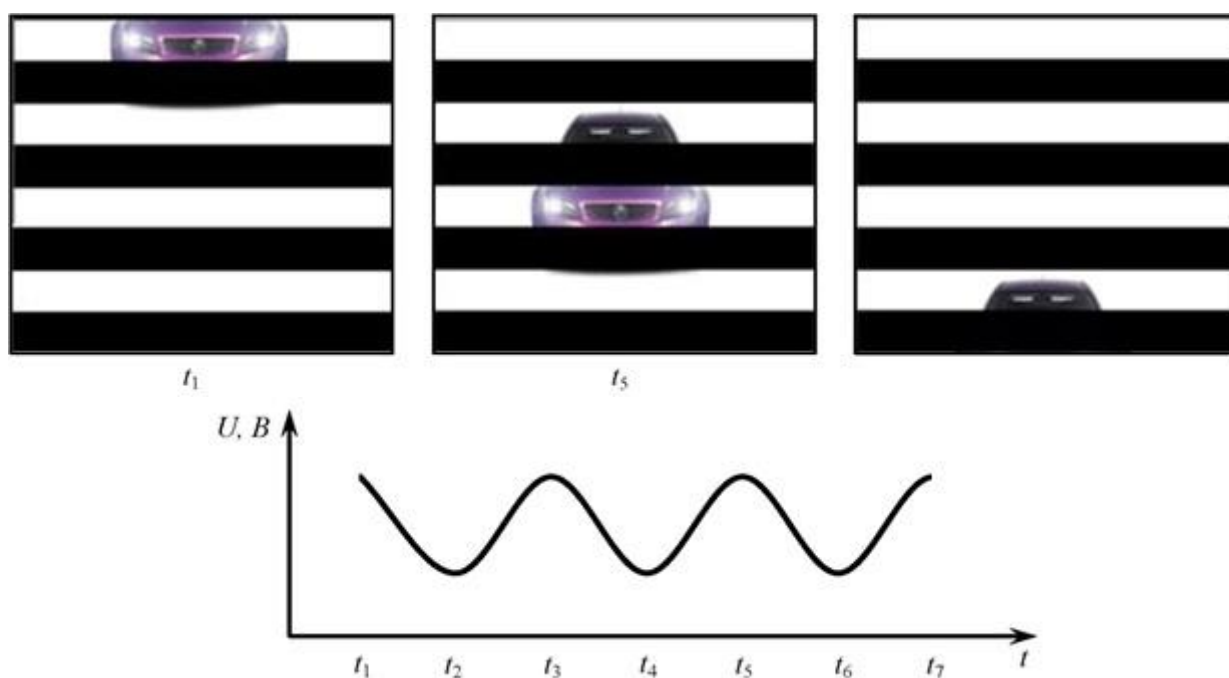
Предлагаемая концепция универсального светового планшета с улучшенной эргономикой позволит не только существенно расширить функционал устройств подобного класса, а также будет способствовать более комфортным условиям работы, не приводя к усталости органов зрения.

Литература

[1]. Лучшие световые планшеты для рисования 2026 года. Текст : электронный // URL: <https://iconsumption.ru/note/64118> (дата обращения: 15.03.2026). Режим доступа: свободный.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ЧАСТОТЫ ВХОДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ДИСТАНЦИОННОМ ПАССИВНОМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОМ ОБНАРУЖИТЕЛЕ ДВИЖУЩИХСЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В основу принципа действия дистанционного пассивного оптико-электронного обнаружителя движущихся транспортных средств [1] положен оптико-электронный способ получения информации на основе переноса изображения по неподвижному растру [2], что позволяет обнаруживать движущийся объект (транспортное средство) за счёт его пространственно-частотного признака как периодического, ограниченного во времени сигнала на выходе оптоэлектронного датчика (рис. 1).



Форма сигнала с выхода оптоэлектронного датчика

Рисунок 1 – Принцип модуляции потока излучения переносом изображения движущегося транспортного средства по неподвижному растру

Частота f сигнала на выходе оптоэлектронного датчика, являющаяся одним из основных признаков входного воздействия в дистанционном пассивном оптико-электронном обнаружителе движущихся транспортных средств, определяется из числовых значений следующих параметров:

- 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 оптико-электронного обнаружителя транспортных средств над проезжей частью;

- среднего значения ожидаемой скорости движения транспортного средства.

Угловая величина поля зрения оптической системы оптико-электронного обнаружителя транспортных средств в горизонтальном направлении зависит от:

- дальности до ближней границы контрольного участка проезжей части (не менее наименьшего расстояния видимости, необходимого для остановки транспортного средства, движущегося с разрешённой на этом участке скоростью);

- ширины проезжей части с движением в одном направлении.

Численные значения этих величин определяются в соответствии с [3]:

- для скорости движения транспортного средства, например $v_{тс} = 90 \text{ км/ч}$, необходимое для его остановки наименьшее расстояние видимости равно расстоянию до ближней границы контрольного участка проезжей части:

$$L_{дк\mu} = 150 \text{ м},$$

- для дороги III категории с двумя полосами движения в каждом направлении ширина полосы равна 3,5 м, следовательно, ширина проезжей части с движением в одном направлении:

$$S_{пч} = 2 \cdot 3,5 = 7 \text{ м}.$$

С учётом этих значений, требуемая угловая величина поля зрения оптической системы β оптико-электронного обнаружителя транспортных средств в горизонтальном направлении (с учетом маски-растра) может быть определена из выражения:

$$\beta = 2 \arctg(0,5S_{пч} / L_{бк\mu}) = 2 \arctg(3,5 / 150) \approx 2,7^\circ. \quad (1)$$

Для вычисления частоты входного воздействия f необходимо последовательно определить:

- временной интервал, за который движущееся с разрешённой скоростью транспортное средство преодолет контрольный участок проезжей части, протяженность которого зависит:

а) от угловой величины поля зрения оптической системы оптико-электронного обнаружителя транспортных средств в вертикальном направлении α (с учетом маски-растра);

б) от высоты установки оптико-электронного обнаружителя транспортных средств над проезжей частью.

- период колебаний входного воздействия, зависящий от пространственно-частотного параметра маски-растра (количества прозрачных полос).

Поле зрения оптической системы оптико-электронного обнаружителя транспортных средств характеризуется одинаковым значением угловой величины, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, следовательно, угловая величина поля зрения оптической системы оптико-

электронного обнаружителя транспортных средств в вертикальном направлении α (с учетом маски-растра) должна удовлетворять условию:

$$\alpha \leq \beta \approx 2,7^\circ.$$

Высота установки оптико-электронного обнаружителя транспортных средств над проезжей частью должна быть максимально возможной, т. е. не менее высоты h_c установки светофора Т.7, которая в соответствии с [4] может принимать величину из диапазона значений:

$$h_c = \{5 \div 8\} \text{ м.}$$

Протяжённость контрольного участка проезжей части вычисляется исходя из соотношений углов и катетов двух прямоугольных треугольников, имеющих общий катет (рис. 2).

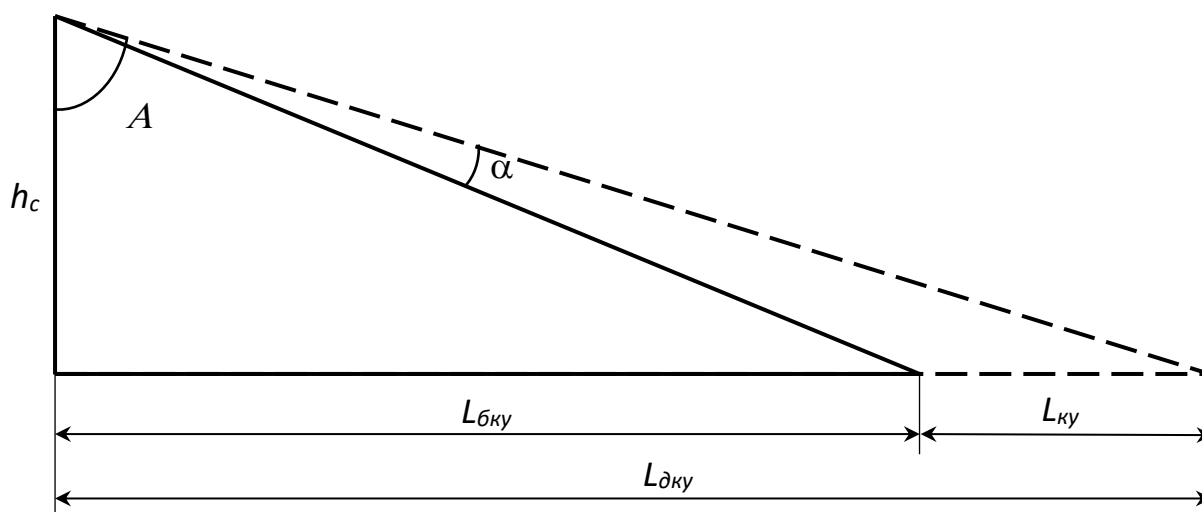


Рисунок 2 – Графическая интерпретация процедуры определения протяжённости контрольного участка проезжей части

Проведённая оценка протяжённости контрольного участка проезжей части для значений:

- $L_{дкy} = 150 \text{ м,}$
- $h_c = 8 \text{ м,}$
- $\alpha = 0,5\beta \approx 1,2^\circ$

дала следующий результат:

$$L_{кy} = L_{дкy} - h_c \operatorname{tg}(\arctg(L_{дкy} h_c^{-1}) - \alpha) = 150 - 8 \operatorname{tg}(\arctg(150 \cdot 8^{-1}) - 1,2) \approx 20 \text{ м.}$$

При скорости движения $v_{тс} = 90 \text{ км/ч}$ транспортное средство пересечёт контрольный участок проезжей части за время, равное:

$$T_{\text{кy}} = 3,6 L_{\text{кy}} v_{\text{тс}}^{-1} = 3,6 \cdot 40 \cdot 90^{-1} = 0,8 \text{ с.}$$

Пространственно-частотный параметр маски-растра, адаптированной к выделению информации от наиболее ярких фрагментов изображения транспортного средства (фар) как отношение угловой величины α поля зрения оптической системы оптико-электронного обнаружителя к угловой величине фары транспортного средства, оценённой через её геометрический размер в вертикальной плоскости с помощью выражения (1). Например, если диаметр фары равен $d = 0,2 \text{ м}$, её угловой размер γ на дальности $L_{\text{дкy}} = 150 \text{ м}$ составит величину:

$$\gamma = 2 \arctg(0,5 d L_{\text{бкy}}^{-1}) = 2 \arctg(0,2 \cdot 150^{-1}) \approx 0,15^\circ,$$

следовательно, с помощью такой маски-растра можно получить не более n количества периодов гармонического сигнала от одного источника:

$$n = 0,5 \alpha \gamma^{-1} = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 0,15^{-1} \approx 4.$$

Отсюда ожидаемая частота входного воздействия f может быть определена как:

$$f = n T_{\text{кy}}^{-1} = 4 \cdot 0,8^{-1} \approx 5 \text{ Гц.}$$

Полученное значение частоты входного воздействия f относится к категории исходных данных и, в свою очередь, может быть использовано в процессе расчета номинальных значений параметров пассивных электронных компонентов (резисторов, емкостей, индуктивностей), входящих в состав частотно-зависимых узлов дистанционного пассивного оптико-электронного обнаружителя движущихся транспортных средств.

Литература

- [1]. 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.
- [2]. Ю. П. Сафронов, Р. И. Эльман. Инфракрасные распознающие устройства. М., Воениздат, 1976. – 207 с.
- [3]. ГОСТ Р 52399– 2022. Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Технические требования. – М., 2022.– 15 с
- [4]. ГОСТ Р 52289-2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. – М., 2020. – 134 с

НЕОБХОДИМОСТЬ КОНТРОЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ОСВЕЩЕНИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА И ЕГО ПОДДЕРЖАНИЕ

В современном и технологично развитом мире, где большая часть жизни человека проходит на рабочем месте, освещение играет важнейшую роль. От его качества зависят настроение, самочувствие и продуктивность работы. Свет является не просто условием видимости, но и мощнейшим сигналом, синхронизирующим наши внутренние биологические часы – циркадные ритмы. Нарушение этой синхронизации из-за неоптимального светового режима может приводить к нарушениям сна, снижению когнитивных способностей и ухудшению общего состояния здоровья.

В настоящее время по нормам СанПиН рабочее пространство должно быть обеспечено комбинированным освещением, которое включает:

- естественное;
- искусственное;
- совмещенное.

Все виды освещения должны быть сбалансированы и обеспечивать комфортные условия для работы, удовлетворяющие нормам СанПиН: не менее 300 лк для общего и не менее 500 лк для местного освещения, КЕО должен составлять не менее 0,5%. Коэффициент естественного освещения (КЕО) – это отношение естественной освещенности внутри помещения к наружной, измеряется в %.

Естественным освещением считается освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях, а также через световоды [2]. В свою очередь, естественное освещение подразделяется по виду распределения на: боковое (одностороннее, двухстороннее), верхнее, комбинированное (рис. 1).

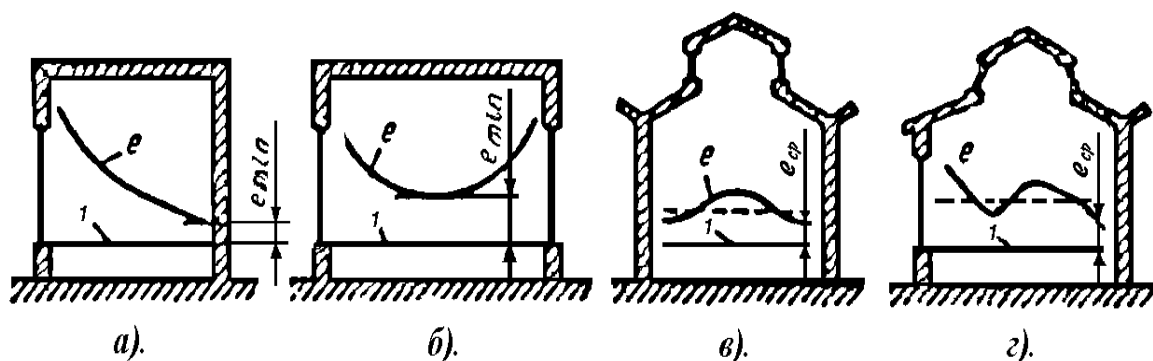


Рисунок 1 – Схемы распределения коэффициента естественной освещенности:
а – одностороннее боковое освещение, б – двухстороннее боковое освещение, в – верхнее освещение, г – комбинированное освещение

Существует также несколько видов естественного освещения: солнечное, небесное рассеянное, отраженное и тени. Основным источником является Солнце, которое имеет свои количественные характеристики, такие как освещенность и интенсивность, которые могут, как создавать благоприятную обстановку, так и создавать препятствия в работе, например, перегревать помещение и создавать блики на отражающих поверхностях. Главными преимуществами такого типа освещения являются: отсутствие мерцания, что не добавляет дополнительной нагрузки на глаза; отсутствие искажения восприятия цвета. К главным недостаткам относятся: количество света, которое зависит от размеров оконных проемов и рабочего пространства; изменение спектрального состава в зависимости от времени суток, а также от природных факторов, однако, для комфортной и продолжительной работы необходимы поддерживать его стабильным или минимизировать его изменения.

Спектральный состав естественного освещения – это распределение интенсивности света по различным длинам волн в видимом спектре. Видимый спектр – это диапазон длин волн электромагнитного излучения, которое может воспринимать человеческий глаз, который находится в диапазоне от 400 до 700 нм. Естественное освещение, получаемое от солнца, имеет непрерывный спектр, включающий все длины волн видимого света – от красного до фиолетового. Далее рассмотрим спектральный состав по красному диапазону длин волн, 620-750 нм, который изменяется в течение дня. Утром и вечером он имеет большую интенсивность и ощущается более теплым, чем в середине дня, когда он становится более ярким и холодным.

Изменение красного диапазона длин волн в течение дня является физиологически значимым процессом для человеческого организма. Этот процесс называется циркадным ритмом освещения, он напрямую связан с изменением уровня освещенности и спектрального состава света в течение суток. Циркадный ритм – это естественный биологический ритм организма, который регулирует различные физиологические процессы, включая сон и бодрствование. Он зависит от смены дня и ночи. В темное время суток организм начинает вырабатывать гормон мелатонин, который помогает нам заснуть. В утренние часы солнечный свет стимулирует выработку гормонов, которые помогают нам проснуться и быть бодрыми.

Кроме того, изменение красного диапазона может влиять на восприятие глубины и формы объектов в помещении, а также цвета. Красный свет имеет большую длину волны, что делает его менее рассеянным и более проникающим, что может улучшить видимость мелких деталей и текстур на поверхностях. Однако, если красный свет становится слишком интенсивным, это может привести к искажению цветов и появлению визуальных дефектов.

Таким образом, поддержание естественной динамики спектра является критически важным для здоровья. Преимущества естественного освещения очевидны, однако его главный недостаток – нестабильность. Для комфортной и продолжительной работы необходимо либо поддерживать его стабильным, либо,

что более физиологично, минимизировать вредные последствия его изменений, адаптируя искусственный свет.

Адаптивное освещение – это система освещения, которая автоматически регулирует параметры освещения (яркость, цвет, направление света) в зависимости от условий окружающей среды и потребностей человека [1]. Одним из примеров может быть система, которая регулирует яркость света в зависимости от уровня естественного освещения, когда его уровень повышается, яркость искусственного освещения снижается, и наоборот. Используя принцип работы данной системы, мы можем перевести регулировку на изменение спектрального состава освещения по красному диапазону длин волн.

Основываясь на принципах биологической значимости спектра, можно предложить концепцию адаптивной системы освещения, направленной на поддержание оптимального уровня красного диапазона в вечернее время. Цель системы – не сделать его одинаковым на протяжении всего дня, что может привести к нарушению циркадных ритмов, а именно компенсировать нежелательные отклонения или усиливать полезные.

В утренние и дневные часы, когда важен высокий уровень синего света для бодрости, система может работать в стандартном режиме, поддерживая высокую цветовую температуру. В вечернее же время, когда естественное освещение теряет синюю составляющую, система должна переходить в режим снижения цветовой температуры, то есть подавать более теплый свет. Для этого необходимо:

1. Выбрать датчики, способные измерять интенсивность света в разных спектральных диапазонах, например, чувствительные к синему и красному свету фотодиоды.

2. Расположить их в нескольких точках помещения, вблизи рабочей поверхности, для точной оценки световой обстановки.

3. Настроить алгоритм работы так: при снижении уровня естественной освещенности и, что важнее, при падении доли синего спектра, система плавно увеличивает цветовую температуру искусственного света до комфортного уровня, не допуская резких перепадов. В вечернее время, когда доля красного спектра в естественном свете возрастает, искусственное освещение должно стать максимально теплым, не подавляющим выработку мелатонина.

Адаптивная система освещения на красном диапазоне спектра представляет собой инновационную технологию, которая исследуется и может внедряться в различных областях, начиная от домашнего пространства и заканчивая рабочими помещениями [1]. Однако, как и любая технология, она имеет свои недостатки и преимущества, о которых не стоит забывать.

Так к преимуществам можно отнести:

1. Улучшение здоровья: красный свет, может положительно влиять на циркадные ритмы, сон и эмоционально состояние.

2. Энергосбережение: поскольку адаптивная система освещения регулируется в зависимости от условий освещенности и потребностей пользователей, она может помочь снизить энергопотребление.

3. Увеличение производительности: некоторые исследования показывают, что правильное освещение, включая красный свет, может повысить концентрацию и производительность работников.

К недостаткам следует отнести:

1. Высокие затраты на внедрение: одним из основных недостатков являются высокие начальные затраты на ее внедрение и установку, особенно в сравнении с традиционными системами освещения.

2. Сложность настройки и обслуживания: настройка и обслуживание могут требовать специальных навыков и знаний, что может увеличить сложность эксплуатации.

3. Ограниченные исследования: в настоящее время существует ограниченное количество исследований, подтверждающих эффективность и долгосрочные эффекты что может вызывать сомнения у потенциальных пользователей.

Адаптивная система освещения, управляющая не только яркостью, но и спектральным составом света, представляет собой перспективную технологию, нацеленную на создание по-настоящему комфортной и здоровой среды для человека [1]. Ориентация на поддержание естественной динамики красного и синего диапазонов позволяет синхронизировать искусственную световую среду с биологическими ритмами, снижая нагрузку на зрение при чтении и другой когнитивной работе. Несмотря на высокую начальную стоимость и сложность внедрения, дальнейшее развитие технологий и накопление научных данных, несомненно, будут способствовать повышению эффективности, надежности и доступности таких систем в будущем.

Литература

[1]. Колтун А. Ю., Масло И. А. Адаптивное освещение и безопасность движения. – 2019.

[2]. РосАвтодор Естественное и искусственное освещение: актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНФРАКРАСНОГО ПУЛЬТА ПРОЕКТОРА

Спрос на инфракрасные (ИК) пульты дистанционного управления для телевизора, проектора, кондиционера и других приборов повышается с каждым годом. Большое количество производителей и новых устройств создало проблему поиска дубликата пульта, если он потерян, вышел из строя или пультов нужно сразу несколько, а оригинального пульта в продаже нет. В большинстве случаев эта проблема решается использованием стандартного программируемого пульта или использованием приложения для смартфона. Однако изредка встречаются нестандартные системы команд, повторить которые программируемый пульт не может. Примером устройства с нестандартной системой команд является проектор *NEC VT47* [1], использующийся в лекционной аудитории А5 нашего вуза. Данную локальную проблему предлагается решить созданием собственного варианта пульта проектора *NEC VT47* для использования в учебном процессе. Этот пульт имеет ограниченный функционал – он может только включать и выключать проектор, однако это именно то, что требуется от пульта в данном конкретном случае.

В прошлой работе «Анализ сигналов дистанционного управления для разработки инфракрасного пульта проектора» [2] был произведен анализ сигналов оригинального пульта для проектора *NEC VT47*. Данная работа является следующим этапом разработки инфракрасного пульта.

Первый этап разработки заключался в изучении принципа работы ИК-пульта на основе анализа сигналов, получаемых с пульта для проектора *NEC VT47* при помощи лабораторной установки (рис. 1).

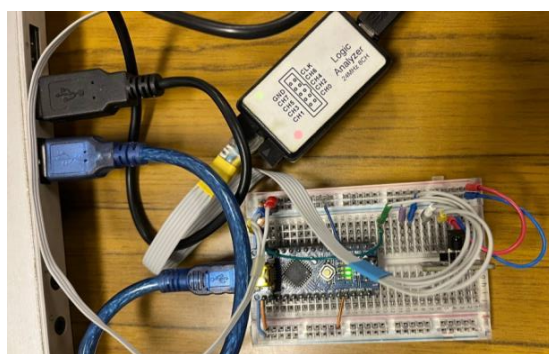
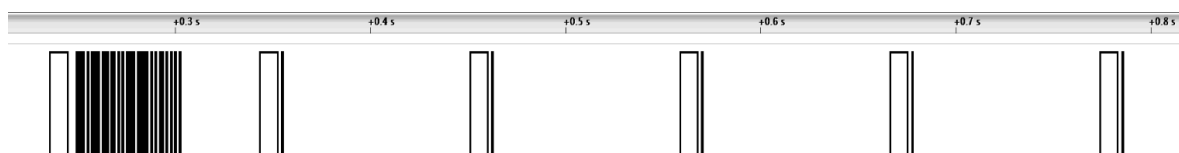


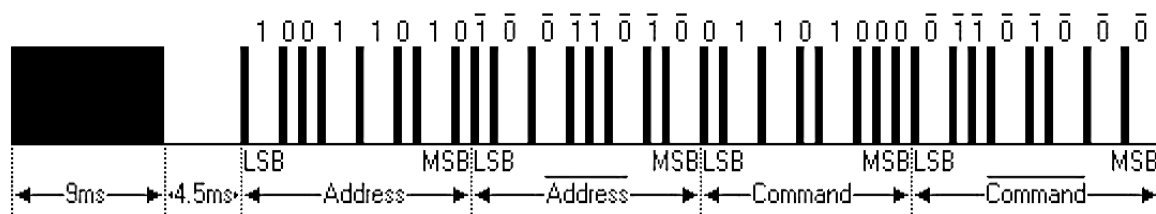
Рисунок 1 – Лабораторная установка для исследования работы пульта

Данная установка включала в себя модуль инфракрасного приемника на основе *TSOP4438*, логический анализатор и микроконтроллера *ATmega328P*, установленного на отладочной плате *Arduino Nano*.

Оптический сигнал с оригинального пульта NEC подавался на модуль ИК-датчика. Электрические сигналы, полученные с использованием программы *Logic 1.2.18* были зафиксированы логическим анализатором.



Расшифровать эту команду можно изучив описание протокола *NEC* [3].
Временная диаграмма типовой команды (рис. 3).



В протоколе *NEC* данные кодируются длительностями импульсов и пауз. Каждый информационный импульс заполнен несущей частотой 38 *кГц*. Логическая единица кодируется импульсом длительностью 560 *мкс* и длиной паузой. Общая длительность единицы составляет 2,25 *мс*. Для кодирования логического нуля используется такой же импульс, а пауза короче, общая длительность составляет 1,125 *мс*. Рекомендуемый коэффициент заполнения импульсов несущей частоты – 1/4 или 1/3.

Зная длительность импульсов, особенности кодирования протокола *NEC* и используя временные диаграммы, зафиксированные при помощи лабораторной установки, был разработан алгоритм формирования заданной последовательности управляющих импульсов,

Для включения проектора необходимо, чтоб при нажатии на кнопку пульта сначала формировалась специальная команда инициализации (преамбула), затем шла собственно команда включения, и эта команда повторялась через определенный промежуток до тех пор, пока нажата кнопка включения. Для выключения используется та же команда (и соответственно, та же кнопка). Но в этом случае повторы команды не нужны, достаточно одной команды инициализации и одной команды включения. Блок-схема алгоритма формирования импульсов (рис. 4).

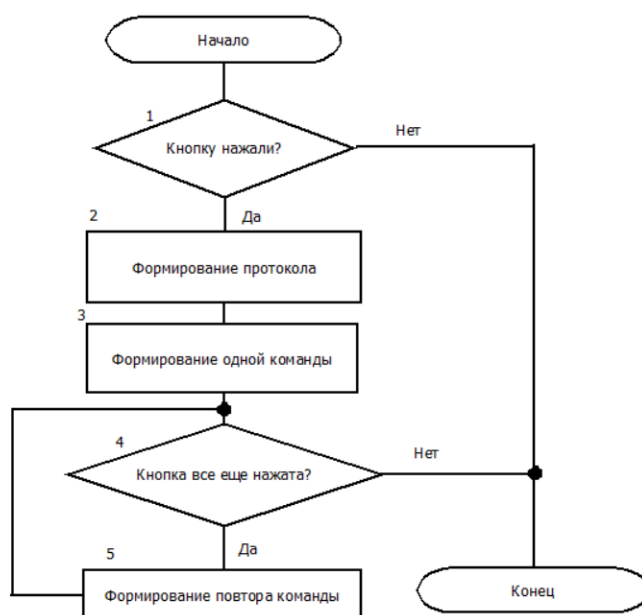


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма формирования импульсов

На основе разработанного алгоритма была написана программа для на языке С для микроконтроллера *ATmega328P*.

Для проверки работоспособности написанной программы был собран упрощенный макетный образец ИК-пульта на основе отладочной платы *Arduino Nano*. Код был загружен через программу *Arduino IDE* на микроконтроллер *ATmega328P*. ИК-диод был подключен к пину выхода микроконтроллера, на него подавался запрограммированный сигнал. Результаты проверки подтвердили работоспособность программы, проектор *NEC VT47* включался и выключался при нажатии кнопки макета пульта. Однако выяснилось, что ток, который можно получить с вывода микросхемы *ATmega328P*, недостаточен для обеспечения необходимой яркости свечения ИК-светодиода. В результате у макетного образца получилась очень маленькая дальность дистанционного управления (не более 2 м).

Следующим этапом разработки стала аппаратная реализация пульта. Для обеспечения удобства пользования принято решение добавить модуль зарядки аккумулятора, а также модуль проверки и индикации уровня заряда аккумулятора в процессе эксплуатации.

Структурная схема разрабатываемого устройства изображена ниже (рис. 5). Она включает в себя следующие основные блоки: разъем *USB*, блок зарядки аккумулятора, *Li-po* аккумулятор, выключатель питания, кнопку включения контроля заряда, индикатор уровня заряда аккумулятора, *DC/DC* преобразователь, кнопку формирования команд включения/выключения проектора, микроконтроллер, ключ, индикаторный светодиод диод видимого диапазона и ИК-светодиод.

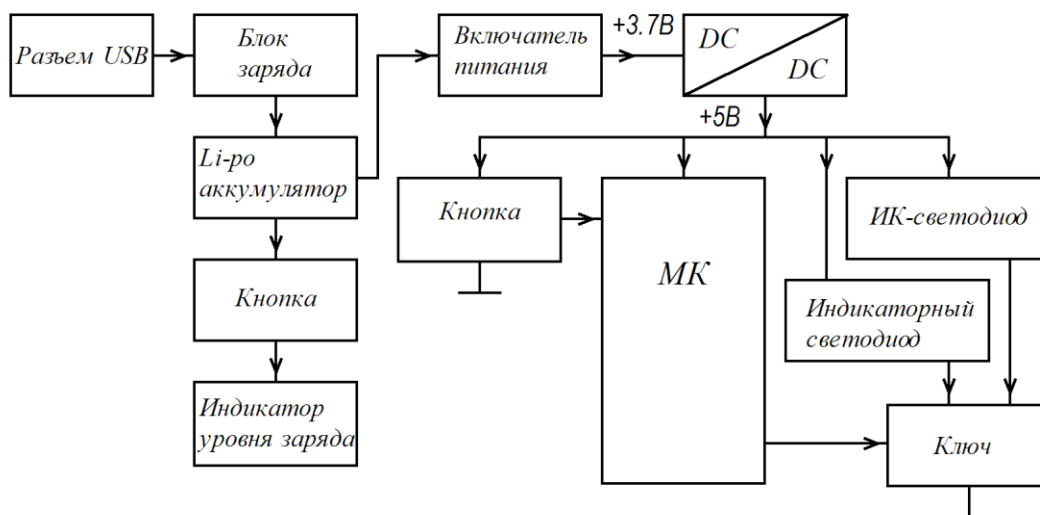


Рисунок 5 – Структурная схема устройства

Питание пульта будет осуществляться от литий-полимерного аккумулятора с номинальным напряжением 3,7 В. Для получения напряжения 5 В, необходимого для питания микроконтроллера, используется *DC/DC* преобразователь. Микроконтроллер формирует необходимые команды управления при нажатии кнопки. Сигналы с микроконтроллера коммутируют ключ и формируют сигналы на ИК-диод и индикаторный светодиод. Индикаторный светодиод видимого диапазона нужен для подтверждения работоспособности устройства, он светится во время формирования команд включения или выключения.

На основе структурной схемы была разработана функциональная схема устройства (рис. 6).

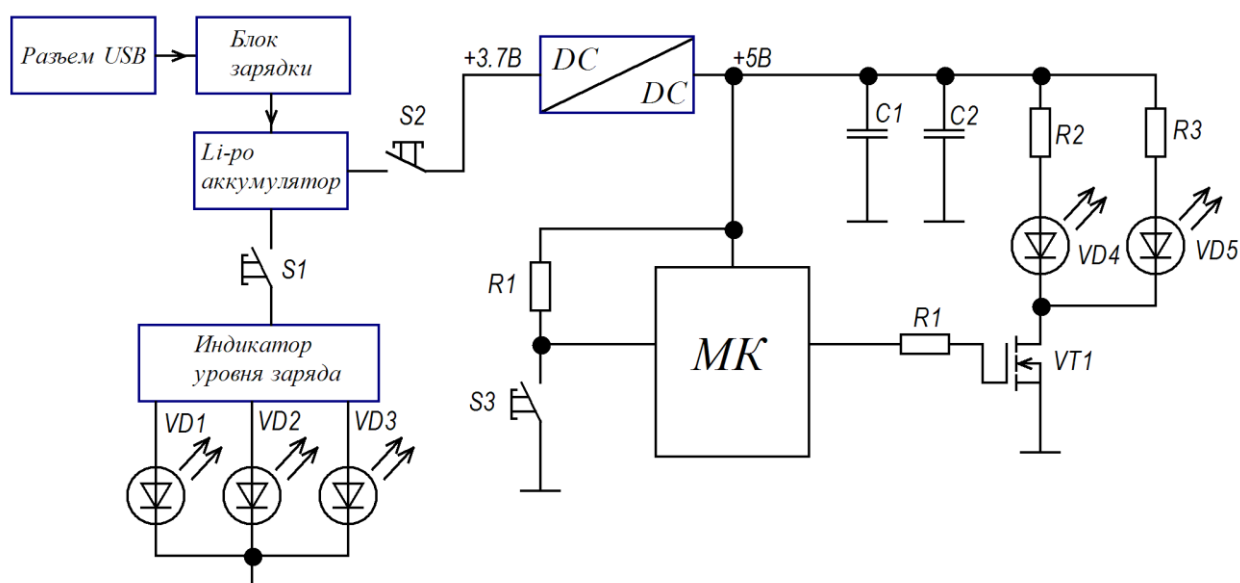


Рисунок 6 – Функциональная схема устройства

На функциональной схеме представлена реализация транзисторного ключа, на основе полевого транзистора, необходимая для получения необходимого тока через светодиод инфракрасного диапазона. Одновременно этот же ключ используется для подключения индикаторного светодиода. Поскольку во время формирования команд включения/выключения по цепям питания будут протекать достаточно большие импульсные токи, необходимо использование блокирующих конденсаторов *C1* и *C2*.

Разработка полной принципиальной схемы, расчет компонентов и создание макетного образца является предметом отдельной опытно-конструкторской работы, результаты которой будут представлены в следующей публикации.

В результате проделанной работы разработана программа формирования команд дистанционного включения и выключения проектора *NEC VT47* и проведена проверка ее работоспособности на лабораторном макете пульта дистанционного управления. Результаты проверки подтвердили работоспособность программы, а также наметили пути повышения эксплуатационных характеристик разрабатываемого пульта. Окончательная реализация данного пульта станет не только удобным дубликатом, используемым в учебном процессе, но и окажется памятным подарком ВУЗу, который возможно будет демонстрировать поступившим студентам или абитуриентам на днях открытых дверей.

Литература

- [1]. NEC Portable Projectors VT47. Product Sheet. https://www.projectorcentral.com/pdf/projector_spec_2519.pdf (дата обращения: 16.09.2025).
- [2]. Амелин С. А., Баранова М. С. АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНФРАКРАСНОГО ПУЛЬТА ПРОЕКТОРА //ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2025 (микроэлектроника и оплотехника, технологии и оборудование в промышленности). Сб трудов XV-ой Межд. Науч.-техн. Конф.. В 3 т. Т 2. – 2025. – С. 10-15.
- [3]. DFU IR Protocol (NEC) https://www.ad-notam.com/download/RS232/ad_notam_IR_protocol_DFU.pdf (дата обращения: 16.09.2025)

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФОРМЫ СПЕКТРОВ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЕМЯН НУТА

Настоящая работа посвящена исследованию статистических характеристик спектров фотолюминесценции семян нута. Интерес к теме обусловлен тем, что зачастую традиционный подход к описанию спектров фотолюминесценции покровной ткани семян растений ограничивается сравнением значений локальных максимумов интенсивностей и длины волны. В тоже время статистические характеристики показывают количественные различия формы кривых спектра.

В настоящей работе выполнено вычисление статистических моментов спектров ФЛ, включая математическое ожидание, дисперсию, асимметрию, эксцесс, а также интегральную энергию излучения. Полученные данные могут служить основой для комплексного сравнения спектров люминесценции семян растений, полученных при различных условиях (влажности, старения, скарификации и так далее).

Объектом для исследования послужили семена нута. Регистрацию спектров фотолюминесценции выполняли на специализированном оборудовании – спектрофлуориметре. В результате для каждого образца была получена зависимость интенсивности фотолюминесценции от длины волны излучения $I(\lambda)$.

Обработка спектров велась в математическом пакете Origin Pro 2018.

На первом этапе обработке производилось сглаживание кривых методом «Adjacent-Averaging». При этом выбиралось окно сглаживания в 8 точек. Эта операция выполняется для подавления высокочастотных шумов в полученном спектре.

Следующим шагом является получение дифференциальной функции распределения спектра. Для этого необходимо ординаты кривой разделить на численное значение площади кривой спектра. Таким образом, нормированная функция « $\varphi(\lambda) = I(\lambda) / \int I(\lambda) d\lambda$ » приобретает смысл плотности распределения вероятности для длины волны фотона, испущенного образцом.

Для количественного описания формы спектра использовали следующие параметры:

1. математическое ожидание (средняя длина волны) – центр тяжести спектральной кривой:

$$M_{\lambda} = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \lambda \varphi(\lambda) d\lambda.$$

2. дисперсия – мера разброса длин волн относительно центра:

$$\sigma^2 = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} (\lambda - M)^2 \varphi(\lambda) d\lambda.$$

Дисперсия характеризует степень разбросанности длин волн люминесценции относительно математического ожидания;

3. Центральный момент третьего порядка и коэффициент асимметрии:

$$\mu_3 = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} (\lambda - M)^3 \varphi(\lambda) d\lambda, \quad As = \frac{\mu_3}{\sigma^3}.$$

Для правосторонней асимметрии (кривая спектра вытянута вправо, относительно центра тяжести) характерно $As > 0$. Для левосторонней $As < 0$.

4. Центральный момент четвертого порядка и эксцесс:

$$\mu_4 = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} (\lambda - M)^4 \varphi(\lambda) d\lambda, \quad E_\lambda = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3.$$

Эксцесс показывает, насколько острая или плоская вершина спектра по сравнению с нормальным распределением. Положительное значение соответствует более островершинным кривым, отрицательные – более пологим;

5. Полная энергия спектра в диапазоне длин волн:

$$E = 1240 \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \frac{1}{\lambda} \phi(\lambda) d\lambda,$$

где множитель 1240 возникает из перевода длины волны (нм) в энергию фотона (эВ). Данная величина пропорциональна полной энергии, испускаемой образцом в единицу времени при нормировке интенсивности на единицу.

Основные параметры спектральных составляющих приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры спектров люминесценции нескарифицированных семян нута

№	M_λ , нм	σ^2	μ_3 м ⁻³	As	μ_4 м ⁻³	E_λ	E, эВ
1	528,38	52,83	97,41	0,66	24373,6	0,128	2,381
2	528,74	54,88	102,01	0,62	26576,1	-0,070	2,393
3	521,87	54,31	129,62	0,81	27929,5	0,209	2,406
4	524,78	53,90	115,27	0,74	25912,4	0,070	2,384
5	530,44	55,33	127,90	0,76	28090,6	-0,003	2,356
6	524,06	55,07	134,85	0,81	29379,5	0,195	2,393
7	523,99	54,44	134,04	0,83	28154,6	0,205	2,39

8	531,22	54,78	96,68	0,59	26225,3	-0,089	2,376
9	525,07	47,82	87,97	0,80	16989,2	0,249	2,38
10	525,61	53,91	125,93	0,80	27447,5	0,249	2,383
11	522,78	51,97	109,84	0,78	23591,7	0,233	2,394
12	526,37	53,93	114,24	0,73	26024,5	0,076	2,379
13	517,48	50,55	115,84	0,90	22973,7	0,520	2,412
14	526,71	53,65	109,29	0,71	25656,4	0,097	2,378
15	528,33	54,47	122,44	0,76	28053,1	0,188	2,371

Математическое ожидание M_λ для всех образцов находится в узком интервале 517-531 нм. Небольшие отклонения (до 14 нм) могут быть связаны с индивидуальными особенностями образцов.

Дисперсия составляет около 45-55, при этом стандартное отклонение составит 7-7,5 нм. Это говорит о том, что основная доля излучения сосредоточена в относительно узкой полосе.

Коэффициент асимметрии во всех представленных образцах положителен (от 0,59 до 0,90). Это говорит о правосторонней (длинноволновой) асимметрии спектра: коротковолновый спад более крутой, а длинноволновый «хвост» растянут.

Эксцесс варьирует от отрицательных значений (-0,089) до заметно положительных (0,520). Отрицательный эксцесс указывает на более плоскую вершину, чем кривая нормального распределения. Положительный эксцесс показывает о более острой вершине. Разброс этого параметра отражает неоднородность образцов по структуре покровной ткани.

Полная энергия спектра лежит в пределах 2,356-2,412 эВ. Учитывая, что спектр нормирован по площади, это величина фактически представляет собой среднюю энергию фотона (в эВ). Стабильность этого параметра для всех представленных образцов подтверждает, что основной механизм люминесценции одинаков для всех исследованных семян.

Использованный метод статистической оценки поверхностной ткани семян нута позволяет перейти от «визуального» анализа спектра фотолюминесценции к количественным оценкам различий в форме кривых спектра. Вычисленные параметры могут служить эффективными диагностическими признаками. В дальнейшем планируется расширить выборку образцов, включить семена различных сортов и подвергнутые различным видам обработки, а также сопоставить статистические характеристики с данными о всхожести и урожайности. Это позволит разработать экспресс-метод оценки качества семян на основе люминесцентной спектроскопии.

- [1]. Исаков О.П., Тарасевич Ю.Ю., Юзюк Ю.И. Обработка и визуализация данных физических экспериментов с помощью пакета Origin 7.0. Анализ и обработка спектров. Учебно-методическое пособие – Ростов – на Дону, Южный федеральный университет, 2007
- [2]. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

*Бовтунов Н.А., студ.; рук. Жбанова В.Л., к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

НЕЙРООПТИКА: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОНОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОМ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Исследование посвящено междисциплинарной проблеме создания биологических интерфейсов для динамического управления электромагнитным излучением в оптическом диапазоне. В работе рассматриваются биофизические механизмы, лежащие в основе модуляции показателя преломления нейрональной ткани при изменении мембранного потенциала и ионных градиентов. Анализируются современные методы оптогенетического контроля нейронной активности и сверхбыстрой оптической визуализации, создающие технологическую базу для реализации нейрооптических интерфейсов. Обсуждается концепция гибридных биофотонных систем, в которых естественная пластичность нейронных ансамблей используется для адаптивной реконфигурации параметров светового сигнала.

Последнее десятилетие ознаменовалось стремительным развитием междисциплинарной области исследований, получившей название нейрофотоника. Этот научный вектор сформировался на пересечении передовых лазерных технологий и современной нейробиологии и нацелен на разработку методов функциональной диагностики мозга, стимуляции нейронов и их сетей, а также молекулярной инженерии клеток для терапии нейродегенеративных заболеваний [1-4].

Традиционно нейрофотоника рассматривалась как инструмент исследования мозга: оптические методы позволяют регистрировать активность нейронов с высоким пространственно-временным разрешением, визуализировать кальциевую динамику, отслеживать метаболические процессы. Однако в последние годы формируется принципиально иной взгляд: нейронная ткань может выступать не только объектом наблюдения, но и активным элементом оптических систем [1].

В данной работе живые нейроны рассматриваются не как мишень для управления светом (как в оптогенетике), а как среда, посредством которой осуществляется модуляция светового потока. Обратная перспектива открывает путь к созданию гибридных биофотонных вычислителей, сочетающих скорость оптической обработки информации с адаптивностью и пластичностью биологических нейронных сетей.

Функционирование нейрона сопровождается комплексом электрохимических процессов, неизбежно влияющих на его оптические характеристики (рис. 1).

При генерации потенциала действия происходят следующие изменения, значимые для показателя преломления:

- флуктуации мембранного потенциала изменяют ориентацию и конформацию липидных молекул и трансмембранных белков, что влияет на диэлектрическую проницаемость мембраны в оптическом диапазоне;

- трансмембранный перенос ионов (в первую очередь Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) создает локальные градиенты концентрации, изменяющие плотность электролита в примембранных областях;

- осмотические явления сопровождаются перераспределением воды между внутри- и внеклеточным пространством, что модулирует показатель преломления цитоплазмы;

- реорганизация цитоскелета, индуцированная кальциевыми сигналами, влияет на анизотропию оптических свойств нейронных отростков;

- совокупность этих эффектов позволяет рассматривать каждый нейрон как динамический микроэлемент, способный вносить локальные фазовые и амплитудные возмущения в проходящее оптическое излучение.

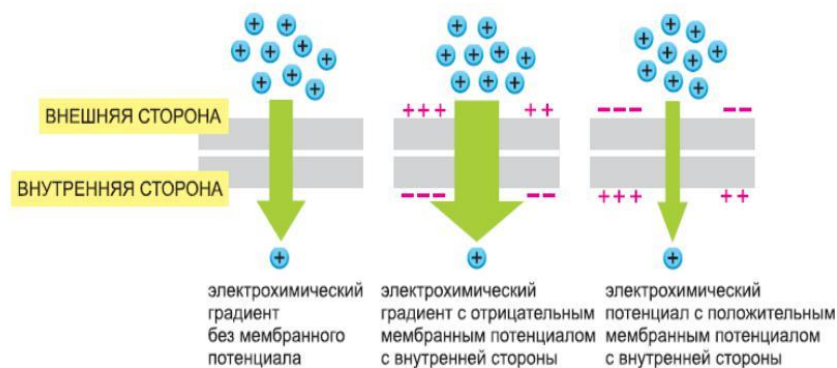


Рисунок 1 – Электрохимические процессы в нейронах

Критически важным для понимания нейрооптических интерфейсов является недавно охарактеризованное явление анизотропного рассеяния света в белом веществе головного мозга. Исследования продемонстрировали, что направленная организация миелинизированных аксонных пучков создает тензорный характер коэффициента рассеяния: распространение света вдоль ориентации волокон происходит с меньшим затуханием, чем в поперечном направлении [1, 2].

Этот феномен, впервые количественно охарактеризованный на посмертных образцах человеческого мозга с использованием время-разрешенных измерений и Монте-Карло моделирования, имеет принципиальное значение для проектирования нейрооптических устройств. Он означает, что архитектура нейронной сети формирует предпочтительные траектории распространения света внутри биологической ткани. Следовательно, пластические перестройки нейронных связей способны изменять оптическую «топологию» среды.

Базовым инструментом для реализации нейрооптических интерфейсов является оптогенетика – метод избирательного управления возбудимостью нейронов с помощью света [3]. Трансфекция клеточных культур генами светочувствительных ионных каналов позволяет инициировать или подавлять потенциалы действия в заданных нейронах с миллисекундной точностью. Ключевым преимуществом оптогенетики перед электрической стимуляцией является отсутствие артефактов, связанных с непосредственным воздействием тока на оптические измерения, и возможность адресного воздействия на отдельные клетки в пределах сети. Для регистрации оптического отклика нейронной ткани на электрическую активность требуются методы визуализации с высоким временным разрешением. Традиционные двухфотонные микроскопы, обеспечивающие субклеточное пространственное разрешение, ограничены по скорости съема. Однако в последние годы разработаны технологии, преодолевающие это ограничение: килогерцовая двухфотонная микроскопия, светопольная микроскопия (рис. 2).

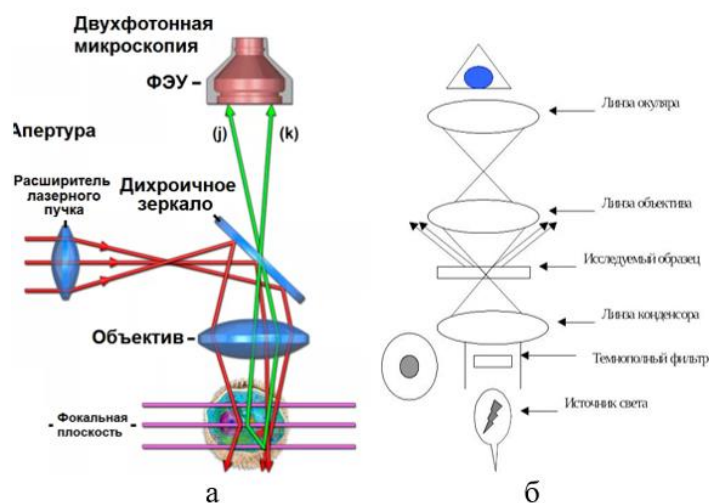


Рисунок 2 – Микроскопия:

- (а) – килогерцовая двухфотонная микроскопия;
(б) – светопольная микроскопия

Принципиально иной подход к регистрации нейронально-обусловленных оптических изменений предложен в работе зарубежных исследователей, которые продемонстрировали возможность классификации зрительных стимулов по спекл-паттернам, отраженным от первичной зрительной коры человека. Лазерное излучение, рассеиваясь на нервной ткани, формирует характерную интерференционную картину (спекл), динамика которой отражает микроскопические изменения показателя преломления, вызванные нейрональной активностью. С использованием глубоких нейронных сетей для классификации спекл-паттернов удалось достичь 98% точности распознавания геометрических фигур (прямоугольников, треугольников), предъявляемых испытуемым. Эта работа имеет двойное значение для нейрооптики: во-первых, она подтверждает наличие детектируемого оптического сигнала, коррелирующего с функциональным состоянием нейронов; во-вторых,

демонстрирует возможность использования самой нейронной ткани в качестве транспаранта, модулирующего проходящее излучение.

Обобщая вышеизложенное, можно сформулировать концепцию нейрооптического модулятора как гибридного устройства, в котором культура живых нейронов выполняет функцию динамической управляемой среды для модуляции оптического излучения [2].

Принцип действия модулятора основан на следующей последовательности процессов:

- формирование оптического сигнала накачки: в нейронную культуру вводится зондирующее лазерное излучение;

- управление нейронной активностью: с помощью оптогенетических методов (световые импульсы через микро-светодиодную матрицу) или электрической стимуляции (через мультиэлектродные массивы) инициируются потенциалы действия в заданных нейронах;

- возникновение оптического отклика: изменения мембранного потенциала и ионных градиентов вызывают локальные флуктуации показателя преломления, которые модулируют фазу и/или амплитуду проходящего зондирующего излучения;

- считывание модулированного сигнала: прошедшее через нейронную культуру излучение регистрируется фотодетектором; характер модуляции несет информацию о паттерне нейрональной активности.

Критическим преимуществом такой схемы является возможность использования естественных механизмов синаптической пластичности. В отличие от искусственных фотонных нейросетей, где весовые коэффициенты задаются внешним программированием, биологическая нейронная сеть способна к самообучению: эффективность синаптических связей изменяется в зависимости от истории активности, что ведет к реконфигурации оптических свойств среды [2].

Экспериментальные данные свидетельствуют, что синхронная активация группы нейронов, связанных синаптическими контактами, приводит к суммации оптических эффектов [4]. Это наблюдение принципиально важно для масштабирования нейрооптических устройств. Если единичный нейрон создает локальное возмущение показателя преломления в субмикронной области, то нейронный ансамбль способен формировать пространственно распределенную оптическую структуру – фактически, динамическую голограмму, записанную самой нейронной сетью. При этом ориентация аксонных пучков создает анизотропию светораспространения, что позволяет реализовать векторное управление оптическими свойствами среды. Иными словами, пространственная организация нейронных связей кодирует не только вычислительную архитектуру сети, но и оптическую «разметку» среды.

Преимущества биологических нейрооптических систем:

- истинная пластичность и самоорганизация. Живые нейроны реализуют гомеостатические механизмы, синаптическую пластичность (долговременную потенцию/депрессию), спонтанную реорганизацию связей;

- энергоэффективность. Мозг потребляет ~20 Вт при колоссальной вычислительной мощности; фотонные чипы, хотя и энергоэффективнее электронных, пока не достигают биологической эффективности;

- самовосстановление. Биологические ткани обладают репаративными способностями, что потенциально увеличивает живучесть гибридной системы.

Преимущества синтетических фотонных систем:

- технологичность. Производство фотонных чипов совместимо с существующей полупроводниковой индустрией;

- стабильность. Отсутствие проблем жизнеобеспечения, дрейфа параметров, гибели клеток;

- масштабируемость. Фотонные чипы могут быть интегрированы в стандартные вычислительные системы;

- скорость. Оптические переключения могут достигать фемтосекундных временных масштабов, тогда как биологические нейроны работают в миллисекундном диапазоне;

Исходя из всего вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что нейрооптика как направление, исследующее возможности использования живых нейронов для управления светом, находится на ранней стадии формирования. Ключевые вызовы, стоящие перед областью, включают:

1) обеспечение долгосрочной жизнеспособности нейронных культур в условиях оптического нагружения;

2) разработку интерфейсов сопряжения «биология-волновод»;

3) создание компактных систем жизнеобеспечения;

4) повышение стабильности и воспроизводимости оптического отклика.

Преодоление этих барьеров потребует междисциплинарных усилий нейробиологов, оптиков, материаловедов и инженеров. В долгосрочной перспективе нейрооптические системы могут найти применение в областях, где критически важна адаптивность и способность к обучению в реальном времени: нейропротезирование с обратной оптической связью, адаптивные оптические вычислители, интерфейсы «мозг – оптическое устройство» нового поколения.

Литература

- [1]. Доронина-Амитонова, Л.В., Федотов, И.В., Федотов, А.Б., Анохин, К.В., Жёлтиков, А.М. Нейрофотоника: оптические методы исследования и управления мозгом. Успехи физических наук // 2021, 185(4), 371-392.
- [2]. Скиданов, Р.В., Ханенко, Ю.В., Морозов, А.Е., Пронин, А.С., Сорокин, Д.М. Дифракционные нейронные сети на основе 4F-схемы с жидкокристаллическими модуляторами света // Оптический журнал. 2025. Т. 92, №12, 66–76. Текст : электронный // Научно-технический оптический журнал URL: <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2025-92-12-66-76> (дата обращения: 05.03.2026). Режим доступа: для авториз. пользователей.
- [3]. Ерофеев А.И., Матвеев М.В., Терехин С.Г., Захарова О.А., Плотникова П.В., Власова О.Л. Оптогенетика - новый метод исследования нейрональной активности // Биофизика и медицинская физика 2025. №577, 112–140. Текст: электронный // КиберЛенинка URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optogenetika-novyy-metod-issledovaniya-neyrionalnoy-aktivnosti> (дата обращения: 05.03.2026). Режим доступа: для авториз. пользователей.
- [4]. Любчик В. Н., Дусалеева Т. М., Мельцева Е.М Применение цветowych систем и развитие цветотерапии и оптогенетики для целей реабилитации // Вестник физиотерапии и курортологии № 1, 2021, 57–60. Текст: электронный // КиберЛенинка URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tsvetovyh-sistem-i-razvitiye-tsvetoterapii-i-optogenetiki-dlya-tseley-reabilitatsii> (дата обращения: 05.03.2026). Режим доступа: для авториз. пользователей.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ИНТЕРНЕТ-РАДИО

В конце 19 века человечество совершило прорыв в области передачи сигналов. В это время активно расширялись и строились города, развивалась промышленность, внедрялось в привычный образ жизни электричество. Все это подтолкнуло ученых к поиску новых методик передачи информации. Требовалось устройство с быстрой работой на дальние расстояния, но при этом не требующее проводного соединения. Таким образом появилось радиовещание. Началось все с традиционного радио, в 1895 году российский ученый Александр Попов продемонстрировал первую систему передачи сигналов посредством электромагнитных волн. Изначально радио использовалось только для передачи информации в специализированных службах, однако, в начале 20 века начинается массовое вещание музыки и программ. После этого радиовещание становится средством массовой коммуникации. Во второй половине 20 века радио превращается в инструмент массовой пропаганды, культуры и образования, осуществляются трансляции радиоспектаклей, образовательных программ и музыкальных шоу. В конце 20 века появляются станции для международного вещания. Развитие традиционного радио приводит в конце 20 века к переходу от аналоговых технологий к цифровым технологиям. С появлением сети интернет радиовещание входит в новую эпоху – появляется интернет-радио [1].

Целью работы является разработка интернет-радио, основными функциями которого является вещание выбранных пользователем радиостанций с дополнительным графическим отображением визуальных эффектов. Структурная схема разрабатываемого устройства показана на рисунке 1.

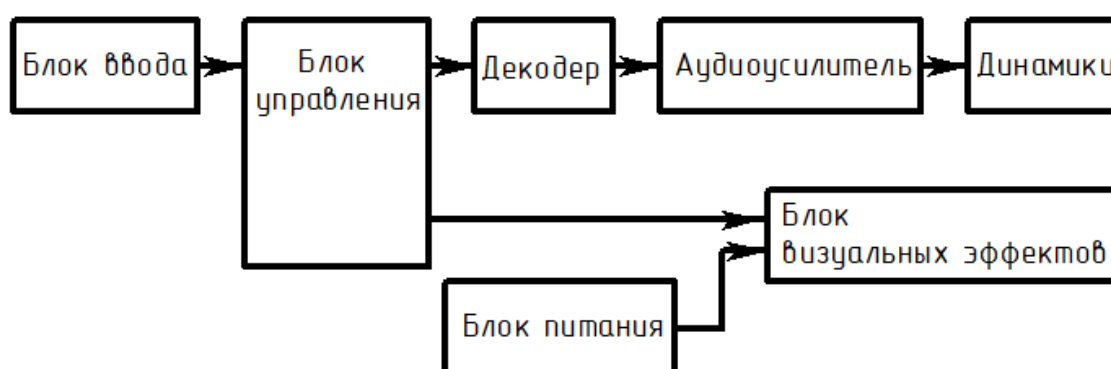


Рисунок 1 – Структурная схема интернет-радио

Структура интернет-радио, следующая: блок ввода, блок управления, декодер, аудиоусилитель, динамики, блок визуальных эффектов с собственным блоком питания. Для работы интернет-радио блок управления должен содержать микроконтроллер с встроенным модулем *Wi-Fi*. Принцип работы устройства

заключается в следующем: микроконтроллер подключается к сети интернет через Wi-Fi, он получает доступ к потоковым веб-сайтам, ведущим радиотрансляцию. Адреса сайтов пользователь указывает при прошивке микроконтроллера, и они хранятся в памяти программ. Сайты выбираются исходя из предпочтений пользователя. Полученные аудиоданные поступают на декодер. Декодированный аудиосигнал усиливается с помощью усилителя и воспроизводится через два динамика. Трансляцию радиоэфира сопровождают визуальные эффекты.

Для реализации устройства понадобятся следующие основные модули:

- энкодер. Необходим для управления функциями устройства;
- микроконтроллер со встроенным Wi-Fi-модулем. Необходим для получения информации из сети интернет и связи между основными модулями устройства;
- цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Необходим для декодирования аудиосигнала;
- усилитель. Необходим для усиления декодированного звука;
- динамики. Необходимы для вывода обработанного аудиосигнала;
- светодиодные матрицы. Необходимо для отображения визуальных эффектов;
- блок питания. Необходим для питания светодиодных матриц. Отдельный источник используется для снижения шумов.

Интернет-радио будет спроектировано в корпусе головы робота Бендера [2] из научно-фантастического мультсериала «Футурама» (рисунок 2). Визуализированы будут глаза и рот.

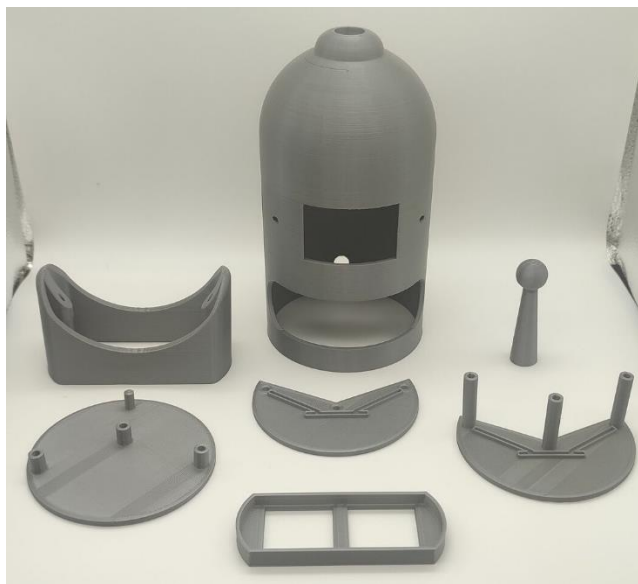


Рисунок 2 – Корпус для интернет-радио

В связи с данным выбором корпуса для разработки интернет-радио потребуется 5 светодиодных матриц: две – для глаз, три – для рта. Для глаз предусмотрено два эффекта: эффект слежения в режиме воспроизведения и

эффект злых глаз при смене параметров радио. В режиме воспроизведения на матрицах рта будет отображаться случайная волна, двигающаяся под музыку, а при смене параметров радио на эти матрицы будет выводиться информация об изменяемых параметрах: громкость, радиоволна.

Функциональная схема интернет-радио представлена на рисунке 3.

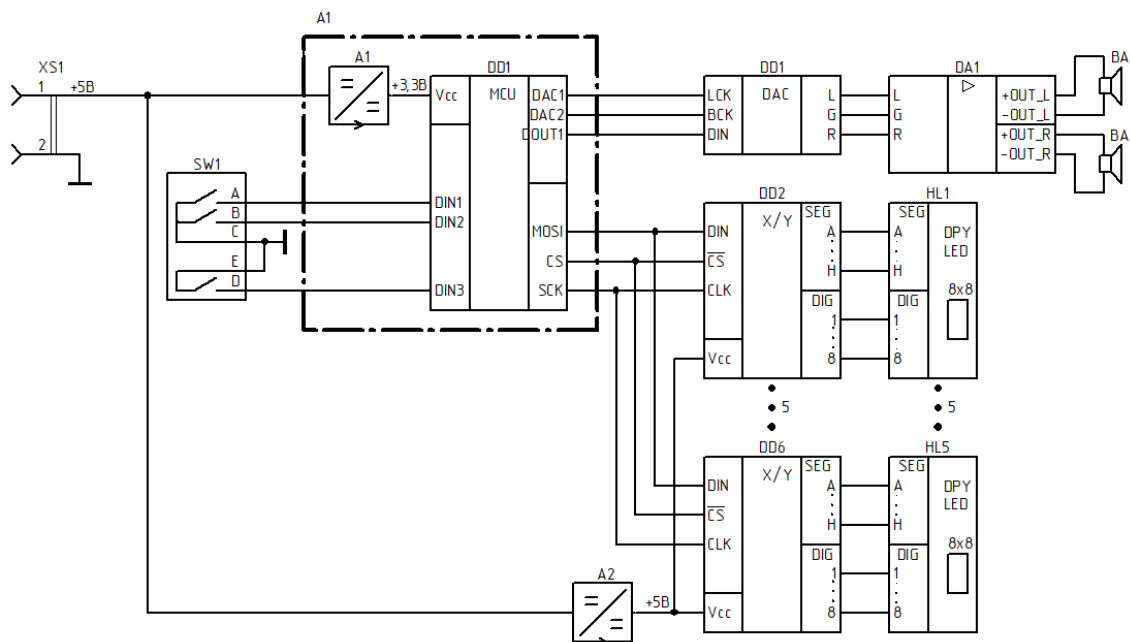


Рисунок 3 – Функциональная схема интернет-радио

Питание устройства осуществляется через разъем *XS1* от внешнего источника питания на 5В. Для микроконтроллера *DD1*, входящего в блок управления *A1* необходим собственный источник питания на 3,3В. Модуль блока управления обладает встроенным *Wi-Fi*-модулем. Через этот модуль осуществляется подключение к *Wi-Fi*-роутеру, через который пользователь может подключиться к выбранным радиостанциям. Настройка протоколов *Wi-Fi* и выбранные станции хранятся в памяти программ микроконтроллера. С помощью энкодера *SW1* осуществляются следующие операции:

- включение/выключение устройства;
- смена радиостанции;
- управление визуальными эффектами;
- управление громкостью.

Аудиосигнал проигрывается двумя динамиками, *BA1* и *BA2*. Перед этим сигнал декодируется ЦАП *DD1* и усиливается аудиоусилителем *DA1*. Визуальные эффекты прописываются пользователем и хранятся в памяти программ микроконтроллера и выводятся на светодиодные матрицы 8x8 *HL1...HL5*. Подключение светодиодных матриц к микроконтроллеру осуществляется через драйверы *DD2...DD6* по интерфейсу *SPI*, что позволяет сократить количество линий связи.

Компонентная база, используемая при разработке интернет-радио, следующая:

- отладочная плата ESP32-DevKit;
- модуль светодиодной матрицы 8x8 MAX7219;
- модуль ЦАП GY-PCM5102;
- модуль аудиоусилителя с регулировкой громкости PAM8403;
- модуль поворотного энкодера с кнопкой EC11;
- мини-динамики AIYIMA.

Использование готовых модулей позволяет упростить сборку, а использование готовых библиотек – настройку изделия.

Таким образом, предлагаемое решение позволяет в домашних условиях разработать интересное электронное устройство, которое, помимо возможности транслировать радио, обладает яркими визуальными эффектами. Ко всему прочему, воспроизводимые станции и сопровождающие эффекты можно запрограммировать под свои интересы. Также возможна модификация устройства путем добавления SD-карты для воспроизведения материалов из аудиокolleкции пользователя. Еще одна возможная модификация – подключение к устройству через смартфон по интерфейсу *Bluetooth* для удаленной настройки параметров интернет-радио.

Литература

- [1]. ЛЕО ТЕЛЕКОМ [Электронный ресурс]. – URL: <https://leo.ru/faq/articles/istoriya-radiosvyazi-ot-eksperimentov-do-tsifrovoyu-epokhi>. Режим доступа: свободный. Дата обращения: 20.01.2026.
- [2]. Яндекс Маркет [Электронный ресурс]. – URL: https://market.yandex.ru/card/komplekt-plastikovogo-korpusa-dlya-internet-radio-v-forme-golovy-bendera-benderadio/103631579571?do-waremd5=b-O_dbiat0aupzPAvOzMnw&clid=703&ogV=-11. / Режим доступа: свободный. Дата обращения: 20.01.2026.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Современное промышленное строительство предъявляет повышенные требования к системам искусственного освещения. От правильности светотехнических расчетов зависят не только условия труда персонала и безопасность производства, но и энергоэффективность предприятия в целом. Особое внимание при проектировании уделяется вспомогательным помещениям: с распределительным устройством, вентиляционной камерам, административно – бытовым помещениям. Несмотря на их вспомогательную роль, именно здесь часто сосредоточены ключевые узлы управления производством и инженерной инфраструктурой.

В последние годы светодиодные источники света уверенно вытесняют традиционные лампы накаливания и люминесцентные лампы благодаря высокой световой отдаче (до 120-150 лм/Вт), длительному сроку службы и экологичности. Однако проектирование светодиодного освещения имеет свою специфику, связанную с особенностями кривых сил света (КСС) и необходимостью учета пульсаций.

Цель настоящей работы – выполнить комплексный светотехнический расчет осветительной сети для блока вспомогательных помещений с применением современных светодиодных светильников и оценить их энергоэффективность по сравнению с традиционными решениями.

Объектом проектирования выступают черты характерных вспомогательных помещения (рис. 1):

РУ – 10 кВ (распределительное устройство высокого напряжения) – 18 х 6 м, высота 5,2 м.

РУ – 0,4 кВ (низкого напряжения) – 18 х 6 м, высота 5,2 м.

Вентиляционная камера (ВК) – 18 х 6 м, высота 5,2 м.

Склад – 9 х 6 м, высота 5,2 м.

Принимаем к установке светодиодные светильники промышленного исполнения со следующими характеристиками:

КСС типа Д – косинусная, оптимальная для помещений с нормированной освещенностью до 200 лк;

Цветовая температура 4000 - 5000 К (нейтральный белый свет);

Индекс цветопередачи $R_a > 80$;

Коэффициент пульсации менее 5% (наличие драйвера с высокочастотным преобразователем);

Степень защиты IP54 для РУ и венткамеры, IP44 для склада.

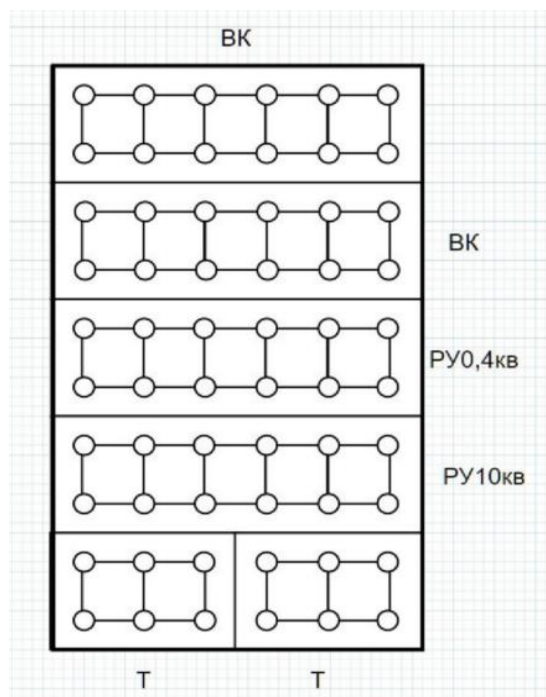


Рисунок 4 – Размещение светильников вспомогательных помещений

Порядок расчета:

Определение расчетной высоты подвеса светильников:

$$h_p = H - h_c - h_{pn},$$

где H – высота помещения, м; h_c – высота свеса светильников, м; h_{pn} – высота рабочей поверхности, м.

Определение оптимального расстояния между светильниками:

$$L = h_p \cdot \lambda,$$

где λ – коэффициент, зависящий от КСС (для КСС – Д, $\lambda = 1,2 - 1,6$).

Предварительное размещение светильников и уточнение их количества.

Расчет светового потока одного светильника методом коэффициента использования:

$$\Phi = \frac{E_H \times S \times k \times z}{N \times \eta},$$

где E_H – нормируемая освещенность, лк; S – площадь помещения, м²; k – коэффициент запаса (для светодиодов принимаем 1,3); z – коэффициент минимальной освещенности (1,1 для светодиодных источников); N – число светильников; η – коэффициент использования светового потока.

Выбор ближайшего по световому потоку стандартного светильника и проверка отклонения:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi - \Phi_p}{\Phi_p} \times 100\%$$

Нормированная освещенность для всех помещений принята 100 лк согласно СП 52.13330.2016 для вспомогательных помещений с постоянным пребыванием людей.

Выполним светотехнический расчет.

Расчетная высота подвеса:

$$h_p = 5,2 - 1,0 - 1,5 = 2,7 \text{ м.}$$

Оптимальное расстояние между светильниками:

$$L = 2,7 \cdot 1,2 \approx 3 \text{ м.}$$

Количество светильников в ряду: $18/3 = 6$ шт.

Количество рядов: $6/3 = 2$ шт.

Общее число светильников: $N = 6 \cdot 2 = 12$ шт.

Расстояние от крайних светильников до стен: 1,5 м.

Площадь помещения: $S = 18 \cdot 6 = 108 \text{ м}^2$.

Индекс помещения:

$$i = \frac{18 \cdot 6}{2,7 \cdot (18 + 6)} = 1,67.$$

Для $i = 1,67$, коэффициентов отражения потолка, стен, пола (принимая 70%, 50%, 30%) и КСС-Д коэффициент использования $\eta = 0,62$ (интерполяция табличных значений для светодиодных светильников).

Требуемый световой поток одного светильника:

$$\Phi = \frac{100 \cdot 108 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,62} \approx 2076 \text{ лм.}$$

Выбираем светодиодный промышленный светильник СД-Пром-20 мощностью 20 Вт со световым потоком 2100 лм (световая отдача 105 лм/Вт). Отклонение расчетного потока:

$$\Delta\Phi = \frac{2100 - 2076}{2076} \cdot 100\% = 1,2\%.$$

Установленная мощность осветительной установки: $P_{\text{уст}} = 12 \cdot 20 = 240 \text{ Вт.}$

Удельная мощность: $\omega = P_{\text{уст}} / S = 240/108 = 2,22 \text{ Вт/м}^2$.

Полученные значения установленной мощности значительно ниже нормативных значений, приводимых в справочной литературе для люминесцентных светильников. Это подтверждает энергетическую эффективность светодиодных решений. При сохранении нормируемой освещенности 100 лк потребляемая мощность снижается почти в три раза, что дает существенную экономию электроэнергии.

Коэффициент использования светового потока для светодиодных источников с косинусной КСС оказался достаточно высок благодаря

правильному выбору оптимального расстояния между светильниками и учету коэффициентов отражения. Все отклонения расчетного светового потока от стандартного составляет 1,2%, что гарантирует выполнение требований по освещенности без избыточного запаса.

Следует также отметить, что применяемые светильники оснащены электронными драйверами с коэффициентом мощности более 0,95, что снижает потери в питающей сети и соответствует современным стандартам качества электроэнергии.

Таким образом, предложенная система освещения полностью соответствует требованиям нормативных документов, обеспечивает необходимые условия для безопасной эксплуатации вспомогательных помещений и отличается высокими показателями энергоэффективности.

Литература

- [1]. Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения. – СПб.: Энергоатомиздат, 2010.
- [2]. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение: учебное пособие. – Минск: Техноперспектива, 2011.

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

УЧЕТ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Разработка печатных плат для космической аппаратуры относится к числу задач повышенной технической ответственности, поскольку печатная плата в составе бортовой аппаратуры выполняет одновременно несущую, межсоединительную, теплоотводящую и технологическую функции. В отличие от изделий общего назначения, космическая печатная плата должна сохранять работоспособность после воздействия вибрационных и ударных нагрузок запуска, в условиях вакуума, циклического изменения температуры, повышенного уровня ионизирующего излучения и при невозможности ремонта в течение всего срока активного существования космического аппарата [1].

Совокупность требований к такой плате определяется не одним параметром, а взаимодействием материаловедческих, конструктивных и технологических факторов. На уровне материалов необходимо обеспечить низкое газовыделение, ограниченное влагопоглощение, высокую температуру стеклования, достаточную температуру термодеструкции и согласование коэффициентов теплового расширения диэлектрика, медной фольги, металлизации отверстий и корпусов электронных компонентов. На уровне конструкции требуется формирование многослойного стека, обеспечивающего электромагнитную совместимость, тепловой отвод, механическую жесткость и ресурс межслойных соединений. На уровне технологии критичны чистота производственного

процесса, контролируемость металлизации, качество пайкопригодных покрытий и полная прослеживаемость материалов и операций [2].

Целью работы является систематизация требований к печатным платам космического назначения и определение набора свойств, обеспечивающих их надежное применение в составе бортовой электронной аппаратуры.

В общем виде совокупность требований к печатной плате космического назначения может быть представлена в виде структурной схемы, отражающей взаимосвязь материалов, конструкции и технологических факторов. На рисунке 1 приведена структурная схема, в которой центральным объектом является печатная плата космического назначения, а периферийные блоки задают основные группы требований, определяющие ее пригодность к эксплуатации в составе космической аппаратуры.

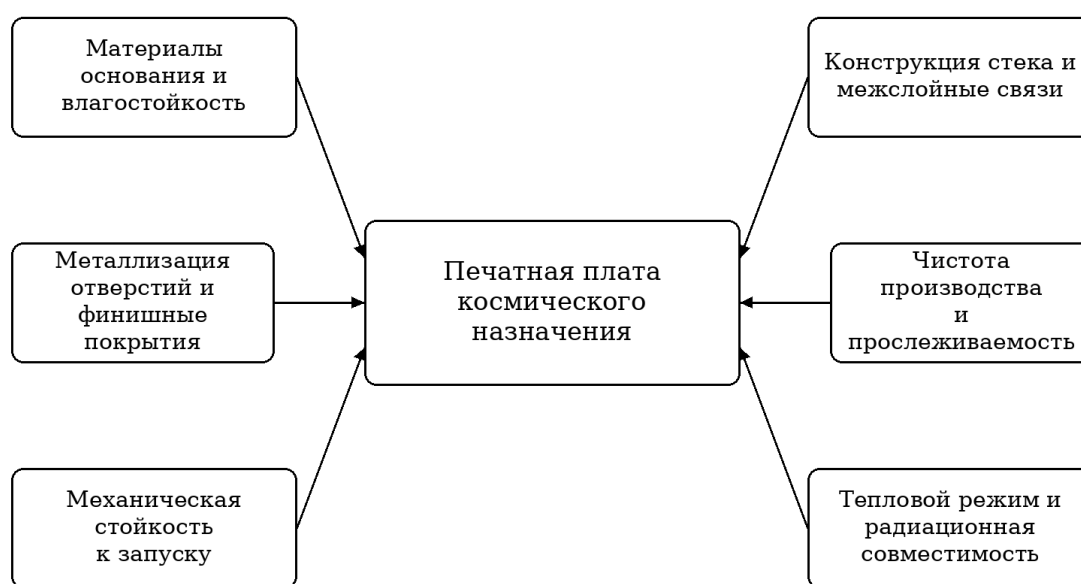


Рисунок 1 – Структурная схема требований к печатной плате космического назначения

Ключевое значение при выборе материала основания имеют его термомеханические и вакуумные характеристики. Для ответственных узлов космической аппаратуры наиболее предпочтительны полиимидные диэлектрики, отличающиеся повышенной термостойкостью, стабильностью размеров и лучшей сохранностью свойств при длительном термоциклировании [3].

Полиимидные системы целесообразны для многослойных жестких и гибко-жестких конструкций, в которых ожидаются значительные температурные градиенты и повышенные механические напряжения в области металлизированных отверстий. Наряду с этим применяются композиции на основе цианат-эфирных смол, представляющие интерес вследствие пониженного влагопоглощения, сравнительно низкой диэлектрической проницаемости и хорошей размерной стабильности. Эпоксидные стеклотекстолиты типа FR-4 в их стандартном исполнении, как правило, не

рассматриваются как предпочтительная основа для длительно функционирующей аппаратуры высокого уровня ответственности, поскольку их ресурс по термоциклированию и вакуумная совместимость существенно зависят от конкретной рецептуры смолы и состава наполнителя.

Материал основания должен характеризоваться низкими значениями остаточной потери массы и конденсируемых летучих веществ, поскольку в условиях вакуума летучие фракции полимерной матрицы, паяльной маски, клеевых систем и компаундов способны мигрировать и осаждаться на оптических поверхностях, солнечных батареях, контактах и чувствительных датчиках. По этой причине выбор диэлектрика, препрегов, клеев и защитных покрытий выполняют только по материалам, прошедшим квалификацию по критериям outgassing. Не менее важно и влагопоглощение: материал, накопивший влагу на этапах хранения и сборки, при последующем вакуумировании и нагреве способен демонстрировать ухудшение адгезионных свойств, изменение диэлектрических параметров и рост риска межслойной деградации.

Термомеханическая стойкость многослойной платы определяется прежде всего температурой стеклования T_g , температурой разложения T_d , модулем упругости полимерной матрицы и коэффициентом теплового расширения по осям X , Y и особенно Z . Для космического применения особую опасность представляет рост деформаций по толщине платы, так как именно он инициирует накопление усталостных повреждений в зоне металлизации переходных отверстий. Поэтому при выборе материала предпочтение следует отдавать системам с повышенной T_g и пониженным коэффициентом теплового расширения по оси Z , а при формировании стека необходимо обеспечивать симметрию слоев, равномерность распределения меди и минимизацию локальных областей с резко отличающейся жесткостью.

Конструкция многослойного стека должна обеспечивать одновременно электрическую функциональность и механическую устойчивость. Толщины сердечников и препрегов выбирают не только из условий электрической изоляции, но и с учетом жесткости платы, допустимой массы, ресурса межслойных соединений и теплового сопротивления. Для высоконадежной аппаратуры характерно использование симметричных стеков, исключая коробление после ламинации и пайки. Распределение полигонов меди по слоям должно быть максимально уравновешенным, поскольку выраженная асимметрия вызывает остаточные напряжения и приводит к потере плоскостности. В силовых и вычислительных узлах особое внимание уделяют сочетанию сигнальных, опорных и теплоотводящих слоев, а также числу тепловых переходных отверстий, связывающих источник тепла с корпусом прибора.

К числу наиболее критичных элементов космической печатной платы относятся металлизированные отверстия и межслойные соединения. Надежность этих элементов определяется качеством сверления, состоянием стенок отверстия после десмирования, полнотой химической активации, однородностью гальванического осаждения меди и отсутствием пустот, раковин, расслоений и

микротрещин. При проектировании необходимо ограничивать чрезмерное отношение толщины платы к диаметру отверстия, обеспечивать достаточную ширину кольцевых поясков, а для мелкогазмерных переходов использовать геометрию, подтвержденную технологической квалификацией конкретного производства. В условиях термоциклической нагрузки именно зона перехода «площадка – цилиндр металлизации» является одной из наиболее чувствительных к усталостному разрушению, что требует повышенного внимания к микрошлифам и результатам ресурсных испытаний купонов.

Материал медной фольги и состояние ее поверхности также оказывают существенное влияние на долговечность конструкции. Электроосажденная и прокатанная медь различаются по структуре зерна, шероховатости и поведению при циклическом нагружении, поэтому тип фольги выбирают с учетом назначения платы, частотного диапазона и ожидаемых механических деформаций. Для ВЧ-узлов предпочтительна ограниченная шероховатость проводников, однако снижение шероховатости не должно ухудшать адгезию к основанию. В гибких и гибко-жестких участках решающим становится сопротивление меди усталостному изгибу.

Не менее значим выбор финишного покрытия контактных площадок. Для космической аппаратуры недопустимо применение поверхностей, склонных к образованию whisker-структур, поэтому использование чистого олова считается нежелательным. Наиболее распространенными являются никель-золотые системы и покрытия, совместимые с традиционными оловянно-свинцовыми припоями, при этом выбор конкретного финиша определяется типом монтажа, длительностью хранения, требованиями к контактному сопротивлению и стойкостью к повторным тепловым циклам. Паяльная маска и защитные покрытия также должны удовлетворять требованиям низкого газовыделения, радиационной и термической стойкости, а их адгезия к основанию и меди должна быть подтверждена испытаниями. Для гибких участков вместо классической маски часто применяют полимерный coverlay, обладающий более высокой механической живучестью при локальном изгибе.

Тепловой дизайн печатной платы в космической аппаратуре имеет принципиальное значение, поскольку в условиях отсутствия конвективного теплообмена отвод тепла происходит главным образом за счет теплопроводности по конструкционным элементам и лучистого теплообмена через корпус прибора. Следовательно, печатная плата должна рассматриваться как часть теплового тракта изделия. Для силовых преобразователей, вычислительных модулей и радиочастотных блоков предусматривают локальные медные теплорассеивающие области, тепловые via, утолщенную медь на отдельных слоях, а также контролируемый интерфейс между платой и теплоотводящими элементами корпуса. Недостаточно учитывать только максимальную температуру компонента; необходимо анализировать температурные градиенты по площади и толщине платы, поскольку именно они формируют дополнительное термомеханическое напряжение.

Механическая прочность платы должна подтверждаться не только расчетом, но и соответствием компоновочных решений характеру нагрузок запуска. Положение точек крепления, толщина платы, расстояние между опорами, расположение тяжелых компонентов и наличие локальных вырезов непосредственно влияют на собственные частоты конструкции и уровень изгибных деформаций. Массоинерционные элементы – крупные конденсаторы, дроссели, разъемы, трансформаторы и экранирующие кожухи – целесообразно размещать вблизи зон крепления и при необходимости дополнительно фиксировать клеевыми или механическими элементами. В противном случае повышается риск усталостного разрушения пайки, отрыва площадок и образования трещин в металлизации отверстий.

Радиационная среда воздействует прежде всего на электронную компонентную базу, однако требования радиационной стойкости влияют и на плату как на часть общей архитектуры изделия. Конструкция платы должна обеспечивать возможность резервирования критических цепей, корректное разведение силовых и сигнальных шин, минимизацию паразитных связей, устойчивое заземление и размещение компонентов с учетом локального экранирования. Для длительных миссий существенными становятся вопросы совместимости полимерных материалов с накопленной дозой и возможного изменения их электрических параметров под воздействием ионизирующего излучения. Хотя деградация диэлектрика обычно не является первым ограничивающим фактором, она должна учитываться в совокупности с тепловыми и вакуумными воздействиями.

Отдельного рассмотрения требует чистота производства. Остатки флюса, ионные загрязнения, частицы абразива и продукты неполного удаления смолы способны вызывать поверхностные токи утечки, электрохимическую миграцию и снижение сопротивления изоляции, что особенно критично для высокоомных, высоковольтных и высокочувствительных измерительных цепей. Поэтому технологический процесс изготовления и сборки космических печатных плат включает строгий контроль отмывки, чистоты воды, режимов сушки, условий хранения заготовок, сроков годности материалов и результатов аналитических испытаний на загрязненность. Важнейшим элементом обеспечения качества является полная прослеживаемость: каждая партия диэлектрика, препрега, медной фольги, химических реагентов и покрытий должна быть связана с конкретной серией плат, купонов и протоколами испытаний.

Таким образом, печатная плата, предназначенная для применения в космической аппаратуре, должна обладать совокупностью взаимосвязанных свойств: низким газовыделением, высокой термомеханической стабильностью, устойчивостью к вибрационным и ударным нагрузкам запуска, надежностью металлизированных отверстий и межслойных соединений, контролируемыми тепловыми характеристиками, технологической чистотой и полной прослеживаемостью материалов и операций. Только при одновременном выполнении материаловедческих, конструктивных и технологических

требований печатная плата может рассматриваться как элемент, пригодный для длительной и безотказной эксплуатации в составе космического изделия.

Литература

- [1]. ECSS-Q-ST-70-60C Rev.1. Qualification and procurement of printed circuit boards. European Cooperation for Space Standardization, 2025.
- [2]. ECSS-Q-ST-70-12C Rev.1. Design rules for printed circuit boards. European Cooperation for Space Standardization, 2025.
- [3]. ECSS-Q-ST-70-61C. High reliability assembly for surface mount and through-hole connections. European Cooperation for Space Standardization, 2022.

*И.С. Греченкова, асп.; рук. А.А. Фадеичев, к.т.н.
ФГАОУ ВО «НИУ «МИЭТ» г. Москва*

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Системы искусственного интеллекта (СИИ) представляют собой комплекс программно-аппаратных решений, предназначенных для интеллектуальной обработки данных, выявления скрытых зависимостей и формирования обоснованных управленческих решений в условиях неопределенности.

СИИ классифицируются в ГОСТ Р 59277-2020 по 12 основаниям, в которых отражаются ключевые особенности СИИ для прикладных задач [1]:

- по степени автономности;
- по степени автоматизации;
- по архитектурному принципу;
- по структуре обработки знаний;
- по специализации;
- по методам обработки информации;
- по функциям в контуре управления;
- по методам интеграции и интероперабельности;
- по опасности последствий;
- по конфиденциальности;
- по видам деятельности;
- по взаимодействию с человеком-оператором.

ГОСТ определяет единые требования к СИИ для различных отраслей применения.

Термины «искусственный интеллект», «машинное обучение» (МО) и «нейронные сети» (НС) (рис.1) часто ошибочно отождествляют, несмотря на их различия по уровням сложности и функциональности, однако они являются взаимосвязанными элементами общей системы искусственного интеллекта [2].

Главная задача СИИ – распознавание и имитация работы человеческого интеллекта.

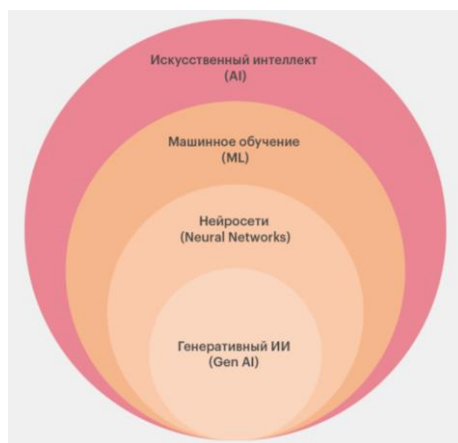


Рисунок 5 – Составляющие СИИ

По уровням развития СИИ делится на три группы:

- слабый (Weak, или Narrow AI) – узкоспециализированный ИИ, например, нейросетевые технологии;
- сильный (Strong, или General AI) – перспективная форма ИИ, обладающая универсальными способностями, эквивалентными человеческому мышлению;
- суперинтеллект (Superintelligence) – гипотетическая, еще не созданная система, обладающая интеллектом, который значительно превышает человеческие способности во всех областях.

Современный этап развития ИИ характеризуется доминированием нейросетевых технологий и несмотря на то, что они достигли высокого уровня развития, их число постоянно увеличивается.

Нейросеть – программа для обработки данных с помощью математической модели, которая имитирует нейронные связи человеческого мозга. В основе современных нейросетей лежит машинное обучение.

Машинное обучение (МО, англ. machine learning) – раздел ИИ, использующий алгоритмы для анализа данных, вывода закономерностей и предсказаний. В отличие от традиционного программирования, МО позволяет системе самостоятельно осваивать решение задач на основе примеров, без жёстко заданных команд.

Ключевые компоненты МО:

- алгоритм – программа, определяющая логику обработки (например, классификация объектов: самолёт, дрон, ракета по траектории и сигнатуре);
- набор данных – обучающие примеры (большое количество снимков с БПЛА);
- признаки – ключевые характеристики для анализа: при обучении с учителем (разметка вручную: тепловой след, отражающая поверхность объекта); без учителя – автоматическое выделение шаблонов в разведданных.

Принцип работы нейросети предполагает последовательное выполнение четырех этапов: подача входного слоя (изображение беспилотного летательного аппарата), его обработка скрытыми слоями нейросети (оценка признаков (форма, скорость), поиск шаблонов), получение результата на выходе (определение типа

объекта) и обучение (сравнение с правильным ответом, корректировка веса связей, повторяющаяся многократно).

Нейросети классифицируются по архитектуре, режиму обучения и природе данных:

Архитектура: перцептроны (линейная классификация), многослойные перцептроны (MLP, глубокое обучение), рекуррентные сети (RNN для траекторного прогнозирования), сверточные сети (CNN для изображений РЛС), трансформеры (механизм внимания для мультимодальных данных).

Обучение: с учителем (регрессия/классификация по размеченным траекториям), без учителя (кластеризация неидентифицированных угроз), с подкреплением (адаптация в роевом противодействии).

Данные: непрерывные (скорость, высота), дискретные (тип объекта), пространственно-временные (видеопотоки).

Нейросети используются во всех сферах жизнедеятельности, включая оборону государства. В военной области нейросети внедряются в автоматизированные системы управления, а также системы обнаружения и нейтрализации БПЛА.

Одним из перспективных направлений развития и применения нейросети являются специальные устройства – перехватчики БПЛА, которые могут использоваться как в гражданской (перехват БПЛА на территориях, запрещенных для полетов), так и в военной сферах (для защиты гражданских объектов).

Из открытых источников известно, что российские БПЛА-перехватчики «Елка» используют многослойные перцептроны для сверхбыстрого (менее 50 мс) распознавания БПЛА противника на основе опыта и данных, полученных в современных конфликтах, при этом точность перехвата повышается до 35%, по сравнению с системами без использования ИИ.

Подобные разработки имеются и в других странах, например, украинский Sting и американский Merops используют генеративно-состязательные сети (GAN) для моделирования ложных траекторий в условиях РЭБ, а американский Maven показывает высокую эффективность в обработке видеоизображений для БПЛА RQ-4 Global Hawk с вероятностью обнаружения и распознавания объектов до 95% [3].

Использование нейросетей во всех сферах, в том числе и военной, в настоящее время стандартизировано не в полном объеме. Это составная часть ИИ только начинает применяться, осуществляется поиск решений для использования технологий ИИ, но несмотря на это, использование нейросетей приводит к значительному повышению эффективности во всех сферах применения. Отдельно стоит обратить внимание на необходимость стандартизации СИИ для разработки специализированных решений, особенно это касается оборонных систем противодействия БПЛА, где нейросетевые технологии обеспечивают оперативное целераспределение и минимизацию ложных срабатываний. Дальнейшее развитие требует фокуса на гибридных архитектурах с развитием роевых сценариев управления БПЛА, что значительно

повысит устойчивость оборонных систем к постоянно эволюционирующим угрозам, возникающим от БПЛА.

Литература

- [1]. НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ГОСТ Р 59277– 2020, © Стандартиформ. оформление. 2021
- [2]. Электронный ресурс. https://skillbox.ru/media/code/iskusstvennyy_intellekt_mashinnoe_obuchenie_i_glubokoe_obuchenie_v_chyem_raznitsa/. Дата обращения 11.03.2026
- [3]. Электронный ресурс. <https://profile.ru/scitech/voennye-rossii-i-ssha-prisposablivayut-iskusstvennyj-intellekt-dlya-svoix-nuzhd-133719/>. Дата обращения 13.03.2025

*И.С. Греченкова, асп.; рук. А.А. Фадеичев, к.т.н.
ФГАОУ ВО «НИУ «МИЭТ» г. Москва*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В настоящее время все большее развитие получают системы искусственного интеллекта (СИИ), которые все глубже проникают во все сферы деятельности современного общества. Наиболее значимыми являются системы ИИ, способные обрабатывать информацию и принимать самостоятельные решения, по качеству, сравнимые с человеческими.

СИИ – программные или аппаратные средства, которые применяются для решения сложных задач, требующих интеллектуального анализа и принятия решений, они способны обрабатывать большие объёмы данных, выявлять закономерности и шаблоны, а также выполнять сложные вычисления и прогнозирование различных событий.

Классификация СИИ подробно раскрыта в национальном стандарте Российской Федерации (ГОСТ Р 59277-2020), где установлена схема классификации, отражающая основные особенности СИИ для решения прикладных задач [1].

Вместе с тем, ГОСТ Р 59277-2020 оставляет возможность дополнения классификации СИИ как по новым основаниям, так и путем детализации классов по специализированным классификациям.

Одним из новых подходов к классификации СИИ может быть подход, основанный на способе моделирования интеллекта. В этой классификации предлагается выделить следующие типы СИИ:

экспертные системы – используют знания и опыт экспертов в конкретных областях для решения задач. Они основаны на представлении знаний в виде правил и логических выводов, что позволяет им принимать решения и давать рекомендации, аналогичные человеческим экспертам;

нейронные сети – моделируют работу человеческого мозга и используются для распознавания образов, анализа данных и обучения. Они состоят

из нейронов, соединенных между собой, и передают информацию по связям. Нейронные сети способны обучаться и адаптироваться к новым ситуациям;

генетические алгоритмы – применяют принципы эволюции и генетики для решения задач оптимизации. Они имитируют естественный отбор и мутации для поиска наилучших решений;

системы распознавания образов – применяются для анализа и классификации визуальной информации, могут распознавать лица, объекты, образцы и другие элементы на основе изображений или видео;

робототехника – объединяет аппаратные и программные компоненты, позволяющие роботам взаимодействовать с окружающей средой и выполнять различные задачи, при этом роботы могут быть управляемыми или автономными и применяться в различных сферах, таких как производство, медицина, обслуживание и др.

Перечисленные классы необязательно исключают друг друга: для некоторых СИИ может быть применён только один из классов, а для других – несколько.

Основными областями применения СИИ могут быть:

Государственное управление – СИИ используются в системах управления национальными проектами и госпрограммами: специальные модели анализируют выполнение мероприятий в реальном времени, прогнозируют риски их невыполнения и выявляют связи между проектами, при этом автоматизируется обработка обращений граждан и выполняется анализ трафика (нейронные сети) [2];

системы безопасности – применяются в кибербезопасности, физической защите и анализе угроз, позволяют автоматизировать обнаружение рисков, реагировать в реальном времени и предсказывать атаки на основе больших данных. В кибербезопасности СИИ анализируют сетевой трафик, поведение пользователей и события для выявления аномалий, вредоносного программного обеспечения и DDoS-атак. При обеспечении физической безопасности СИИ широко используют биометрию, распознавание лиц, походки и эмоций для немедленного реагирования на угрозы (системы распознавания образов, нейронные сети) [3];

общетрасловое регулирование – определяются общие принципы и механизмы, применимые ко всем секторам экономики, без привязки к конкретным отраслям, включают упрощение внедрения технологий через регуляторные «песочницы» и полигоны общего доступа (робототехника) [4];

промышленность – повышается эффективность производства и снижаются затраты, особенно СИИ востребованы в предиктивном обслуживании, оптимизации процессов и контроле качества, используются для аналитики оборудования, прогнозирования поломок, выявлении дефектов продукции в реальном времени, позволяют экономить энергию (робототехника, экспертные системы, нейронные сети) [5];

здравоохранение – улучшается диагностика заболеваний, оптимизируется их лечение и управление медицинскими процессами. Особенно востребованы

для анализа изображений, прогнозирования рисков и персонализированной медицины, системы поддержки принятия решений на основе СИИ помогают в подборе терапии, а проактивный мониторинг предсказывает осложнения (нейронные сети, экспертные системы, системы распознавания образов, робототехника; генетические алгоритмы) [6];

торговля – СИИ применяются для автоматизации процессов, анализа данных и улучшения клиентского опыта. Они помогают прогнозировать спрос, оптимизировать поставки и персонализировать предложения, анализируют поведение покупателей, отслеживают покупки и прогнозируют будущие предпочтения. Также СИИ автоматизируют ценообразование, учитывая спрос, конкурентов и сезонность, а также управляют цепочками поставок для минимизации издержек. Чат-боты и виртуальные ассистенты обеспечивают круглосуточную поддержку, повышая лояльность покупателей (нейронные сети, экспертные системы, системы распознавания образов) [7];

финансовая сфера и банки – СИИ применяются для автоматизации процессов, повышения безопасности и персонализации услуг, выявляют случаи мошенничества, осуществляют управление рисками и персонализируют предложения для клиентов (нейронные сети, экспертные системы) [8];

транспорт и логистика – СИИ рассчитывают оптимальные пути доставки, учитывают пробки, погодные условия и состояние дорог, что сокращает время в пути и расход топлива, динамически корректируют маршруты, прогнозируют поломки транспорта, минимизируя простои и риски аварий, организуют управление складами и грузами, снижая ошибки и ускоряя операции, анализируют спрос, оптимизируя запасы и цепочки поставок. В умных транспортных системах управляют трафиком, светофорами и парковками, делая дороги безопаснее (экспертные системы, робототехника) [9];

сельское хозяйство – СИИ применяются для повышения эффективности производства и урожайности, помогают анализировать данные с дронов, спутников и сенсоров, оптимизировать полив, удобрение и борьбу с вредителями, используются для мониторинга посевов, создают карты полей, выявляя болезни, дефицит питательных веществ и вредителей, что снижает расходы на препараты, прогнозируют урожайность, учитывая погоду, состояние почвы и исторические данные. В животноводстве СИИ оптимизируют кормление, разведение и управление фермами (экспертные системы, системы распознавания образов, робототехника, генетические алгоритмы) [10];

концепция «Умный город» использует СИИ для оптимизации городской инфраструктуры, повышения безопасности и качества жизни жителей. Применяется в пяти основных сферах: безопасный город, благосостояние людей, цифровое управление, инвестиции и городская среда (нейросети, экспертные системы, системы распознавания образов);

экология – СИИ помогают решать глобальные проблемы, такие как изменение климата и загрязнение, анализируют огромные данные для прогнозирования катастроф и оптимизации использования природных

ресурсов, улучшают мониторинг окружающей среды через анализ спутниковых снимков и данных сенсоров (нейросети, экспертные системы);

образование и наука – СИИ предлагает инструменты для персонализации обучения и автоматизации исследований. В образовании СИИ персонализируют учебный процесс, подстраивая материалы под уровень и темп каждого обучающегося, а также автоматизируют проверку заданий и создание тестов. В науке СИИ ускоряют поиск и анализ данных, визуализацию результатов, генерацию идей для исследований, а также написание статей. Нейросети помогают обрабатывать большие объемы информации и моделировать сложные процессы (нейросети);

сфера нефти и газа – СИИ повышают эффективность добычи природных ископаемых, способствуют снижению рисков и оптимизации процессов, применяются для анализа данных, предиктивного обслуживания и экологического мониторинга, обрабатывают геологические данные и помогают в поиске новых месторождений (экспертные системы, робототехника).

Применение СИИ не ограничивается рассмотренными направлениями, существуют и другие сферы, где они только зарождаются, при этом каждый из представленных классов систем имеет свои преимущества, ограничения и недостатки, а их применение зависит от конкретных задач и требований. СИИ являются важной частью развития современных технологий, а перспективы их развития остаются одними из самых динамичных, что в ближайшем будущем приведет к появлению новых, так называемых «прорывных» технологий.

Литература

- [1]. НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ГОСТ Р 59277– 2020, © Стандартинформ. оформление. 2021
- [2]. Электронный ресурс. <https://rg.ru/2025/09/11/pravitelstvo-vnedrilo-ii-v-gosudarstvennuiu-sistemu-upravleniia>. Дата обращения 02.03.2026
- [3] Озакман О.А. «Применение систем искусственного интеллекта в защите информации», «Актуальные исследования» #27 (262), июль 2025
- [4]. С. Гарбук «Особенности нормативно-технического регулирования в области ИИ», «Системы безопасности» № 5/2023
- [5]. Электронный ресурс. <https://secrets.tbank.ru/blogi-kompanij/kak-ii-preobrazuet-biznes/>. Дата обращения 02.03.2026
- [6]. Ламоткин А.И., Корабельников Д.И., Ламоткин И.А., Лившиц, С.А., Перевалова Е.Г. «Искусственный интеллект в здравоохранении и медицине: история ключевых событий, его значимость для врачей, уровень развития в разных странах», ФАРМАКОЭКОНОМИКА. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология, Том 17, № 2, 2024
- [7]. Электронный ресурс. <https://iq-media.ru/trends/kak-iskusstvennyy-intellekt-pomogaet-zarabatyvat-bol-she-na-fondovom-rynke>. Дата обращения 02.03.2026
- [8]. Электронный ресурс. <https://bigdata.beeline.ru/blog/articles/iiskusstvennyj-intellekt-banki>. Дата обращения 02.03.2026
- [9]. Электронный ресурс. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50744264>. Дата обращения 02.03.2025
- [10]. Электронный ресурс. <https://yakovpartners.ru/publications/ai-in-agriculture/>. Дата обращения 02.03.2026

ОБЗОР МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОЙ ЮСТИРОВКИ СИСТЕМ ТИПА LWIR-КАМЕРЫ С ЛАЗЕРНЫМ ДАЛЬНОМЕР-ЦЕЛЕУКАЗАТЕЛЕМ

Современные оптико-электронные системы наблюдения и целеуказания, применяемые на авиационных платформах и беспилотных летательных аппаратах, как правило, объединяют в едином корпусе тепловизионную камеру длинноволнового инфракрасного диапазона (*LWIR*, $8\div 14$ мкм) и лазерный дальномер-целеуказатель. Эффективность работы такого комплекса зависит от точности совмещения линий визирования тепловизора и лазера [1, 2]. Оптические оси обоих каналов должны быть строго параллельны.

Первичная юстировка заключается в изначальной настройке параллельности оптических осей тепловизора и лазерного канала. Но также периодический контроль и корректировка параллельности осей необходимы как на этапе производства, так и в полевых условиях перед выполнением задачи. В процессе эксплуатации рассогласование оптических осей может возникать вследствие механических воздействий, вибрации, температурных деформаций конструкции.

LWIR-камера и лазерный канал работают в различных спектральных диапазонах. Камера чувствительна к излучению $8\div 14$ мкм, тогда как лазерный дальномер-целеуказатель излучает на длине волны 1,064 мкм или 1,55 мкм. Тепловизор не может непосредственно наблюдать лазерный луч, что создаёт принципиальные трудности при юстировке. Кроме того, оптические оси тепловизора и лазера разнесены обычно на расстояние нескольких сантиметров. Параллакс, возникающий из-за разнесения осей, компенсируется программно или конструктивно.

Одним из наиболее точных способов является метод термической мишени с коллиматором (рис. 1) [1, 2].

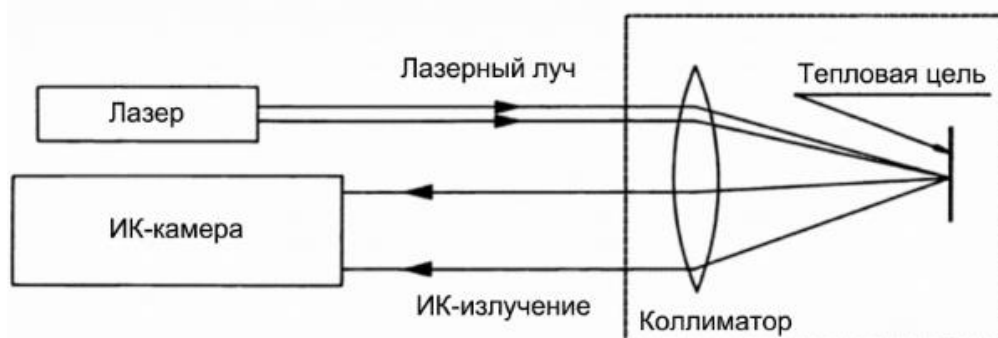


Рисунок 1 – Диаграмма метода юстировки лазера и тепловизора с использованием термической мишени и коллиматора

Он основан на преобразовании лазерного излучения в тепловое. Оптико-электронную систему устанавливают напротив коллиматора в виде

параболического зеркала, на расстоянии $1\div 3$ м. Лазерный луч, отражаясь от зеркала, направляется на поглощающую пластину в фокальной плоскости коллиматора. В месте попадания материал нагревается и испускает тепловое излучение в диапазоне $8\div 14$ мкм. Отражённое зеркалом излучение поступает к тепловизору и наблюдается в виде яркого пятна.

Юстировка выполняется совмещением перекрестия тепловизора с изображением теплового пятна (рис. 2). Точность юстировки составляет $50\div 100$ мкрад [1]. Поскольку коллиматор создаёт параллельный пучок, точность не зависит от дальности до цели при эксплуатации.

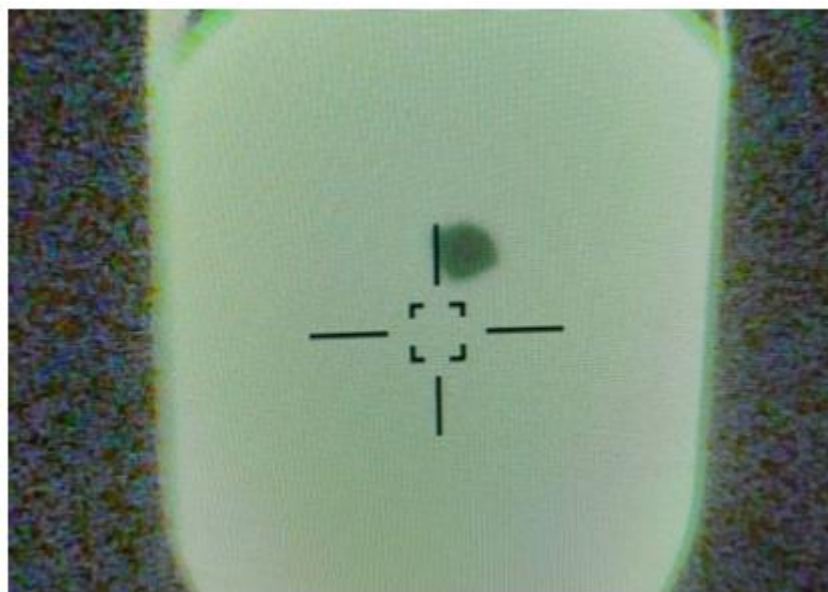


Рисунок 2 – Изображение лазерного пятна относительно прицельной метки тепловизора

Термическая мишень состоит из двух слоёв, поглощающего слоя с низкой теплопроводностью и высокой излучательной способностью и теплоотводящего слоя для рассеяния тепла. Такая мишень позволяет работать без синхронизации лазерных импульсов и кадров тепловизора, так как нагретое пятно может сохранять контраст около 30 мс [2].

Для проверки параллельности осей в полевых условиях без стационарного оборудования применяют метод полевой юстировки по удалённой цели [3]. Суть метода заключается в наведении системы на контрастный тепловой источник на расстоянии нескольких километров и сравнении показаний тепловизора и лазерного дальномера. Оператор наводит систему по изображению тепловизора и измеряет дальность. Если лазерный луч попадает в цель, дальномер выдаёт корректное значение, а при рассогласовании осей луч проходит мимо.

Для оценки точности совмещения осей используют фотоприёмник в районе цели, который регистрирует положение лазерного пятна относительно центра цели (рис. 3).

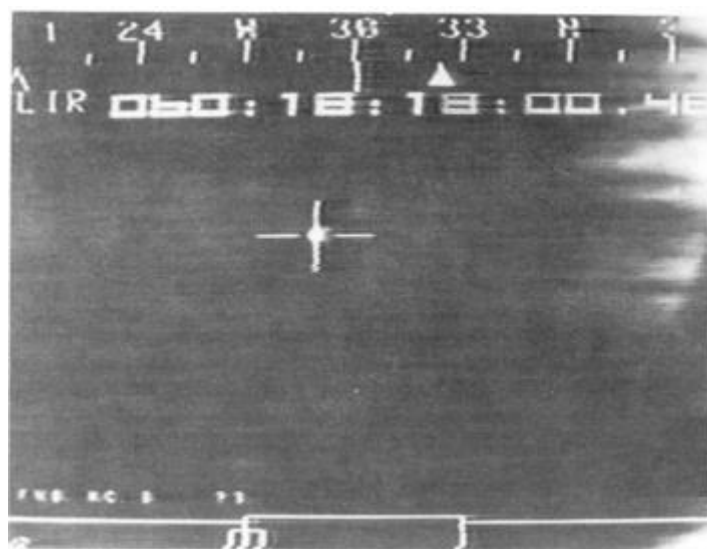


Рисунок 3 – Изображение лазерного пятна на экране тепловизора во время полевой юстировки по удалённой цели

Точность метода зависит от дальности и при $2\div 3$ км достигает $0,2\div 0,5$ мрад [3]. С увеличением расстояния точность улучшается, но стоит учитывать разрешающую способность тепловизора.

Ещё одним способом юстировки является метод с поглощающей термической мишени без коллиматора [4]. Мишень устанавливается непосредственно в поле зрения тепловизора на расстоянии $5\div 50$ м. При направлении лазерного дальномера на пластину в месте попадания луча происходит локальный нагрев, и материал начинает излучать тепловое излучение в диапазоне $8\div 14$ мкм. Тепловизор наблюдает это излучение в виде яркого теплового пятна. Положение пятна относительно прицельной марки тепловизора позволяет определить угловое рассогласование между оптическими осями.

Методы юстировки различаются как по достигаемой точности и рабочему расстоянию (табл. 1), так и по требуемому оборудованию и условиям применения.

Метод термической мишени с коллиматором обеспечивает высокую точность ($50\div 100$ мкрад) за счёт создания параллельного пучка лучей, эмитирующего бесконечно удалённый объект. А термическая мишень обеспечивает длительное сохранение теплового контраста. Этот метод хорошо подходит для заводской юстировки и периодической проверки высокоточных систем, где требуется минимальное рассогласование оптических осей. Однако его применение ограничено стационарными условиями и требует специального дорогостоящего коллиматора.

Метод полевой юстировки по удалённой цели обладает меньшей точностью ($0,2\div 0,5$ мрад), но позволяет проводить оперативную проверку непосредственно перед выполнением задачи в условиях эксплуатации. Основным преимуществом является отсутствие необходимости в сложном стенде, недостаток заключается

в зависимости точности от наличия контрастной цели, погодных условий и дальности.

Таблица 1 – Сравнение методов юстировки

Метод	Точность, <i>мрад</i>	Рабочее расстояние, <i>м</i>
Термическая мишень с коллиматором	0,05÷0,1	1÷3
Полевой по удалённой цели	0,2÷0,5	2000÷3000 и более
Термическая мишень без коллиматора	0,1÷0,3	5÷50

Точность метода с применением термической мишени без коллиматора может быть лучше полевого метода за счет отсутствия влияния погодных условий и лучшим контрасте цели, но хуже, чем у метода с коллиматором. Способ применим как в лабораторных, так и в полевых условиях, не требует коллиматора, специального стенда или большого полигона.

Таким образом, выбор конкретного метода должен определяться этапом жизненного цикла системы. Метод с термической мишенью предназначен для производства и прецизионной калибровки, полевой метод используется для проверки перед выполнением задачи в реальных эксплуатационных условиях, а метод с мишенью без коллиматора применяется для оперативного контроля и полевых условий.

Каждый из рассмотренных методов имеет свои сильные и слабые стороны, поэтому на практике целесообразно их комбинированное применение. Прецизионная заводская юстировка термическим методом дополняется последующим оперативным контролем в поле с помощью мишени без коллиматора или удалённой цели.

Перспективы совершенствования методов связаны с разработкой компактных портативных коллиматоров, автоматизацией процесса совмещения осей на основе алгоритмов обработки изображений, а также созданием многоспектральных мишеней, позволяющих одновременно контролировать несколько оптических каналов. Внедрение таких решений позволит значительно повысить оперативность, точность и надёжность юстировки современных оптико-электронных комплексов наблюдения и целеуказания на авиационных и беспилотных платформах.

Литература

- [1]. Cabib D., Segal A., Dolev J. Electro-optical systems to accurately align (boresight) laser designator, FLIR and CCD on the ground before the mission // Proceedings of SPIE. 2008. Vol. 7113. P. 71130S-1–71130S-8.
- [2]. Daniels A., Adel M. E., Cabib D. et al. Boresighting of laser range finder or designator systems with and without laser/FLIR synchronization // Proceedings of SPIE. 1990. Vol. 1341. P. 127–136.
- [3]. Godfrey T. E., Clark W. N. Boresighting // Optical Engineering. 1981. Vol. 20, No. 6. P. 854–859.
- [4]. Chrzanowski K. Review of thermal imaging technology. INFRAMET, 2024. 103 p.

ОБЗОР ТЕПЛОВИЗИОННЫХ КАМЕР ДИАПАЗОНА *LWIR*

Диапазон длин волн $8\div 14$ *мкм*, обозначаемый как *LWIR*, занимает особое место в тепловизионной технике. Данное спектральное окно прозрачности атмосферы совпадает с максимумом теплового излучения объектов при температуре около 300 K , который приходится на длину волны примерно 10 мкм [1, 2]. Благодаря этому *LWIR*-камеры способны регистрировать собственное излучение человека, транспортных средств, инженерных сооружений и природных объектов без внешнего источника подсветки. Такие системы применяются в охранных комплексах, приборах ночного видения, аэрокосмическом мониторинге, медицинской диагностике и неразрушающем контроле [1, 3].

При создании многоканальных оптико-электронных систем, объединяющих в едином корпусе *LWIR*-камеру и лазерный целеуказатель-дальномер, важным этапом является юстировка, то есть совмещение оптических осей каналов. Методы и требования к юстировке определяются конструкцией *LWIR*-камеры, которая зависит от типа используемого приёмника излучения.

Тепловизионная камера состоит из объектива, матричного приёмника излучения, схемы считывания и блока обработки сигнала. Объектив формирует на матрице изображение, после чего каждый пиксель преобразует падающую энергию в электрический сигнал, который после усиления и цифровой обработки используется для построения тепловизионного изображения [1].

Приёмник излучения является ключевым компонентом, определяющим характеристики всей системы. Именно по типу приёмника излучения проводится основная классификация тепловизоров, поскольку принцип работы детектора определяет чувствительность, быстродействие, потребность в охлаждении, массогабаритные показатели и стоимость камеры.

Современные *LWIR*-камеры строятся на основе двух типов приёмников: фотонных и тепловых [1]. Фотонные детекторы обеспечивают высокую чувствительность и быстродействие, но требуют охлаждения. Тепловые детекторы, такие как микроболометры, работают без охлаждающих систем, что делает их компактнее и дешевле, но ограничивает чувствительность и скорость отклика [1, 4].

В фотонных детекторах падающий квант света вызывает переход электронов между энергетическими уровнями. Чувствительный материал должен иметь ширину запрещённой зоны, соответствующую энергии фотонов *LWIR*-диапазона. Для длин волн порядка 10 мкм это требует узкозонных полупроводников с шириной запрещённой зоны около $0,1\text{ эВ}$ [2]. В тепловых детекторах регистрируется нагрев чувствительного элемента. Инфракрасное излучение повышает температуру пикселя матрицы, что приводит к изменению

его сопротивления. Тепловые детекторы не имеют жёсткого ограничения по ширине запрещённой зоны материала [1, 4].

Среди фотонных приёмников для диапазона $8\div 14$ мкм наибольшее распространение получили структуры на основе $HgCdTe$. Ширина запрещённой зоны этого материала плавно изменяется с составом, что позволяет перекрывать спектральный диапазон от 1 до 30 мкм [2]. $HgCdTe$ обладает высоким коэффициентом поглощения и позволяет создавать высокоэффективные фотодиоды и многоцветные структуры [1, 2].

Технология $HgCdTe$ имеет недостатки. Для детектирования в $LWIR$ -области возрастают требования к точности контроля состава и однородности кристалла. Слабая связь $Hg-Te$ усложняет рост, обработку и обеспечивает низкую стабильность материала [2]. Альтернативой стали сверхрешётки второго типа $InAs/GaSb$. Выбирая толщины слоёв и состав структуры, можно регулировать спектральную область чувствительности, снижать токи утечки и формировать многобарьерные архитектуры [1, 5].

Для фотонных $LWIR$ -детекторов необходимо охлаждение из-за тепловой генерации носителей заряда в узкозонных полупроводниках. При комнатной температуре концентрация носителей, возникающих из-за нагрева, становится настолько большой, что темновой ток резко возрастает и полезный сигнал теряется на фоне шума [2]. $LWIR$ -фотодиоды на основе $HgCdTe$ с длиной волны отсечки $8\div 12$ мкм обычно работают при температурах порядка $77\div 100$ К [1, 2]. Сверхрешётки второго типа также требуют низких температур работы [5].

Наиболее распространённым типом неохлаждаемых $LWIR$ -приёмников являются микроболометры. Пиксель микроболометра представляет собой тонкую мембрану, подвешенную над подложкой на узких опорах, что обеспечивает тепловую изоляцию (рис. 1). При поглощении инфракрасного излучения температура мембраны возрастает и изменяется сопротивление чувствительного слоя [1, 4].

Микроболометры изготавливаются на основе VOx (оксид ванадия) или аморфного кремния. Эти материалы обладают высоким температурным коэффициентом сопротивления, который для VOx составляет от -2 до -2,4%/К, а для $a-Si$ достигает от -2,5 до -5%/К [4]. Микроболометры не требуют охлаждающих систем, что делает их привлекательными для компактных устройств.

Микроболометры работают при температуре окружающей среды, поскольку измеряют нагрев пикселя. Однако отсутствие охлаждения создаёт другие проблемы. Камера становится чувствительной к температуре корпуса, объектива и окружающей среды. Изменение температуры внутренних частей корпуса на 1 °C вызывает заметную радиометрическую ошибку [6]. Для оптики с диафрагмой $F/1$ сигнал от корпуса камеры в четыре-пять раз превышает сигнал от наблюдаемого объекта [6]. Неохлаждаемые системы требуют тщательной температурной калибровки и цифровой компенсации.

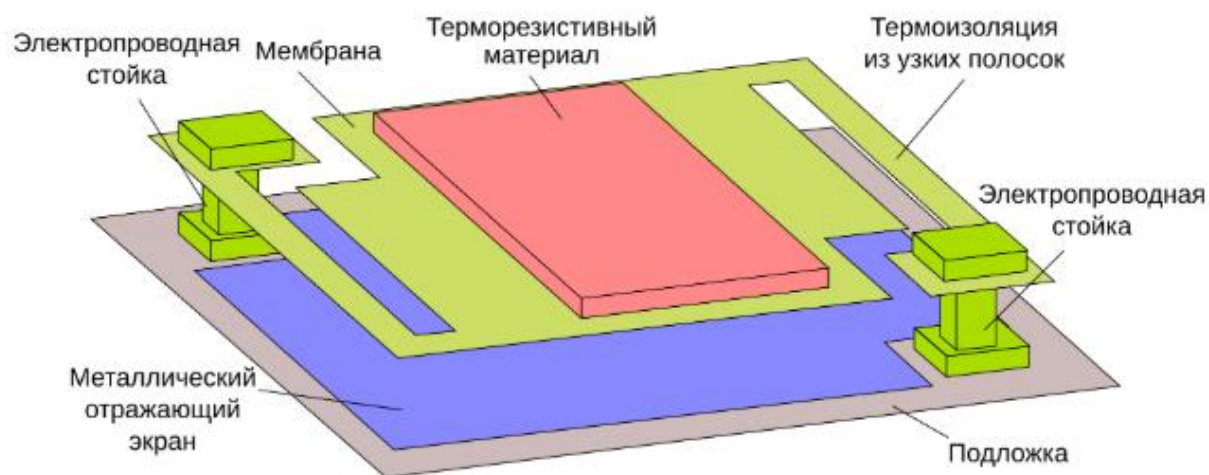


Рисунок 1 – Структура микроболометра

Основным параметром чувствительности является удельная обнаружительная способность D^* , которая учитывает отношение сигнал/шум, площадь приёмника и полосу частот [1, 2]. Для фотонных детекторов важен параметр R_0A (произведение дифференциального сопротивления фотодиода на его площадь), характеризующий уровень темнового тока [2]. Для практического сравнения тепловизионных камер независимо от типа детектора используют параметр $NETD$ – эквивалентную по шуму разность температур, которая показывает минимальную различимую разность температур объекта.

Таблица 1 – Сравнение охлаждаемых и неохлаждаемых LWIR-камер

Параметр	Охлаждаемые фотонные камеры	Неохлаждаемые микроболометрические камеры
Чувствительность (D^*)	$10^{12} \div 10^{13} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} / \text{Вт}$	$\sim 10^8 \div 10^9 \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} / \text{Вт}$
$NETD$	$< 30 \text{ мК}$	$< 50 \text{ мК}$
Время отклика	$1 \div 10 \text{ нс}$	$1 \div 10 \text{ мс}$
Рабочая температура	$77 \div 100 \text{ К}$	300 К
Энергопотребление	Высокое	Низкое
Габариты	Большие	Компактные
Стоимость	Высокая	Низкая
Ресурс работы	Ограничен холодильной машиной	Долговечный

Охлаждаемые фотонные камеры и неохлаждаемые микроболометрические камеры имеют существенные различия (табл. 1).

Охлаждаемые фотонные камеры обеспечивают высокую чувствительность, малое время отклика и возможность высокочастотной съёмки. К их недостаткам

относятся необходимость охлаждения до низких температур, большие масса и габариты, высокое энергопотребление, высокая стоимость и ограниченный ресурс холодильной машины. Неохлаждаемые микроболометрические камеры компактны, имеют низкое энергопотребление, просты в эксплуатации и отличаются низкой стоимостью. К их недостаткам относятся меньшая чувствительность, низкое быстродействие и зависимость точности от температуры камеры.

Для стационарных систем наблюдения, где критичны дальность и чувствительность, применяют охлаждаемые фотонные приёмники. Для мобильных и автономных устройств, где важны масса, габариты и энергопотребление, используют микроболометры. При этом для многоканальных ОЭС с LWIR-камерой и ЛЦД охлаждаемые камеры требуют учёта вибраций холодильной машины и деформаций при перепаде температур при юстировке, а микроболометры требуют учёта влияния тепловыделения ЛЦД на точностные характеристики тепловизионного канала.

Развитие LWIR-камер идёт по двум направлениям, а именно по пути совершенствования охлаждаемых фотонных матриц со сложными гетероструктурами [5] и развития неохлаждаемых микроболометров с новыми материалами и методами температурной коррекции [4, 6]. Активно исследуются спектрально-селективные и многослойные конструкции микроболометров.

Литература

- [1] Rogalski A. Infrared detectors: an overview // *Infrared Physics & Technology*. 2002. Vol. 43. P. 187–210.
- [2] Rogalski A. HgCdTe infrared detector material: history, status and outlook // *Reports on Progress in Physics*. 2005. Vol. 68. P. 2267–2336.
- [3] Kohli K. Uncooled Microbolometers for Low-Power Battlefield Sensors // *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. 2025. Vol. 10, No. 6. P. 72–79.
- [4] Abdullah A., Koppula A., Alkorjia O., Almasri M. Uncooled two-microbolometer stack for long wavelength infrared detection // *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Art. 3470.
- [5] Dehzangi A., Li J., Razeghi M. Band-structure-engineered high-gain LWIR photodetector based on a type-II superlattice // *Light: Science & Applications*. 2021. Vol. 10. Art. 17.
- [6] Gazzano O., Chambon M., Ferrec Y., Druart G. Long-Term Radiometric Stability of Uncooled and Shutterless Microbolometer-Based Infrared Cameras // *Sensors*. 2024. Vol. 24. Art. 6387.

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП С КЛАССИЧЕСКИМ И СЕКЦИОНИРОВАННЫМ ДРАЙВЕРАМИ

В настоящее время в качестве бытовых осветительных приборов чаще всего используются светодиодные лампы, пришедшие на замену лампам накаливания. Причиной этому стала более высокая энергоэффективность. Однако характер энергопотребления изменился. Лампа накаливания является чисто активной нагрузкой, в ней ток по форме совпадает с напряжением. В отличие от ламп накаливания, светодиодные лампы являются нелинейной нагрузкой – форма потребляемого тока сильно отличается от синусоидальной. В связи с этим в спектральном составе тока появляются гармонические составляющие с частотами, сильно превышающими 50 Гц. Эти высшие гармоники оказывают негативное влияние на работу электросети, вызывая дополнительные потери. В настоящее время проблема несинусоидальности протекающего в сети электротока становится все более актуальной. Дело в том, что большинство современных электронных устройств питаются от импульсных источников, которые также имеют ярко выраженное несинусоидальное потребление тока. Массовое использование светодиодных ламп еще больше усугубляет проблему. Помимо роста потерь в подводящей электросети возрастает действующее значение тока через нулевой провод. В неблагоприятной ситуации этот ток может в три раза превысить токи через фазные провода. Это может привести к аварийной ситуации, так называемому «отгоранию нуля» – разрушению нулевого провода или контакта в цепи нулевого провода, вызванному перегрузкой по току.

Чтобы исправить ситуацию в импульсных источниках питания все чаще используют корректоры коэффициента мощности. Эти корректоры делают входной ток близким к синусоидальному. Но в маломощных бытовых светодиодных лампах поставить его не получится – слишком дорого. К его использованию прибегают только у мощных энергопотребителей. Лампы же маломощные, но их много даже в пределах одного помещения, и суммарно они оказывают немалое влияние на сеть. Именно поэтому желательно иметь светодиодные лампы с повышенным коэффициентом мощности, то есть потребляемый такими лампами ток должен быть по форме близок к синусоидальному.

Наиболее распространенными светодиодными лампами сейчас являются лампы с линейным драйвером. Этот драйвер построен на основе одного линейного стабилизатора тока *STI*. В лампах с таким драйвером форма потребляемого тока является практически прямоугольной. Однако в последнее время набирают популярность улучшенные версии данного типа драйвера – секционированные. За счет наличия четырех источников тока (четырёх секций), к каждой из которых подключена своя группа светодиодов, форма тока в лампах

с таким драйвером значительно ближе к синусоиде, что, в свою очередь, уменьшает амплитуды высших гармоник, увеличивает коэффициент мощности. Согласно документации, коэффициент мощности ламп с обоими видами драйверов должен превышать 0.9. Однако неизвестно, насколько именно коэффициент мощности ламп с секционированным драйвером выше, чем у ламп с классическим драйвером. Это и предстоит выяснить в данной работе.

Самым простым способом исследования коэффициента мощности является математическое моделирование с использованием имитационной модели драйвера. В предыдущей работе был рассмотрен способ создания модели секционированного драйвера. Модель классического драйвера создана на его основе. В программе схемотехнического моделирования *Micro-Cap 12* были добавлены новые библиотечные компоненты [1], что позволило собрать схемы моделирования, которые не отличаются от принципиальных схем (рис. 1), где DA1 – секционированный драйвер, DA2 – классический драйвер.

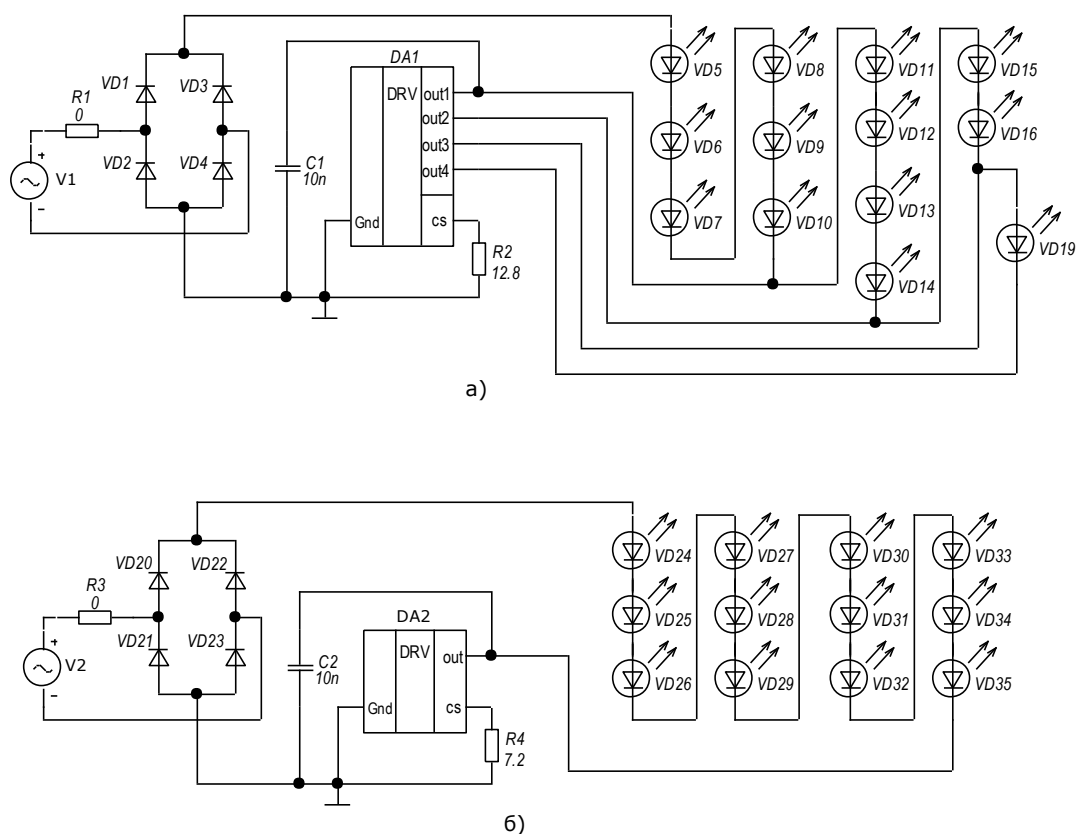


Рисунок 1 – Схемы моделирования светодиодных ламп на основе линейных драйверов, а – на основе секционированного, б – на основе классического

При помощи программы схемотехнического моделирования *Micro-Cap 12* был проведен временной анализ двух схем. Как видно из графиков тока через светодиоды (рис. 2), у ламп с секционированным драйвером наблюдаются характерные ступеньки нарастания тока при подключении секций светодиодов, что делает форму тока ближе к синусоидальной, чем с ламп классическим драйвером, у которых форма тока близка к прямоугольной.

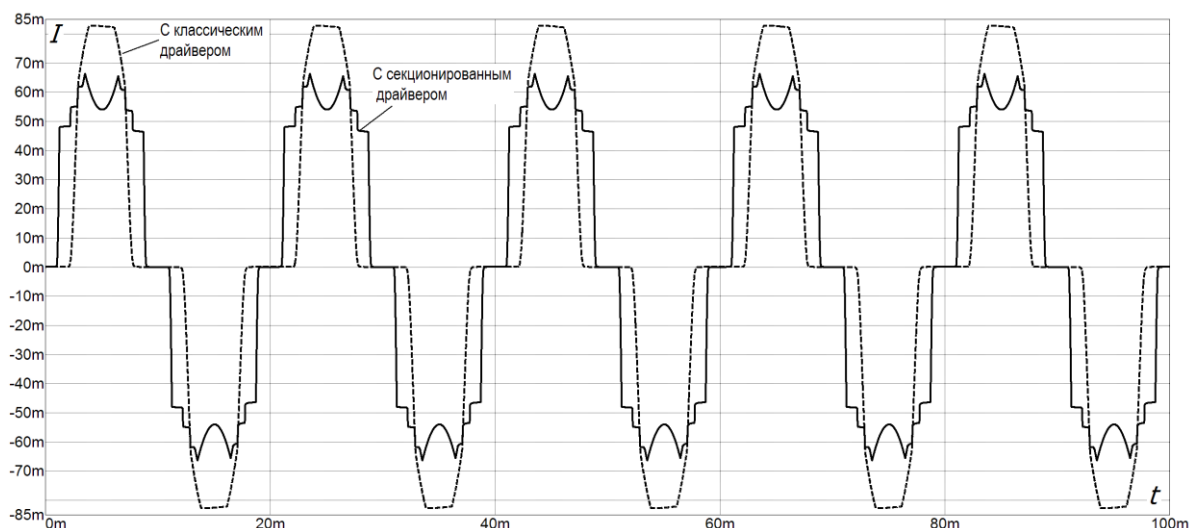


Рисунок 2 – Входные токи ламп с различным типом линейных драйверов

Для того, чтобы сравнение спектрального состава потребляемого тока и коэффициента мощности было корректным, необходимо, чтобы активная потребляемая мощность обеих ламп была одинаковой – 10 Вт (рис. 3). Для достижения равенства мощностей подобраны токи через светодиоды, которые задаются резисторами $R2$ и $R4$.

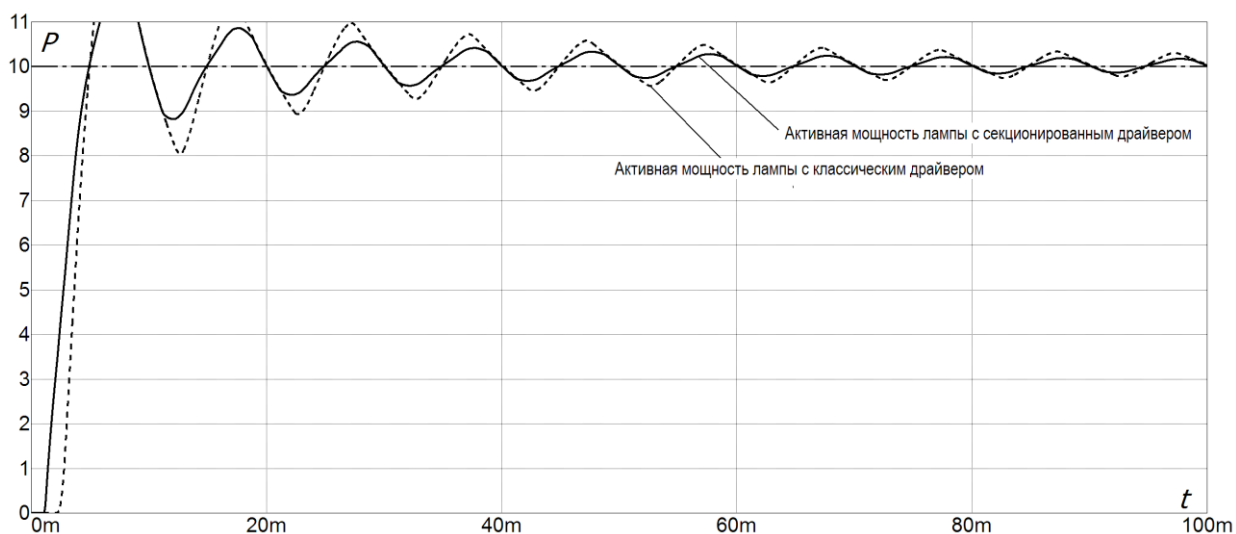


Рисунок 3 – Активная мощность ламп с различными типами драйверов

Для оценки гармонического состава потребляемого тока был проведен его спектральный анализ. Спектр тока сети электроснабжения в идеале состоит только из одной гармоники – 50 Гц. Если потребляемый ток несинусоидальный, появляются дополнительные гармонические составляющие (рис. 4). Они приводят к дополнительным потерям.

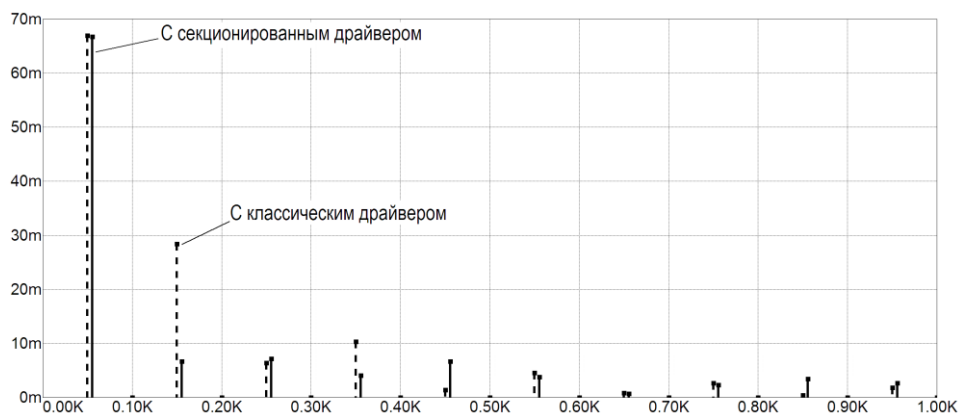


Рисунок 4 – Гармоники потребляемого тока у ламп с различными типами драйверов

Амплитуды первой гармоники (50 Гц) совпадают, пятой (250 Гц) – почти совпадают. Зато третья гармоника (150 Гц) при использовании классического драйвера в 3 раза выше, а седьмая (350 Гц) в два раза выше, чем при использовании секционированного драйвера. Эти гармоники оказывают большее влияние на величину потерь в электросети. Получается, что амплитуды высших гармоник при использовании секционированного драйвера значительно ниже, что свидетельствует о большей синусоидальности тока и меньших потерях.

Для расчета коэффициента мощности PF (*Power Factor*) используется следующая формула:

$$PF = \frac{P}{S},$$

где P – активная мощность, S – полная мощность.

Эти мощности можно рассчитать в программе схемотехнического моделирования Micro-Cap с использованием функций AVG и RMS . [1]. Из-за особенностей алгоритма расчета значения коэффициента мощности нужно смотреть в конечных точках этих графиков (рис. 5).

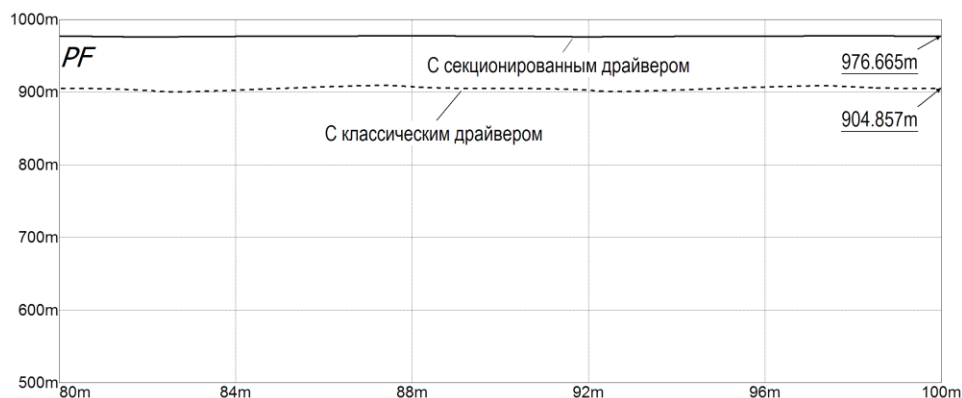


Рисунок 5 – Коэффициент мощности ламп с различными типами драйверов

Полученные результаты показывают, что светодиодные лампы с секционированным драйвером имеют больший коэффициент мощности.

Созданные модели с высокой точностью воспроизводят процессы в реальных схемах, поэтому их можно использовать при анализе режимов работы светодиодных ламп на основе линейных драйверов. Проведенное моделирование и спектральный анализ позволили убедиться, что классические линейные драйверы действительно имеют достаточно высокий коэффициент мощности – 0,9, а у секционированных драйверов этот показатель и вовсе достигает 0,97. Исследования показали, что светодиодные лампы с секционированным драйвером создают меньше высших гармоник в потребляемом токе, что уменьшает негативное влияние на энергосеть и снижает риск «отгорания нуля». Им не нужен дорогостоящий корректор коэффициента мощности. По этим причинам такие драйвера имеют большие перспективы для использования.

Литература

[1]. Амелина, М.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10 : учебное пособие для вузов / М.А. Амелина, С.А. Амелин. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 632 с. – ISBN 978-5-8114-6995-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/153923> (дата обращения: 29.01.2026)

*Дрыгин Д.С., студ.; рук. Жбанова В.Л., к.т.н. доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

На сегодняшний день крайне остро стоит проблема восстановления цифровых изображений, подвергшихся деградации [1]. Это обусловлено тем, что ввиду широкого распространения систем технического зрения необходимо получать четкое изображение с минимумом оптических aberrаций и шумов, возникающих при обработке полученной информации блоком обработки данных устройства. Одним из последствий обработки изображения является шум.

Шум – это случайное изменения насыщенности, яркости и цветности ряда пикселей в изображении [1]. Шум также приводит к следующим негативным факторам:

- снижение контрастности в изображении, увеличивая сложность читаемости объектов в изображении;
- ухудшение четкости объектов на изображении;
- изменение изначальной цветопередачи;
- искажение текстур в изображении объектов и так далее.

Подобное искажение крайне негативно сказывается во всех отраслях, где активно используются оптические приборы, и где возможности зрения человека крайне ограничены. Например, в медицине, где необходимо оценить состояние органов пациента, в микроэлектронике для определения брака оборудования, в

наблюдении, как за атмосферой, так и за космическим пространством, в создании карт местности и во многих других сферах деятельности человека [1].

Целью данной статьи является исследование и сравнительная оценка эффективности борьбы написанных в программе MATLAB R2019a фильтров по борьбе с возникшим шумом в изображении.

Напишем программу в программе MATLAB R2019a для создания имитации шума (рис. 1).

```
Untitled2.m  x  +
1 -  rgb=imread('D:\C1.bmp');
2 -  [S,map]=rgb2ind(rgb,16);
3 -  I=ind2gray(S,map);
4 -  S=imnoise(I,'salt & pepper');
5 -  figure, imshow(S, []);
6 -  D=medfilt2(S);
7 -  figure, imshow(D, [])
```

Рисунок 1 – Программа для имитации шума в изображении

Для исследования возьмем изображение воздушного шара (рис. 2) и пропустим через написанную нами программу (рис. 3). В ходе эксперимента в среде MATLAB R2019a к исходному изображению воздушного шара был добавлен искусственный шум с заданными параметрами распределения, что позволяет воспроизводимо моделировать процесс деградации изображения. Использование программной имитации шума даёт возможность контролировать его интенсивность и тип, а также объективно сравнивать работу различных фильтров на одних и тех же исходных данных



Рисунок 2 – Оригинальное изображение воздушного шара

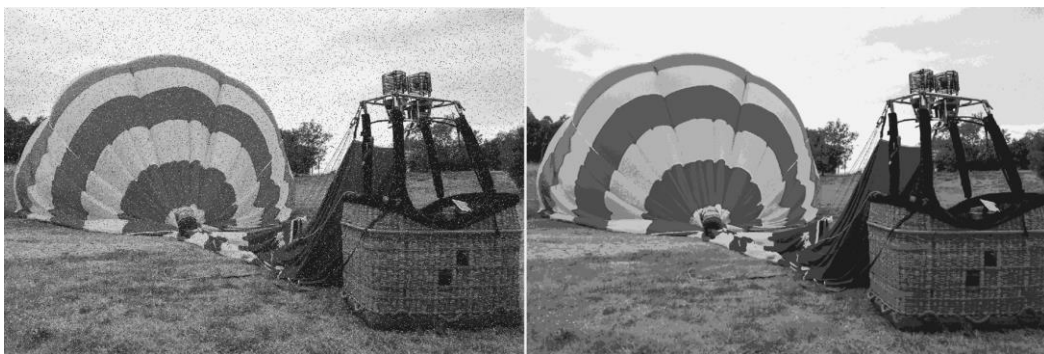


Рисунок 3 – Зашумленное и восстановленное изображение

В полученном нами изображении появился шум. Также, написанная программа позволила создать восстановленное от шума изображение. После восстановления изображения, попробуем улучшить его с помощью фильтра высоких частот Лапласа [5] (рис. 4).



Рисунок 4 – Изображение улучшенное фильтром высоких частот Лапласа

Полученное нами изображение стало более резким, однако визуально оно воспринимается хуже восстановленного изображения. Для того, чтобы подтвердить наш вывод воспользуемся возможностями программы ImageJ 1.54g и выведем гистограмму на оригинальное, зашумленное, восстановленное и улучшенное изображения [6] (рис. 5).

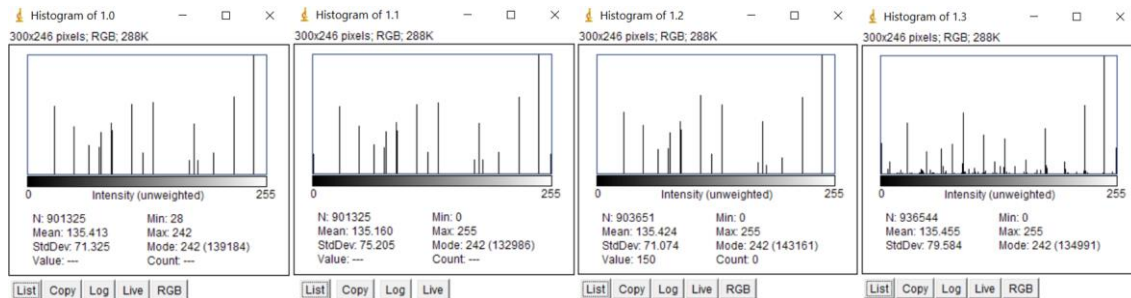


Рисунок 5 – Гистограммы об исследуемых фото

Для расчета зашумленности изображений воспользуемся формулой:

$$\chi = \frac{C_{gray}}{C_{quadro}};$$

где: C_{gray} – среднее значение уровня серого; C_{quadro} – среднеквадратичное отклонение [2].

В качестве количественной метрики качества восстановленных изображений в работе использовано отношение сигнал/шум (SNR), оцениваемое на основе статистики яркостных значений. В простейшем случае сигнал характеризуется средним уровнем яркости C_{gray} , а шум оценивается по среднеквадратичному отклонению C_{quadro} , что позволяет численно описать

степень разброса яркостных значений относительно среднего. Чем выше значение SNR, тем большая часть энергии изображения приходится на полезный сигнал, а не на шум, и тем менее зашумлённым воспринимается изображение при визуальном анализе [1]. Для удобства сравнения значения SNR представлены в децибелах, что является общепринятым подходом при описании качества передачи сигналов и изображений

Для исходного изображения воздушного шара (рис. 2) рассчитанное значение отношения сигнал/шум составляет 1,89 дБ. Для зашумлённого изображения, полученного после добавления искусственного шума в MATLAB (рис. 3, левое изображение), значение SNR уменьшилось до 1,79 дБ. Для восстановленного после фильтрации изображения (рис. 3, правое изображение) отношение сигнал/шум немного увеличилось по сравнению с зашумлённым вариантом и составило 1,90 дБ. Для изображения, дополнительно обработанного фильтром высоких частот Лапласа (рис. 4), значение SNR оказалось наименьшим и равно 1,70 дБ, что указывает на усиление шумовой составляющей.

В результате проведённого эксперимента показано, что пространственная фильтрация шума в среде MATLAB позволяет повысить качество изображения по показателю отношения сигнал/шум по сравнению с зашумлённым вариантом. Анализ гистограмм яркости в среде ImageJ и рассчитанных значений SNR показывает, что исходное и восстановленное изображения обладают более высоким отношением сигнал/шум и меньшей видимой зашумлённостью, чем изображение, дополнительно обработанное фильтром Лапласа. Это соответствует известным результатам теории восстановления изображений и некорректных задач, согласно которым неконтролируемое усиление высокочастотных составляющих без учёта регуляризации приводит к усилению шума и ухудшению визуального восприятия [4]. Таким образом, в практических задачах цифровой обработки изображений целесообразно вначале выполнять корректное подавление шума и только затем обоснованно применять методы повышения резкости, оценивая результат по объективным количественным метрикам.

Литература

- [1]. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. – 3-е изд. – Москва : Техносфера, 2012. – 1104 с. – ISBN 978-5-94836-331-8. – URL: <https://www.technosphere.ru/lib/book/263> (дата обращения: 13.03.2026).
- [2]. Pratt W.K. Digital Image Processing. – 4th ed. – Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 2007. – 807 p. – ISBN 978-0-470-22975-8. – URL: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1206398> (дата обращения: 13.03.2026).
- [3]. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – 3-е изд. – Москва : Наука, 1986. – 288 с. – ISBN 5-02-013716-7. – URL: <http://www.mathnet.ru/books/> (дата обращения: 13.03.2026).
- [4]. Richardson W.H. Bayesian-Based Iterative Method of Image Restoration // Journal of the Optical Society of America. – 1972. – Vol. 62, № 1. – P. 55–59. – DOI: 10.1364/JOSA.62.000055. – URL: <https://opg.optica.org/josa/abstract.cfm?URI=josa-62-1-55> (дата обращения: 13.03.2026). =
- [5]. Oppenheim A.V., Schaffer R.W., Buck J.R. Discrete-Time Signal Processing. – 2nd ed. – Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 1999. – 883 p. – ISBN 0-13-754920-2. – URL: <https://ocw.mit.edu/courses/6-341-discrete-time-signal-processing-fall-2005/pages/readings/> (дата обращения: 13.03.2026).
- [6]. ImageJ [Электронный ресурс]. – URL: <https://imagej.net/ij/> (дата обращения: 14.03.2026).

ЭКОНОМИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ГИБКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ: ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДО МОДЕЛЕЙ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ

Аннотация. В данной статье происходит рассмотрение жизненного цикла гибкой электроники, с технической части, где будет рассмотрена жизненный цикл от разработки до утилизации. Кроме технической части рассматривается и экономическая часть, где будет рассмотрена целесообразность использования гибкой электроники, с учетом капитальных и операционных затрат в процессе реализации разработки, производства, утилизации гибкой электроники, а также её эффективное применения в жизни человека.

Ключевые слова. Производство, гибкая электроника, жизненный цикл проекта, эксплуатация.

Abstract. This paper presents an analysis of the flexible electronics lifecycle, addressing both its technical and economic dimensions. The technical discussion traces the process from development through to disposal. The economic analysis assesses the feasibility of adoption, factoring in the capital and operational costs associated with its development, manufacturing, and end-of-life processing, alongside its practical efficacy for human use.

Key words. Manufacturing, flexible electronics, project lifecycle, operation.

Под гибкой электроникой понимается совокупность всех технологий, которые могут потенциально обеспечивать гибкость устройства. Примером является гибкие платы, которые применяются в производстве смартфонов, планшетов и других гаджетов. Гибкие платы имеют уменьшенные габариты, которые позволяют создавать легкие гаджеты [1].

У гибкой электроники есть свой жизненный цикл изделия:

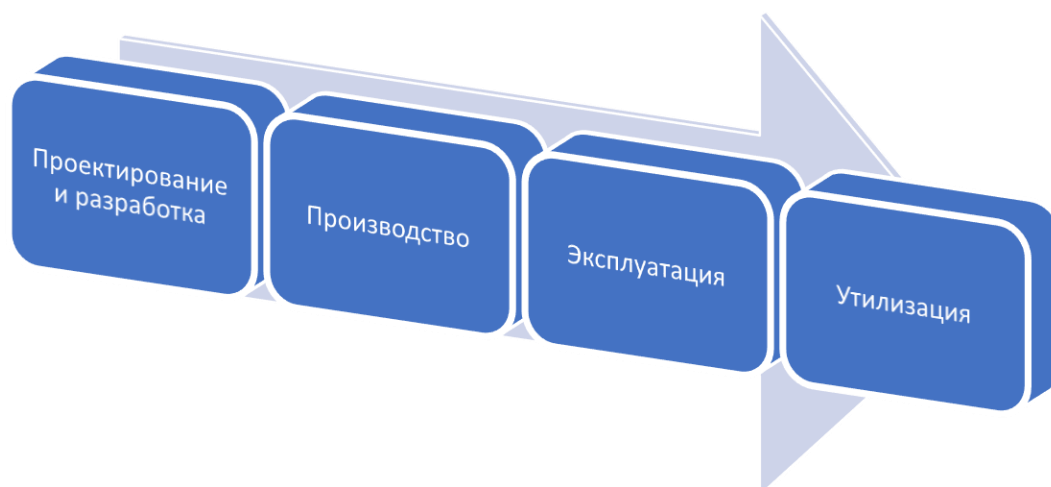


Рисунок 1 – Этапы жизненного цикла производства гибкой электроники

Эти этапы объясняют жизненный цикл продукции, особенно гибкой электроники.

Таблица 1 – Анализ жизненного цикла гибкой электроники

Этапы	Проектирование и разработка	Производство	Эксплуатация	Утилизация
Технический аспект	На данном этапе проводится НИОКР: выбор функциональных материалов, определение полимера подложки (PI, PET, PEN, эластомеры), создание и тестирование лабораторных прототипов	Листовое производство для сложных многослойных устройств, модульная сборка, герметизация защитными барьерными пленками или нанесение защитных лаков, финальное тестирование и калибровка.	Эксплуатация в условиях окружающей среды, реальная работа изделия в условиях перепада температур, УФ излучения и механических нагрузок	Проблема утилизации из-за композитной, неразделимой природы изделия, особые требования к биоразлагаемости, восстановлению и захоронению.
Экономический аспект	На данном этапе производятся бюджет на реализацию гибкой электроники как проекта.	На данном этапе просчитываются затраты на закупку сырья, затраты на оплату труда сотрудников производства, на аренду склада.	Просчёт прайса на продукцию, чтобы производитель мог его продавать, а потребитель мог его купить.	Затраты на утилизацию для оптимизации, а также расширение ответственности производителя.

Данная таблица объясняет анализ жизненного цикла производства гибкой электроники как со стороны технического аспекта, так и со стороны экономического аспекта.

Во-первых, с экономической точки зрения на каждом этапе в жизненном цикле технологий перед производством необходимо рассчитывать бюджет, поскольку технология является проектом, для реализации данного проекта необходимо финансирование. Таким образом перед началом производством необходимо провести расчёт затрат, которые будут необходимы для грамотного решения по реализации проекта на этапе производства. Так на этапе формирования бюджета выделяют сколько людей будут участвовать в этом проекте, кроме того, в проекте пропишут жизненный цикл продукции, начиная с формирования бюджета и заканчивая утилизацией используемой продукции.

Во-вторых, с технической точки зрения необходимо четко понимать различия в жизненном цикле с классической твердотельной электроникой, где все процессы давно отработаны и хорошо масштабируются.

Таблица 2 – SWOT-анализ гибкой электроники с двух аспектов

Гибкая электроника	Сильные стороны	Слабые стороны	Возможность	Угроза
Экономический аспект	Потенциал для революции в логистике и цепи поставок. Создание рынков премиум сегмента. Ускорение выхода на рынок (производства гаджетов для потребителей)	Высокие затраты на реализацию. Проблема с масштабом производства. Высокая себестоимость на начальном этапе.	Замена традиционной электроники. Формирование бизнес-моделей при реализации производства. Получение финансирования со стороны государства или частных организаций.	Жесткая конкуренция, так как есть организации, которые имеют больше ресурсов на реализацию (Samsung, LG, Panasonic). Риск защиты интеллектуальной собственности. Уязвимость к колебаниям цен на закупку сырья.
Технический аспект	Энергоэффективность, прочность и ударостойкость, легкость и тонкость, механическая гибкость и устойчивость к деформации	Малая плотность интеграции (органические транзисторы уступают по плотности и быстродействию CMOS), высокая стоимость НИОКР и пилотного производства	Развитие новых материалов (графен и нанотрубки), совершенствование производственных процессов (наноитографии лазерной абляции) [2].	Экологические аспекты утилизации, конкуренция с классической электроникой, отсутствие общих стандартов производства [3].

Данная таблица показывает перспективу развития гибкой электроники в современном мире, как с экономической, так и с технической точки зрения.

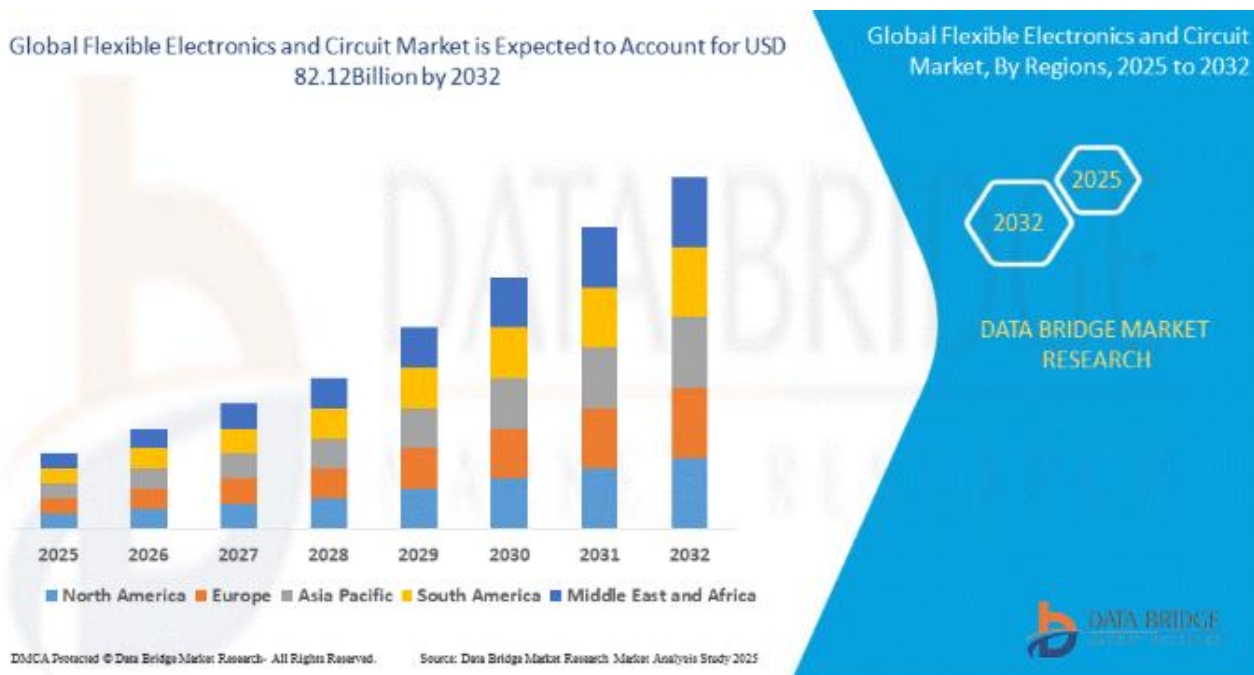


Рисунок 2 – Доля рынка гибкой электроники с 2025-2032 гг. Источник: составлено автором на основании инфографики [4]

Несмотря на высокие риски при реализации гибкая электроника имеет огромный потенциал. В рисунке 2 показан прогноз роста доли производства гибкой электроники с 2025 года по 2032 года.

Это объясняется по причине массового использования электроники среди потребителей со всего мира. Наибольшая доля в гибкой электронике, отдается потребительской электронике, которая используется людьми для общения, поиска информации, просмотра видео и других действий, связанных с удовлетворением потребностей человека.

Таким образом, гибкая электроника имеет огромный потенциал как в технологическом, так и в экономическом смысле. В технологическом смысле гибкая электроника за счёт своей легкости, потребляет мало энергии, что позволяет работать над совершенствованием технологий, с целью улучшения логистики. В экономическом смысле гибкая электроника, несмотря на высокую себестоимость и уязвимость к колебаниям цен, позволяет производить продукцию, которую используют большинство людей на Земле. Так прогноз на 2025-2032 годах позволяет сделать вывод о том, что гибкая электроника имеет огромный потенциал, так как в долгосрочной перспективе данная технология будет пользоваться большим спросом среди потребителей.

Среди потребителей гибкой электроники являются как простые люди, которые используют гаджеты, с целью реализации своих потребностей, так и промышленные гиганты, чтобы развивать производственные мощности, с целью получения большего количества товаров, для массового потребителя, тем самым получая выгоду в виде большой прибыли.

Однако проведённый анализ жизненного цикла (таблица 1) и SWOT-анализ (таблица 2) показывают, что успешное развитие гибкой электроники невозможно

без комплексного подхода, объединяющего технические и экономические аспекты на всех этапах – от проектирования до утилизации.

Ключевым вызовом остаётся обеспечение экономической эффективности производства при сохранении высокой надёжности и функциональности конечных устройств. Особого внимания требует завершающий этап жизненного цикла – утилизация, связанная с композитной природой материалов.

Внедрение принципов циркулярной экономики, включая разработку биоразлагаемых компонентов и создание замкнутых циклов переработки, становится не просто желательным, а необходимым условием для долгосрочной устойчивости данного сектора.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск баланса между технологическим совершенствованием, снижением себестоимости и экологической безопасностью, что позволит гибкой электронике занять прочное место в структуре мировой промышленности и повседневной жизни человека.

Литература

- [1]. Гибкая электроника: настоящее и будущее. Текст: электронный. URL: <https://phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2017/04%28126%29-2017/25457/> (дата обращения: 04.02.2026)
- [2]. Гибкая электроника на основе графена, его соединений и композитов [Электронный ресурс] / И. В. Антонова, Н. А. Небогатикова, А. И. Иванов, Р. А. Соотс, Н. В. Дмитриева; ИФП СО РАН. – Новосибирск, 2023. – 5 с. – URL: https://www.researchgate.net/publication/376397743_GIBKAA_ELEKTRONIKA_NA_OSNOVE_GRAFENA_EGO_SOEDINENIJ_I_KOMPOZITOV (дата обращения: 04.02.2026).
- [3]. Медведев Аркадий, Мылов Геннадий Гибкие печатные платы. Преимущества и применение // Компоненты и Технологии. 2007. №74. Текст: электронные. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibkie-pechatnye-platy-preimushchestva-i-primenenie> (дата обращения: 04.02.2026).
- [4]. Инфографика по гибкой электронике. Текст: электронный. URL: <https://www.futuremarketreport.com/ru/industry-report/flexible-electronics-circuit-market> (дата обращения: 04.02.2026).

*П.Н. Есликов, студ.; рук. С.П. Астахов, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

УСТРОЙСТВО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АНТЕННЫ

Быстрое развитие технологий беспроводного позиционирования произвело преобразование в возможностях навигации как внутри помещений, так и на улице, благодаря использованию различных технических подходов, адаптированных к их эксплуатационным задачам.

Устройство позиционирования антенны представляет собой составную часть радиотехнического комплекса, формирующую замкнутый контур управления ориентацией антенны в пространстве.

Технические характеристики устройства позиционирования определяют интегральную эффективность функционирования комплекса.

Основными такими характеристиками являются: статическая и динамическая точность наведения, полоса пропускания системы управления, быстродействие приводов и надёжность.

Системы позиционирования на открытом воздухе основаны на глобальных навигационных спутниковых системах (GNSS), включая американскую *GPS*, российскую ГЛОНАСС, европейскую *Galileo* и китайскую *BeiDou* [1].

Система позиционирования антенны представляет собой электромеханический узел, который направляет антенну в соответствии с заданными параметрами. Основополагающее назначение такой системы – обеспечить необходимую точность наведения на источник сигнала.

Существует два типа наведения луча антенны:

1) наведение вслепую или наведение с разомкнутым контуром, которое основано на способности моделировать направление луча антенны при наличии систематических и случайных процессов (геометрические искажения, шумы).

2) наведение с замкнутым контуром, который извлекает поправки из принятого сигнала.

Основные функции системы позиционирования антенны включают в себя:

- поворот по двум осям;
- стабилизация положения;
- автоматическое наведение;
- компенсация внешних воздействующих факторов, таких как динамическое воздействие ветра и вибраций.

Такие системы позиционирования антенны широко применяются в спутниковых линиях связи, радиолокационных установках, космических коммуникационных системах, комплексах наблюдения и метеорологии.

В спутниковых системах из-за относительного движения объектов или станции требуется постоянная корректировка направления.

В радиолокации антенна часто выполняет обзор пространства непрерывно вращаясь или перемещаясь по заданному алгоритму.

В метеорологии позиционирование радиолокационных антенн используется для отслеживания погодных условий.

Опорной частью конструкции является антенная платформа, связанная с исполнительными механизмами. Один привод отвечает за вращение вокруг вертикальной оси, другой осуществляет контроль за изменением угла наклона. Оперативное управление за текущим положением осуществляется с помощью датчиков угла поворота и положения или регулируемых резисторов, которые позволяют вручную или механически изменять электрическое сопротивление в цепи.

Управляющая система, построенная на базе микроконтроллера, обрабатывает данные с датчиков и формирует сигналы для приводов.

Исполнительный механизм реализован в виде электрического привода, включающего двигатель и редуктор. Электродвигатель создаёт вращательное движение, редуктор адаптирует его по скорости, а передаточный узел подаёт усилие на платформу.

Для достижения высокой точности используются различные типы датчиков и радиолокатора. Оптические датчики угла и поворота обеспечивают точное измерение угла, они гарантируют высокую точность измерения, магнитные

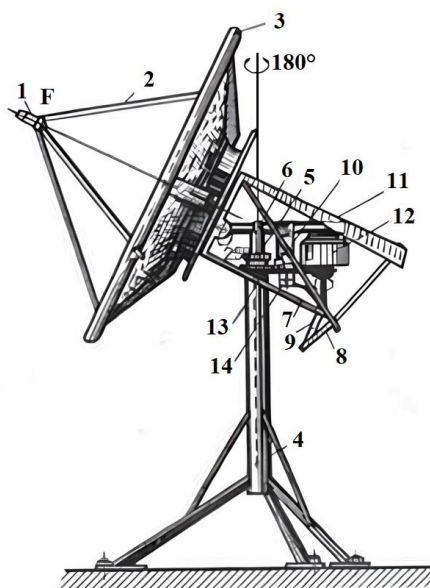
отличаются устойчивостью к внешним климатическим воздействиям, а потенциометрические датчики работают за счёт преобразования сопротивления. Наличие обратной связи от этих устройств предоставляет возможность повысить точность и устойчивость работы системы. Импульсный радиолокатор обеспечивает отслеживание через стены, улучшение производительности системы и непрерывное отслеживание движения с помощью сенсорных модулей с акселерометрами и гироскопами [1].

Устройство позиционирования антенны состоит из нескольких компонентов (рис. 1), основными из которых является:

- механическую часть,
- системы приводов,
- датчики положения,
- система управления.

Центральным элементом является система управления, которая рассчитывает требуемые координаты наведения. Для поддержания движения задействуются двигатели переменного тока, скорость вращения которых постоянна, также обеспечивается изменение скорости движения антенны по азимуту, для этого передача вращения от двигателей к антенне осуществляется через магнитную порошокую муфту. Система управления способна работать в ручном или автоматическом режиме.

Развитие технологий в этой области направлено на повышение точности, уменьшение массы конструкций, снижение энергопотребления, автоматизацию, увеличение скорости перестройки, повышение стабильности и устойчивости, интеграцию с навигационными системами и переход к электронному сканированию.



- 1 - конвертер; 2 - трубка фиксации положения в фокусе F; 3 - параболическая антенна; 4 - опорная стойка (мачта); 5 - обойма оси вертикального поворота; 6 - ось горизонтального поворота; 7 - рама поворотных механизмов; 8 - кронштейн; 9 - рычаг; 10 - датчик горизонтали; 11 - защитная крышка; 12 - редуктор; 13 - цепь горизонтального поворота; 14 - датчик вертикали

Рисунок 1 – Основные элементы системы устройства позиционирования антенны

Перспективным направлением является внедрение систем автоматического процесса, обеспечивающие непрерывное измерение координат и параметров движущегося объекта, которые ориентируются на уровень принимаемой мощности и автоматически корректируют положение антенны.

Активно развиваются фазированные антенные решётки. Они позволяют электронно управлять направлением луча без физического перемещения антенны. Они могут наводиться в нескольких направлениях и быстро менять направление, а также их можно использовать как для приема, так и для передачи данных, что позволяет узнать откуда исходит сигнал [2].

Таким образом, система позиционирования остаётся критически важным компонентом радиотехнических комплексов. Системы позиционирования антенн являются основой для обеспечения бесперебойной связи, которую многие ожидают на сегодня, и будут находиться на переднем плане коммуникационных технологий следующего поколения, обеспечивая более быстрые и надежные сети по всему миру. В дальнейшем развитие будет связано с ростом автономности, адаптацией к динамическим помехам и снижением затрат на эксплуатацию.

Литература

- [1]. Sheikh R. A. Review of Positioning Technologies and Antenna Designs for Indoor, Outdoor, and Wearable Applications [<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>] // IEEE Xplore : сайт. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11179963/>
- [2]. Optimised Antenna Elements Position and Dimensions [<https://www.esa.int/>] // The European Space Agency : сайт. – URL: https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Optimised_Antenna_Elements_Position_and_Dimensions.

*А.К. Зайцев, студ.; рук. В.А. Смолин, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ЭЛЕКТРОННЫЙ КАМИН

В современном интерьере традиционные камины создают атмосферу тепла и уюта. Однако их история началась задолго до появления комфортабельного жилья. Начинается это история с костра, который разводили в пещере или в примитивном жилище. Дым выходил через отверстие в крыше или стенах, а сам костер использовался для обогрева или приготовления пищи. В Древней Греции аналогами современных каминов были переносные жаровни с углями. А в Древнем Риме создали прообраз теплого пола – горячий воздух циркулировал под полом и в стенах, открытого огня старались избегать. После падения Рима все разработанные технологии были утеряны, и Европа вернулась к открытому очагу в центре главных залов. В романскую и готическую эпоху 12-13 веков очаги начинают передвигать к стене, появляются дымоходы и вытяжные колпаки, что является первым прообразом современного камина. Однако такие камины были очень громоздкими (размер превышал человеческий рост) и использовались не только для тепла, но и для освещения замков и приготовления

пищи. К 16 веку каминные становятся произведениями искусства, показывающими статус хозяина. Порталы каминов украшаются колоннами и фресками, а над самими каминами вешали гербы, картины и зеркала. К концу 18 века при проектировании каминов начинают учитываться инженерные расчеты. Появились измененная форма топливника и дымохода, что уменьшило потери тепла. Данная технология используется и сегодня. В 19 веке каминные приобретают доступность. Их активно скупает средний класс. Именно в это время сформировался образ «домашнего очага». В 20 веке с появлением парового отопления и электричества необходимость в использовании каминов падает. К середине века каминные остаются по большей части только в загородных домах, как символ уюта. К концу века и по сегодняшней день каминные носят по большей части декоративную функцию, используются в качестве элементов дизайна, реже для источника дополнительного тепла.

В настоящее время распространены следующие виды каминов:

- дровяной камин (рис. 1а). Обладает независимостью от электричества и газа, поддерживает горение настоящего огня, однако требует мощную вентиляцию, дымоход и регулярное обслуживание;
- газовый камин (рис. 1б). Поддерживает горение настоящего огня, управляется с пульта. Однако требует газовую разводку и специальную вентиляцию;
- электрический камин (рис. 1в). Прост в установке, не нужен дымоход и вентиляция, безопасен в использовании, поддерживает функцию нагрева воздуха, имитация пламени;
- биотопливный камин (рис. 1г). не требует дымохода, можно ставить в большинстве помещений, работает на жидком биотопливе (этанол). Однако использование биокамина снижает уровень кислорода в помещении – необходимо регулярное проветривание.



а



б



в



г

Рисунок 1 – Виды каминов

Установка дровяных или газовых каминов в многоквартирных домах ограничена техникой безопасности и сложностью монтажа дымоходов, а использование биокамина может быть небезопасной, особенно при наличии в семье детей и животных. Электронные каминные представляют собой

энергоэффективную и безопасную альтернативу, способную имитировать визуальные эффекты открытого огня. Существует несколько видов электронных каминов [1].

1. Механизированные (2D-камины). При помощи проекции и световых эффектов создается плоское изображение пламени.

2. Паровые (3D-камины). Эффект горения создает подсвеченный водяной пар, распыляемый из встроенного увлажнителя.

3. Электрокамин с ЖК-дисплеем. Имитацию огня транслирует видеозапись на встроенном экране.

4. Электрокамин с LED-подсветкой. Иллюзию горения поддерживают запрограммированные в памяти контроллера эффекты, отображаемые на LED-устройствах (светодиоды, светодиодные ленты и т.д.).

5. Электрокамин с имитацией дыма. С помощью парогенератора достигается эффект дыма, а эффект огня дополняет подсветка из светодиодов.

Электронные камины можно использовать в качестве декорации, для обогрева и в совмещенном варианте.

Целью данной работы является разработка электронного камина на основе адресных светодиодных лент. В качестве управляющего устройства используется микроконтроллер серии ATmega, на базе которого проектируются отладочные платы Arduino. Для создания мягкого свечения при проектировании корпуса будет использоваться матовое акриловое стекло или специализированная светорассеивающая ткань. Чтобы пламя было динамичным, используется небольшой электромотор с вращающимся валом, на котором закреплены легкие светоотражающие элементы – полоски фольги, цепочки или специальные призмы. Для создания реальности ощущений от потрескивания костра в систему встроен динамик. Дополняет систему внешний декор на передней панели: искусственные поленья, угли, кристаллы или кусочки стекла. Управлять электронным камином можно двумя способами: через ручной ввод и по беспроводному интерфейсу через смартфон пользователя.

Функциональная схема электронного камина показана на рисунке 2.

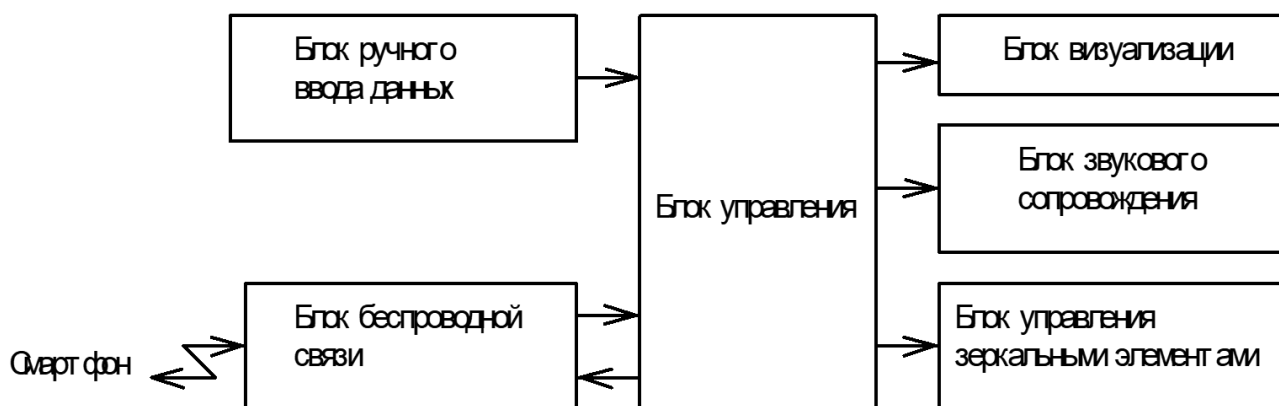


Рисунок 2 – Структурная схема электронного камина

Принцип работы заключается в следующем:

1. Включение. Электронный камин начинает работу после нажатия на кнопку включения (блок ручного ввода) или после подачи сигнала включения через смартфон пользователя (блок беспроводной связи). Предварительно можно настроить яркость свечения и режим горения. Также выбрать звуковое сопровождение: звук потрескивания дров или успокаивающую мелодию.

2. Вращение. Включается мотор (блок управления зеркальными элементами), и вал с отражателями начинает медленно вращаться.

3. Подсветка. Загорается светодиодная лента (блок визуализации) и освещает вращающиеся элементы.

4. Отражение и мерцание. Отражаясь от движущихся поверхностей, свет создает хаотичные, постоянно меняющиеся блики на задней панели и декорациях камина.

5. Звуковое сопровождение. Синхронно с визуальным эффектом на динамик (блок звукового сопровождения) выводится выбранная пользователем аудиозапись.

Разрабатываемое устройство имеет значительные преимущества по сравнению с большими серийными моделями, среди которых низкое энергопотребление (средняя мощность системы не превышает 15–40 Вт), исключение риска пожароопасности из-за отсутствия нагревательных элементов, присутствует возможность смены режимов горения огня (интенсивное пламя, тление углей, разноцветный огонь), компактность.

Литература

[1]. Электрокамины. Технологии горения пламени [Электронный ресурс]. – URL: [Электронный ресурс]. – URL: <https://leo.ru/faq/articles/istoriya-radiosvyazi-ot-eksperimentov-do-tsifrovoy-epokhi>. Режим доступа: свободный. Дата обращения: 10.03.2026.. Режим доступа: свободный. Дата обращения: 20.01.2026.

*И.И. Зелева, студ.; рук. В.В. Малышкин, ст.пр.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ ЧАСТОТНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОСТИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЕМЯН РАСТЕНИЙ

Исследование спектральных характеристик фотолюминесценции (ФЛ) семян растений представляет интерес для задач биофизики и диагностики состояния посевного материала. Традиционно анализ ведется в шкале длин волны или энергий, однако переход в частотное представление открывает возможность применения критериев и методов, разработанных в радиофизике и теории сигналов. В частности, понятие широкополосности позволяет количественно охарактеризовать форму спектра и его пригодность для тех или иных приложений. В оптике единого подхода к определению показателя широкополосности не сложилось, поэтому в работе используются два варианта расчета, основанных на разных опорных частотах.

Экспериментальные спектры получали на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» (рис. 1). Образцы семян растений облучали в стандартных условиях, регистрация велась в диапазоне длин волн, соответствующем области собственной люминесценции.

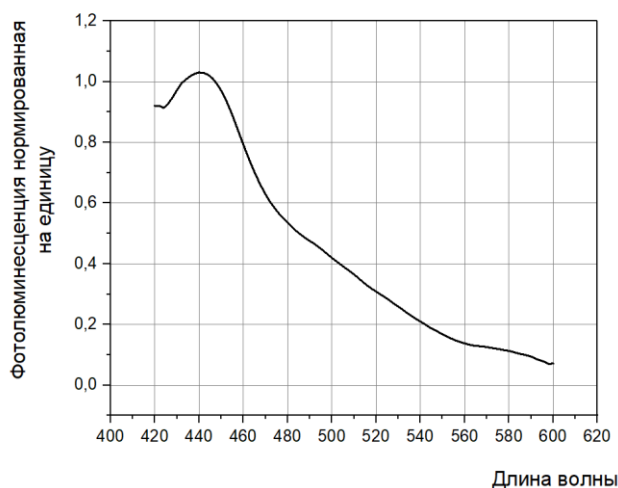


Рисунок 1 – Исходный спектр люминесценции

Первичная обработка массивов данных включала:

- 1) сглаживание методом скользящего среднего с окном 8 точек для уменьшения шумов;
- 2) нормировку интенсивности на единицу;
- 3) интерполяцию для увеличения точек до 512;
- 4) удаление высокочастотной составляющей с помощью Фурье-фильтра низких частот;
- 5) преобразование шкалы длин волны в шкалу частот (рис. 2).

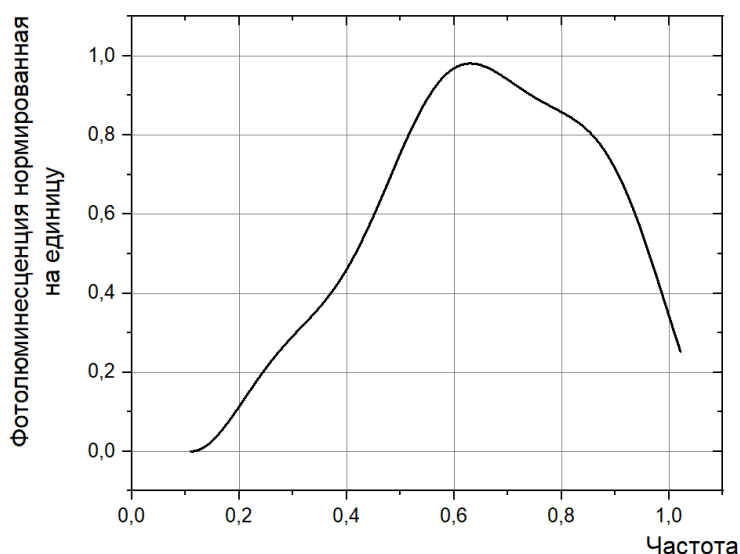


Рисунок 2 – Преобразование шкалы длин волны в шкалу частот

Для каждого образца определяли три ключевые частотные характеристики (рис.3):

- f_0 – частота, соответствующая максимуму интенсивности;

- $f_{\text{ц}}$ – центр тяжести спектра (средневзвешенная частота), вычисляемая как интеграл от произведения интенсивности на частоту, деленный на полную интенсивность;

- $\Delta f_{\text{эф}}$ – эффективная ширина спектра (полная ширина на полувысоте).

Далее рассчитывали два показателя широкополосности:

$$\mu_1 = \frac{\Delta f_{\text{эф}}}{f_{\text{ц}}},$$

$$\mu_2 = \frac{\Delta f_{\text{эф}}}{f_0}.$$

Выбор двух различных опорных частот обусловлен отсутствием в оптике устоявшегося определения: f_0 – проще определяется экспериментально, но $f_{\text{ц}}$ – более устойчив к шумам и асимметрии спектра.

В таблице 1 приведены рассчитанные параметры для 33 проб семян.

Таблица 1 – Параметры частотного спектра ФЛ семян растений

№	$f_{\text{эф}}$, Гц	f_0 , Гц	$f_{\text{ц}}$, Гц	μ_1	μ_2
1	2	3	4	5	6
1	0,62961	0,55273	0,7537	0,835359	1,139091
2	0,67758	0,55546	0,7631	0,887931	1,219854
3	0,78351	0,52817	0,7667	1,021925	1,483443
4	0,6436	0,55852	0,7699	0,835953	1,152331
5	0,67158	0,51184	0,7206	0,931973	1,31209
6	0,70556	0,49898	0,6702	1,05276	1,414005
7	0,65359	0,54704	0,7368	0,887066	1,194776
8	0,72555	0,53004	0,7225	1,004221	1,368859
9	0,69557	0,5202	0,7131	0,975417	1,33712
10	0,71156	0,52128	0,6869	1,0359	1,365025
11	0,62161	0,53158	0,6728	0,923915	1,169363
12	0,6416	0,55375	0,7835	0,81889	1,158646
13	0,65559	0,53947	0,7309	0,896963	1,215248
14	0,62561	0,53031	0,6789	0,921505	1,179706
15	0,68158	0,54239	0,7341	0,928457	1,256623
16	0,67558	0,52774	0,6993	0,96608	1,280138
17	0,67158	0,51324	0,6647	1,010351	1,308511
18	0,73354	0,54292	0,7721	0,950058	1,351101
19	0,69557	0,55284	0,7534	0,923241	1,258176
20	0,62961	0,57236	0,7603	0,828107	1,100024
21	0,72363	0,49048	0,7651	0,945798	1,475351

Продолжение таблицы 1 – Параметры частотного спектра ФЛ семян растений

№	$f_{эф}, \text{Гц}$	$f_0, \text{Гц}$	$f_{ц}, \text{Гц}$	μ_1	μ_2
22	0,59681	0,51896	0,7790	0,766123	1,150012
23	0,58002	0,51996	0,7326	0,791728	1,115509
24	0,59121	0,51301	0,7815	0,756507	1,152434
25	0,59867	0,50439	0,7202	0,831255	1,186919
26	0,60054	0,47871	0,7101	0,845712	1,254496
27	0,60986	0,48383	0,6868	0,887973	1,260484
28	0,66022	0,47328	0,7026	0,939681	1,394988
29	0,65836	0,50193	0,7599	0,866377	1,311657
30	0,608	0,53463	0,8133	0,747572	1,137235
31	0,58002	0,51735	0,7819	0,741808	1,121137
32	0,60986	0,53204	0,7791	0,782775	1,146267
33	0,76093	0,489	0,7839	0,970698	1,556094

Значения $f_{ц}$ варьируются в пределах 0,58 – 0,78 отн. ед., f_0 – 0,47 – 0,57 отн. ед., эффективная ширина $\Delta f_{эф}$ лежит в интервале 0,66-0,81 отн. ед. Показатели широкополосности составили: $\mu_1 = 0,74 – 1,05$, $\mu_2 = 1,10-1,56$.

Согласно классификации, принятой для радиотехнических сигналов [2], к сверхширокополосным (UWB) относят сигналы с показателем широкополосности более 0,2. В нашем случае все образцы демонстрируют превышение этой границы. Это означает, что спектры фотолюминесценции семян обладают свойствами, аналогичными сверхширокополосным сигналам: их ширина соизмерима с центральной частотой.

Приведенный частотный анализ фотолюминесценции показал, что спектры обладают сверхширокополосными свойствами. Использование двух показателей широкополосности позволяет более полно описать форму спектра и ее вариации. Обнаруженная аналогия со сверхширокополосными сигналами открывает возможность применения методов теории информации и цифровой обработки сигналов для анализа люминесцентных данных, а также для разработки новых диагностических подходов в агробиофизике.

Литература

- [1]. Исаков О.П., Тарасевич Ю.Ю., Юзюк Ю.И. Обработка и визуализация данных физических экспериментов с помощью пакета Origin 7.0. Анализ и обработка спектров. Учебно-методическое пособие – Ростов – на Дону, Южный федеральный университет, 2007
- [2]. Лазаренко О.В., Черногор Л.Ф. Сверхширокополосные сигналы и физические процессы. 1. Основные понятия, модели и методы описания. Радиофизика и радиоастрономия, 2008. Т.13, №2, с. 166-194.

ДЕКОМПОЗИЦИЯ СПЕКТРОВ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЕМЯН РАСТЕНИЙ И АНАЛИЗ ИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ

Настоящая работа посвящена исследованию люминесцентных свойств поверхностного слоя семян растений. Интерес к данной теме обусловлен перспективами использования биологических объектов в разработке элементов молекулярной электроники [1]. Регистрация спектров фотолюминесценции производилась с использованием спектрофлуориметра.

С целью устранения высокочастотного шума и выделения информативной составляющей была проведена серия операций в программном пакете *Origin Pro* 2018.

Первым шагом является сглаживание спектра люминесценции. Эта операция выполняется уменьшения случайных флуктуация сигнала. Сглаживание выполнялось методом «Adjacent-Averaging» с окном усреднения 8 точек (рисунок 1. а - б)

Второй шаг – нормализация и интерполяция. Спектр был нормализован к единице. Интерполяция выполнялась для увеличения количества точек в исходном спектре. Это необходимо для последующей фильтрации частотного спектра.

Подавление оставшихся высокочастотных помех выполнялось с помощью фильтра низких частот (*Low Pass FFT Filter*) с частотой среза 5 Гц. Постобработка включала центрировку спектра относительно нулевой условной частоты (так как постоянная Планка принята равной единице) и удаление постоянной составляющей путем вычитания постоянной составляющей спектра. Итоговый вид спектральной кривой представлен на рисунке 1. в.

Полученная огибающая спектра (рис. 1. г) представляет собой суперпозицию нескольких индивидуальных полос. Для определения количественного вклада каждого центра люминесценции было выполнено разложение спектра на гауссианы с использованием формулы:

$$W(f) = W_0 + A \cdot e^{-2.8 \left(\frac{f - f_0}{\Delta f} \right)^2},$$

где W_0 – фоновый сигнал, A – амплитуда, f_0 – положение центра пика.

Аппроксимация проводилась инструментом «*MultiPeak Fit*». Установлено, что для описания спектра достаточно трех гауссовых кривых. Результат декомпозиции для одного из образцов показан на рисунке 1. г (кривые 1, 2, 3)

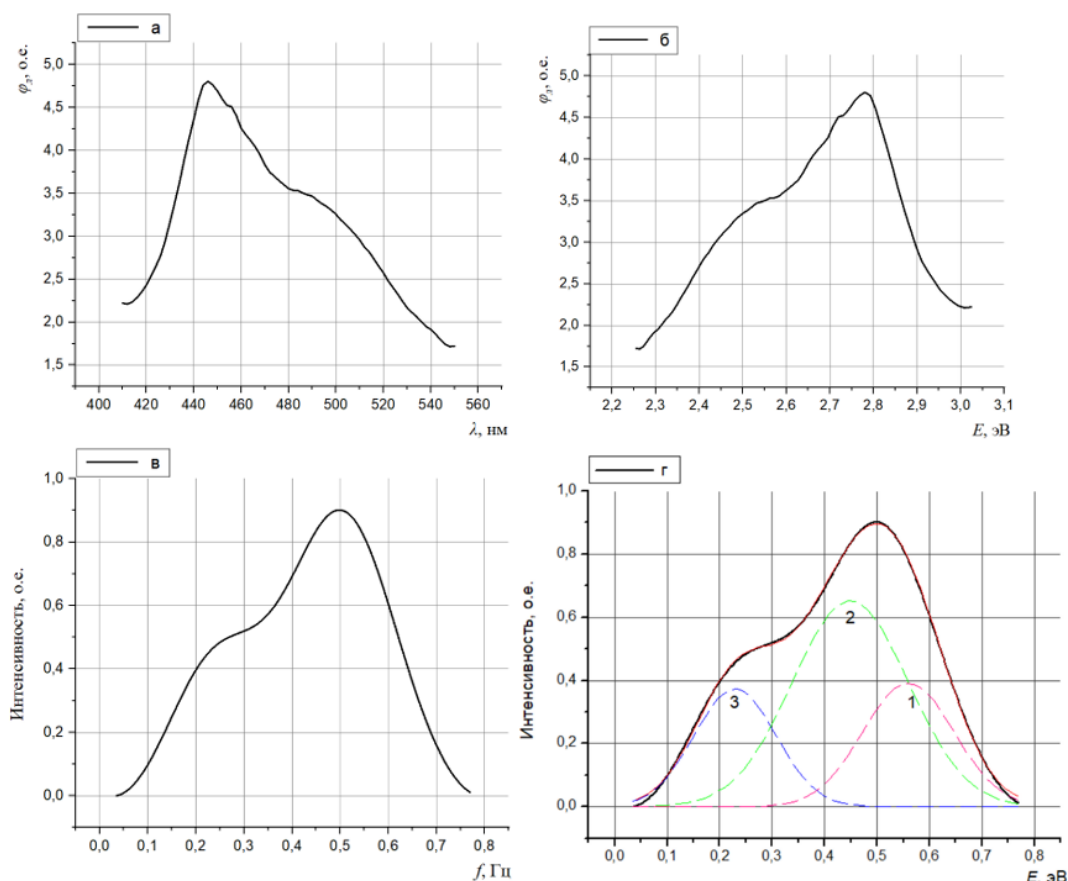


Рисунок 1 – Этапы преобразования спектра люминесценции семян овса:
а) исходный спектра (шкала длин волн); б) спектра (шкала энергии);
в) спектра (шкала частот); г) финальная форма спектра после фильтрации и нормировки (сплошная линия) и его аппроксимация тремя гауссовыми составляющими (пунктир)

Для каждой кривой гаусса рассчитывались такие характеристики как: площадь (*Area*), положение максимума (Пик, Гц), ширина и высота. Для всех кривых разложения выполнен расчет весовых коэффициентов, которые позволяют судить о влиянии каждой полосы на весь спектр. Данные параметры для семи различных образцов сведены в таблицу 1. Интегрирование выполнялось штатными средствами программы Origin.

Таблица 1 – Основные параметры спектральных составляющих

№ спектра	№ пика	Area	Пик, Гц	Ширина	Высота	Весовой коэффициент
1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,0033	0,0033	0,1362	0,0226	0,0097
	2	0,2555	0,4974	0,2601	0,9006	0,7625
	3	0,0763	0,2373	0,1982	0,3676	0,2278
	Общий	0,3351	0,4974	0,3963	0,9074	—
2	1	0,0452	0,5825	0,1873	0,2287	0,1338
	2	0,2150	0,4702	0,2497	0,7992	0,6366
	3	0,0775	0,2454	0,1998	0,3770	0,2296
	Общий	0,3377	0,4951	0,3996	0,9120	—

Продолжение таблицы 1 – Основные параметры спектральных составляющих

1	2	3	4	5	6	7
3	1	0,0258	0,5954	0,1745	0,1464	0,0767
	2	0,2284	0,4832	0,2617	0,8510	0,6786
	3	0,0824	0,2463	0,1994	0,3938	0,2447
	Общий	0,3366	0,4957	0,3863	0,9084	–
4	1	0,0860	0,5611	0,1827	0,4340	0,2448
	2	0,1749	0,4436	0,2349	0,6869	0,4980
	3	0,0904	0,2349	0,1957	0,4231	0,2572
	Общий	0,3512	0,4958	0,4175	0,9224	–
5	1	0,0612	0,5692	0,1881	0,3064	0,1786
	2	0,1972	0,4689	0,2508	0,7398	0,5750
	3	0,0845	0,2307	0,2006	0,4131	0,2464
	Общий	0,3429	0,4940	0,4137	0,9039	–
6	1	0,0819	0,5584	0,2114	0,3727	0,2446
	2	0,1841	0,4465	0,2736	0,6528	0,5499
	3	0,0688	0,2351	0,1741	0,3567	0,2054
	Общий	0,3347	0,4963	0,3979	0,8999	–
7	1	0,0845	0,5580	0,2118	0,3914	0,2504
	2	0,1802	0,4459	0,2617	0,6521	0,5342
	3	0,0727	0,2340	0,1869	0,3722	0,2155
	Общий	0,3374	0,4957	0,4112	0,8961	–

Анализ данных таблицы 1 показывает устойчивую картину для всех исследованных образцов. Расчет весовых коэффициентов показывает стабильное влияние каждой полосы для всех образцов. Основной вклад в суммарную интенсивность свечения вносит вторая компонента. Ее весовой коэффициент варьируется в пределах от 0,4980 до 0,7625, что значительно превышает вклад двух других полос.

Второстепенные компоненты: первая (высокочастотная) и третья (низкочастотная) полосы присутствуют во всех образцах, однако их интенсивности и точное положение могут незначительно меняться, что, отражает неоднородности в поверхностном слое семян растений.

Таким образом, фотолюминесценция семян обусловлена излучением как минимум трех типов оптически активных центров или состояний. Дальнейшие исследования будут направлены на определение природы этих центров.

Литература

- [1]. Молекулярная электроника и углеродные наноструктуры. [учебное пособие]/ И.Б. Захарова, Т.Л. Макарова – СПб., 2008
- [2]. Зайцев В.Б. Спектры люминесценции адсорбированных молекул. – Москва: Физический факультет МГУ, 2009. – 57 с.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА КОНТРОЛЛЕРА ИМПУЛЬСНОГО СВАРОЧНОГО АППАРАТА

Сварочный аппарат – это устройство, которое предназначено для получения сварочного тока, то есть понижения напряжения из сети электропитания до заданных значений, позволяющих повысить силу тока. Основная задача – обеспечить плавление заготовок в месте их стыка [1], [2].

В настоящий момент существует множество вариаций сварочного аппарата, ниже представлены некоторые из них:

- трансформаторы (рис. 1а). Это классический тип оборудования. Принцип их работы основан на понижении напряжения сети до рабочего и повышении силы тока с помощью электромагнитной индукции. На выходе они дают переменный ток [1];

- инверторы (рис. 1б). Самый популярный и современный тип на сегодняшний день. Они преобразуют ток в несколько этапов, что позволяет сделать конструкцию легкой и эффективной [1];

- полуавтоматы (MIG/MAG) (рис. 1в). Это оборудование предназначено для сварки с автоматической подачей присадочной проволоки. Защита сварочной ванны осуществляется инертным (MIG) или активным (MAG) газом, либо с помощью флюсовой проволоки (без газа) [3];

- аргонодуговые (TIG) (рис. 1г). Предназначены для сварки неплавящимся электродом в среде инертного газа. Присадочный материал подается вручную [3].



Рисунок 1 – Сварочные аппараты:
«Трансформатор» (а), «Инвертор» (б) «Полуавтомат (MIG/MAG)» (в),
«Аргонодуговой (TIG)» (г)

Зачастую, говоря о импульсных сварочных аппаратах, подразумевают полуавтомат (MIG/MAG) или TIG-аппарат, которые обладают способностью работать в импульсном режиме, т. е. подавать ток не только непрерывно, но и с высокой частотой, из чего следует наличие «фазы импульса» и «фазы паузы» Данный метод сварки используется в автомобилестроении, электронике, медицине и аэрокосмической отрасли, что показывает его важность в современном мире [4].

При разработке контроллера импульсного сварочного аппарата использовались следующие компоненты и готовые модули:

- блок питания Mean Well LRS-50-5;
- потенциометр WH148;
- твердотельное реле ssr 40a;
- микроконтроллер WAVGAT ATTINY85;
- светодиод led 5mm;
- кнопка.

Функциональная схема контроллера импульсного сварочного аппарата представлена на рисунке 2.

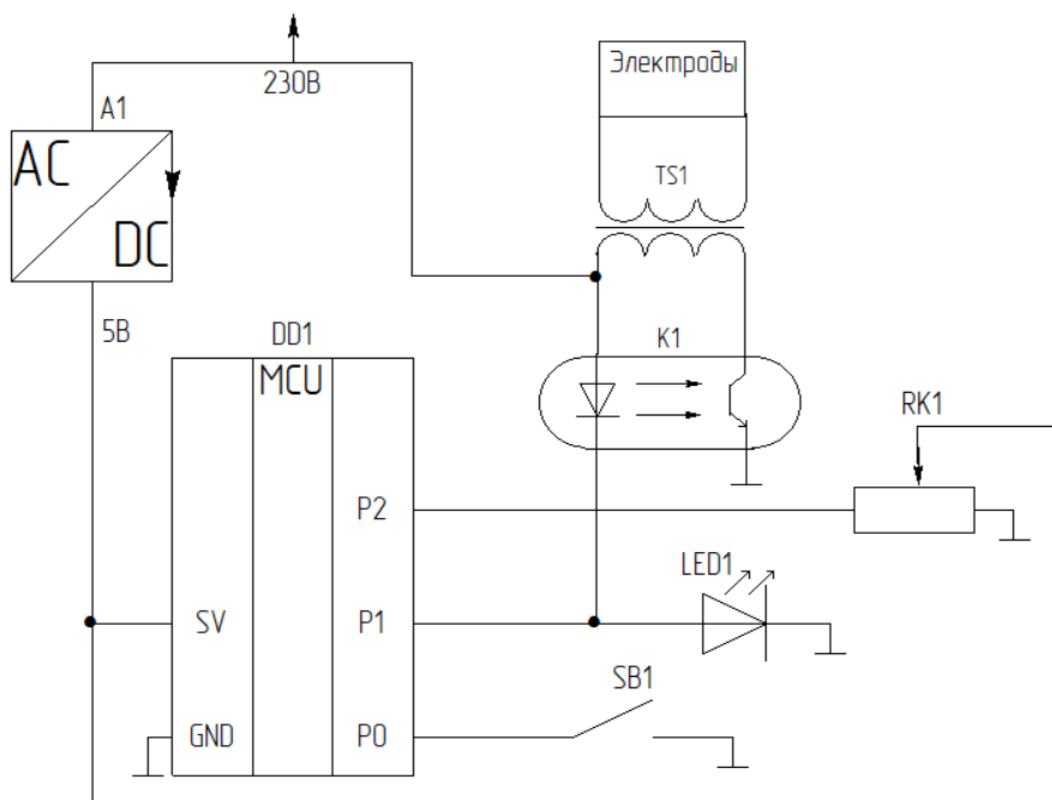


Рисунок 2 – Функциональная схема контроллера сварочного аппарата

Устройство запускается по нажатию кнопки, после чего сварочный таймер выдаёт короткий импульс (настраивается в прошивке), затем длинный – настраивается потенциометром. Управление импульсом осуществляется при

помощи потенциометра WH148 RK1, технические характеристики которого представлены ниже:

- угол поворота $\approx 270^\circ$ - 300° ;
- диаметр вала 6.35мм;
- материал контактов – сталь;
- количество выводов – 3.

Для питания устройства используется внешний источник питания 230В и блок питания Mean Well LRS-50–5 A1, технические характеристики которого представлены ниже:

- входное напряжение 85В-264В;
- рабочая температура $-30^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$;
- размер 129х97х30мм.

Так же для переключения диапазона тока в нём было использовано твердотельное реле ssr 40a K1, технические характеристики которого представлены ниже:

- управляющее напряжение 3-32В;
- ток управления 15мА;
- коммутирующее напряжение 24-380В;
- номинальный ток 40А;
- рабочая температура $-30^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$.

Для полноценного функционирования устройства был выбран микроконтроллер WAVGAT ATTINY85 DD1, технические характеристики которого представлены ниже:

- архитектура 8-bit;
- выходная мощность 2,7-5,5В;
- максимальный ток с одного пина 20мА;
- размер платы 28х18х3мм.

Стоит помнить, что контроллер не управляет напрямую огромными токами сварочного аппарата, а является «интеллектуальным блоком управления», который с помощью слаботочных сигналов от микроконтроллера командует мощным силовым ключом, который, в свою очередь, уже подает или отключает высокий ток на сварочный трансформатор.

Литература

- [1]. Чернышов, Г. Г. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением : учебное пособие для вузов / Г. Г. Чернышов, В. Б. Мордынский, А. П. Славин. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 464 с.
- [2]. Завьялов, В. Е. Технологические основы сварки плавлением : учебное пособие / В. Е. Завьялов, И. В. Иванова, Н. Г. Кобецкой. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического университета, 2017. – 120 с.
- [3]. Сущность способов сварки неплавящимся (ТИГ) и плавящимся электродом (МИГ и МАГ) [Электронный ресурс] // Дистанционные ресурсы Донского государственного технического университета (ДГТУ). – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2021. URL: <https://de.donstu.ru/CDOSite/Struct/Page.aspx>, свободный (дата обращения: 28.02.2026).
- [4]. Минин, В. Ф. Магнитно-импульсная сварка. Теория энергетических материалов : учебное пособие / В. Ф. Минин, И. В. Минин, О. В. Минин. – 2-е изд. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2026. – 100 с.

СРАВНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ КОМНАТНЫХ РАСТЕНИЙ

В современном мире люди всё чаще заводят комнатные растения. Контроль влажности почвы напрямую определяет состояние корневой системы и эффективность впитывания влаги, что делает его ключевым фактором развития комнатных растений. Однако в бытовых условиях решение о поливе чаще всего принимается спонтанно, что приводит к переувлажнению либо пересыханию.

Поэтому важно оценить стабильность, доступность, устойчивость к коррозии и внешним факторам (температура, засоленность) датчиков влажности почвы. И на основе полученных данных выявить наиболее подходящую модель для долгосрочного использования в системах индикации полива комнатных растений.

Развитие сенсорных технологий позволило перенести в бытовую сферу электрические и диэлектрические методы измерения влажности грунта, изначально применявшиеся в агрономических исследованиях [1]. На основе применения этих методов выделяют три группы датчиков влажности почвы:

- механические индикаторы;
- электронные системы;
- интеллектуальные системы, дополненные микроконтроллерами и алгоритмами обработки данных.

Важно учитывать точность измерений, поэтому в исследовании были рассмотрены именно электронные варианты, которые особенно отличаются своей точностью в сравнении с механическими индикаторами. Также следует брать в расчет и легкость реализации датчика, поэтому предпочтение отдается электронным, а не интеллектуальным системам. В электронных системах наибольшее распространение получили два типа датчиков: резистивные и ёмкостные [2].

Резистивные датчики (рис.1) измеряют электрическое сопротивление грунта между двумя электродами – при увеличении содержания влаги сопротивление уменьшается за счёт роста электропроводности среды [2].



Рисунок 1 – Резистивный датчик влажности почвы

Они просты в реализации и отличаются низкой стоимостью по сравнению с ёмкостными, однако имеют ряд недостатков. Поскольку электроды контактируют с влажной почвой и через неё проходит электрический ток, со временем возникает электрохимическая коррозия, что приводит к разрушению электродов [2]. Кроме того, результаты измерений существенно зависят не только от уровня влажности, но и от состава почвы, концентрации растворённых солей и удобрений.

Ёмкостные датчики (рис. 2) измеряют диэлектрическую проницаемость почвы, которая напрямую связана с объёмным содержанием воды [2].



Рисунок 2 – Ёмкостной датчик влажности почвы

Их электроды изолированы от грунта, что исключает протекание постоянного тока, повышает долговечность и обеспечивает более стабильные показания, менее чувствительные к засолению и температуре по сравнению с резистивными аналогами [2]. Интеллектуальные системы дополняют электронную базу микроконтроллером и алгоритмами обработки данных, что позволяет реализовывать сложные алгоритмы мониторинга, поддерживать заданные параметры в определённом диапазоне и обеспечивать своевременный полив в автоматическом режиме. Качество их работы определяется типом используемого датчика влажности.

Для сравнительного анализа были проанализированы три типа датчиков: базовый резистивный датчик, доступный ёмкостной датчик и профессиональный ёмкостной датчик *WaterScout SM10* (рис.3) который по своей сути является примером оборудования, используемого в точном земледелии и научных исследованиях.



Рисунок 3 – Профессиональный ёмкостной датчик *WaterScout SM10*

WaterScout SM100 позволяет измерять объёмное содержание воды в почве (VWC-Volumetric Water Content), отличается быстрым откликом на изменения влажности и откалиброван как для минеральной почвы, так и для беспочвенной среды [3]. Его конструкция допускает как стационарную установку, так и точечные измерения, а данные могут считываться специализированными приборами.

Результаты сравнительного анализа трёх типов датчиков влажности почвы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа трёх типов датчиков влажности почвы

Наименование	Резистивный датчик влажности почвы	Ёмкостный датчик влажности почвы	<i>WaterScout SM100</i>
Тип датчика	Резистивный	Ёмкостной	Ёмкостной (<i>FDR</i>)
Принцип измерения	Измерение сопротивления почвы между двумя электродами	Измерение изменения ёмкости, зависящей от диэлектрических свойств почвы	Измерение объёмного содержания воды методом частотной рефлектометрии
Измеряемый параметр	Относительная влажность почвы	Относительная влажность почвы	Объёмное содержание воды (VWC)
Выходной сигнал	Аналоговый	Аналоговый	Аналоговый
Напряжение питания	3,3-5 В	3,3-5 В	3-5 В
Диапазон выходного сигнала	0-3,5 В (при 5 В питания)	0,5-3,3 В	0,5-1,5 В (при 3 В питания)
Потребляемый ток	до 34 мА	до 6 мА	6-10 мА
Глубина установки	до 40 мм	до 80 мм	не фиксирована
Точность измерения	Низкая-средняя ($\approx \pm 10\%$)	Средняя ($\approx \pm 5\%$)	Высокая ($\approx \pm 3\%$ VWC)
Устойчивость к коррозии	Низкая	Высокая	Высокая
Срок службы	Ограниченный	Длительный	Длительный
Сложность подключения	Низкая	Низкая	Средняя

Проведенное сравнение показало, что резистивные датчики отличаются простотой конструкции и низкой стоимостью, однако точность их показаний зависит сразу от нескольких факторов и срок службы ограничен особенностями принципа измерения, который они используют. При контакте с влажной почвой электроды подвергаются электрохимической коррозии, что со временем приводит к их постепенному разрушению и снижению точности показаний [2].

Ёмкостные датчики, напротив, характеризуются более высокой стабильностью работы, так как их электроды изолированы от грунта. Это исключает быстрый износ и снижает влияние факторов состава почвы, концентрации солей, удобрений и др. примесей на показания [2].

Таким образом, приоритетом становится использование ёмкостных датчиков, которые обеспечивают более точные измерения и отличаются долговечностью при относительно небольшой стоимости.

Литература

1. Гюмюсер, М. А. Сравнение ёмкостных датчиков влажности почвы в различных субстратах для систем орошения / М. А. Гюмюсер, А. Пихльхёфер, А. Коржениц // Сенсоры. – 2025. – Т. 25, № 5. – С. 1461.
2. Нанди, Р. Оценка недорогих и профессиональных датчиков влажности почвы в различных диапазонах влажности и типах почв / Р. Нанди, Д. Шрестха // Сенсоры. – 2024. – Т. 24, № 18. – С. 5886. – DOI: 10.3390/s24185886.
3. Spectrum Technologies WaterScout SM 100 Soil Moisture Sensor // ПроПриборы.ру. – [URL]: <https://propribory.ru/product/154272>

*И.Р. Иващенко, студ.; рук. П.А. Жигунов, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
ФГБОУ ВО «СмоЛГУ» в г. Смоленске*

ПРЕИМУЩЕСТВА ВЕНТИЛЬНЫХ МАТРИЦ С ФУНКЦИЯМИ ОКОН И СТРОБИРОВАНИЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ИМПЕДАНСА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Печатные платы (ПП) становятся все более плотными, а в конструкциях, в которых они используются, применяются все более сложные радиочастотные сигналы. Измерение импеданса всегда было важным процессом, но с появлением новых конструкций его значимость возросла еще больше. Чтобы обеспечить корректное распространение сигналов по плате, можно использовать векторный анализатор цепей (ВАЦ), оснащенный функцией анализа во временной области, которая включает в себя базовые и расширенные функции окон и стробирования, для более точных и воспроизводимых измерений импеданса.

Данные во временной области важны при проведении измерений на печатных платах, поскольку они дают представление об испытуемом устройстве (ИУ), которое невозможно получить при измерениях в частотной области. Векторный анализатор цепей обладает рядом преимуществ при проведении измерений во временной области, в том числе: Частотная характеристика для точного анализа вносимых и возвратных потерь, несколько методов калибровки для обеспечения точности измерений, возможность встраивания и извлечения.

Векторный анализатор цепей с широкой полосой пропускания, такой как VectorStar™ серии ME7838 Broadband, обеспечивает более высокое разрешение во временной области по сравнению с рефлектометрическим оборудованием. Это особенно важно для новых высокочастотных

разработок. Чем шире частотный диапазон векторного анализатора цепей, тем выше разрешение во временной области. Разрешение особенно важно для выявления дефектов и других аномалий в системе.

Ключевым аспектом использования векторного анализатора цепей для измерения импеданса является использование обратного дискретного преобразования Фурье (ОДПФ) для преобразования данных из частотной области во временную с целью создания выборок во временной области. При преобразовании в временную область с помощью ОДПФ векторный анализатор цепей становится периодической функцией, компенсируя присущую прибору ограниченность полосы пропускания. Периодическая импульсная характеристика во временной области, полученная с помощью векторного анализатора цепей с применением ОДПФ. Две вертикальные линии показывают зону отсутствия наложения спектров от -25 мс до +25 мс (рисунок 1).

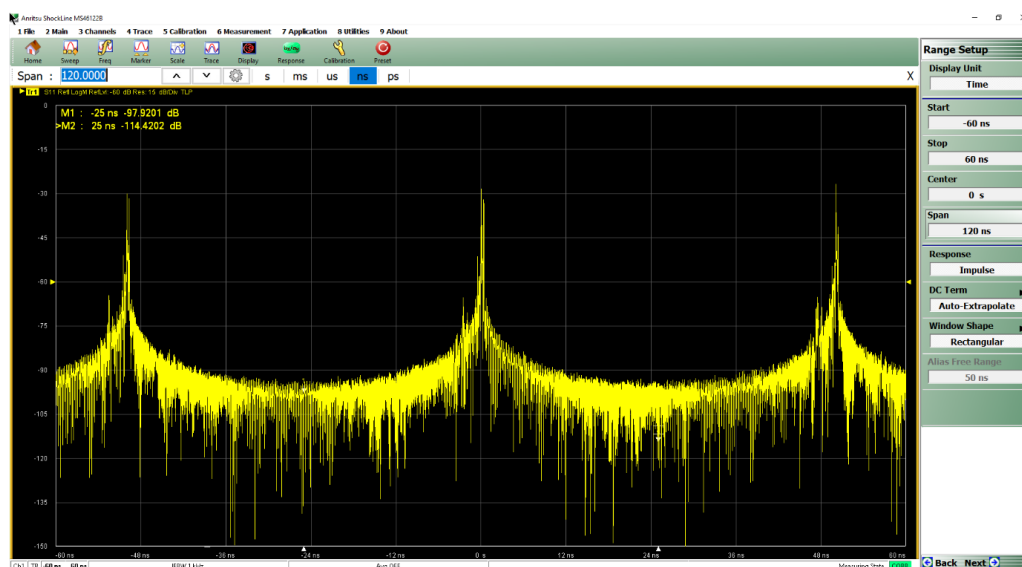


Рисунок 1 – Периодическая импульсная характеристика во временной области, полученная с помощью векторного анализатора цепей с функцией IDFT

При использовании векторного анализатора цепей инженеры выбирают один из двух типов временной области:

Временная область с низкими частотами – с помощью этой опции векторный анализатор цепей может имитировать рефлектометр с пошаговым стимулом. Также можно использовать импульсный стимул, чтобы инженеры могли просматривать импульсные отклики во временной области. Частоты должны быть гармонически связаны, то есть начальная частота должна быть равна размеру шага. Постоянная составляющая экстраполируется на основе значения самой низкой частоты. Следует учитывать, что при использовании временной области с низкими частотами количество частотных выборок удваивается при переходе от отрицательных частот к положительным, чтобы соответствовать требованиям быстрого преобразования Фурье [1].

Полоса пропускания во временной области – для определения места повреждения линий передачи рекомендуется использовать полосу пропускания

во временной области, так как можно задать произвольные начальную и конечную частоты. При использовании этого метода следует учитывать, что в нем отсутствует элемент постоянного тока, а разрешение ниже, чем в режиме низкочастотной временной области. После обратного дискретного преобразования Фурье импульсная характеристика также перестает быть реальной функцией.

Импеданс, наблюдаемый на концах линии передачи, зависит от оконечного устройства более сложным образом. По этой причине необходимо измерить соотношение между импедансом на концах «генератора» и импедансом «нагрузки». Это называется коэффициентом отражения, который используется для описания линий передачи.

Векторный анализатор цепей – универсальный прибор, широко применяемый в области измерений электрических параметров различных электрических схем и устройств. Это мощный инструмент, который позволяет анализировать комплексное взаимодействие между током и напряжением в цепях. Он преобразует коэффициент отражения на разрыве в импедансном формате в ступенчатую характеристику во временной области с фильтром нижних частот или может отображать разрывы в импульсной характеристике во временной области с фильтром нижних или верхних частот.

Влияние оконных функций на разрешение. Оконная функция – это функция, которая используется в обработке сигналов для сглаживания экстремальных значений частоты в частотной области и подавления краевых эффектов разрывности реальных функций во временной области. Это позволяет улучшить результаты спектрального анализа сигналов, например, быстрого преобразования Фурье (БПФ, FFT). Повышает эффективность измерений и их точность. Некоторые анализаторы спектра предлагают оконную функцию для устранения звона, который может возникать при преобразовании измерений во временную область.

Окно – весовая функция, которая используется для управления эффектами, обусловленными наличием боковых лепестков в спектральных оценках (растеканием спектра). Имеющуюся конечную запись данных или имеющуюся конечную корреляционную последовательность удобно рассматривать как некоторую часть соответствующей бесконечной последовательности, видимую через применяемое окно. Окно расширяет главный лепесток, снижая эффективное разрешение. По этой причине полезно иметь несколько типов окон, чтобы можно было выбирать между разрешением и эффектом боковых лепестков в зависимости от задачи [2].

Как уже отмечалось, оконная функция может негативно влиять на эффективное разрешение. Для достижения максимально возможного разрешения в частотной области можно использовать прямоугольную функцию. Чем выше разрешение, тем меньше время нарастания сигнала. Однако за это приходится расплачиваться большими боковыми лепестками, которые могут приводить к появлению ореолов. Боковые лепестки создают проблемы при определении нескольких центров отражения на тестируемом устройстве. В таких

случаях подходит оконная функция с малыми боковыми лепестками. Если тестируемое устройство имеет слабое отражение на границе полосы частот, как, например, в случае с антенной с согласованным сопротивлением на конце, предпочтительнее использовать более высокое разрешение. Дисплей с прямоугольным элементом и соответствующими боковыми лепестками (рисунок 2).

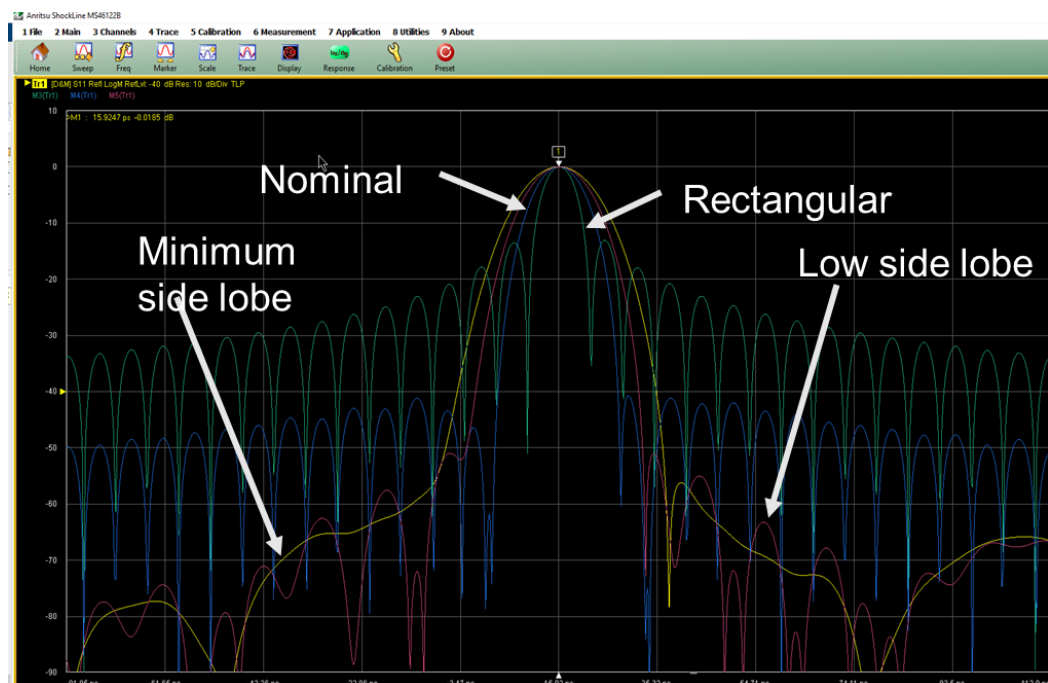


Рисунок 2 – Отображение результатов измерения, демонстрирующее влияние векторного анализатора цепей с использованием прямоугольной функции для повышения разрешения

Еще один эффективный инструмент для измерения импеданса – функция стробирования. Стробирование (англ. strobing, от strobe – посылать избирательные импульсы, от греч. strobos – кружение, беспорядочное движение) – это метод выделения некоторого интервала на временной оси, шкале частот и т. п. для увеличения вероятности обнаружения полезных сигналов на фоне помех. Устранение любых несовершенств позволяет получить более точные данные о характеристиках микроволновой схемы. Некоторые виртуальные осциллографы позволяют пользователям легко управлять различными функциями стробирования и их шириной.

Результаты отображаются в частотной области. Умножение функции оконной функции на отклик во временной области и преобразование его в частотную область с помощью дискретного преобразования Фурье позволяет более детально изучить и проанализировать частотную характеристику или импеданс.

При разработке новых высокочастотных печатных плат с помощью векторного анализатора цепей можно экономично и с высокой точностью и воспроизводимостью измерить импеданс. Некоторые функции, в том числе

о оконные функции и стробирование во временной области, позволяют проводить детальный анализ, необходимый инженерам для разработки надежных проектов.

Литература

- [1]. Л.Н. Кечиев Справочник по расчёту электрической ёмкости, индуктивности и волнового сопротивления в электронной аппаратуре. М.: Грифон, 2021 – 280 с.
[2]. Кумбза К.Ф. Печатные платы. Справочник Мир электроники. Книга 2. Изд -во Техносфера, 2011. 1016

*И.Р. Иващенко, студ.; рук. П.А. Жигунов, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
ФГБОУ ВО «СмолГУ» в г. Смоленске*

РАЗРАБОТКА СХЕМ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ ДЛЯ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Современные системы промышленной электроники невозможны без использования оптоэлектронных датчиков, обеспечивающих бесконтактное измерение параметров окружающей среды, положения объектов, расстояний и т.п. Фотодиоды, фототранзисторы, оптопары и оптические энкодеры широко применяются в системах управления движением, контроля качества продукции и контроля окружающей среды. Однако прямое подключение таких датчиков к микроконтроллеру (МК) зачастую невозможно из-за несоответствия уровней сигналов, недостаточной помехозащищенности или необходимости гальванической развязки. Наиболее частой причиной отказов в работе встраиваемых систем связано с некорректным согласованием датчиков с МК. Особенно эта проблема часто встречается в промышленных условиях, где уровень электромагнитных помех на несколько порядков превышает лабораторные условия. В связи с этим актуальной задачей является разработка типовых схемотехнических решений подключений оптоэлектронных датчиков.

Цель исследования заключается в разработке и анализе схем подключения основных типов оптических датчиков (фотодиодов, фототранзисторов, оптопар и цифровых оптических сенсоров) с микроконтроллером.

Под подключением датчика с микроконтроллером понимается совокупность схемотехнических и алгоритмических решений, обеспечивающих преобразование выходного сигнала датчика в форму, которая способна обрабатываться цифровым устройством [1]. В контексте оптоэлектронных систем подключение выполняет следующие функции:

- преобразование тока фотоприемника в напряжение;
- масштабирование и смещение уровней сигнала для согласования с диапазоном входов АЦП;
- фильтрация высокочастотных помех и подавление синфазной составляющей;

- гальваническая развязка цепей датчика и МК при наличии опасных потенциалов;
- формирование логических уровней для дискретных входов (триггеры Шмитта, компараторы);
- обеспечение стабилизированным питанием чувствительных аналоговых компонентов.

Таким образом, корректное подключение является связующим звеном между датчиком и цифровой логикой, определяющей достоверность получаемых данных.

Классификация оптоэлектронных датчиков схемотехники включает три основные группы. Аналоговое отсчетное устройство имеет указатель в виде непрерывного возбуждённого (светящегося, затемнённого и т. п.) столбца, длина которого определяет значение измеряемой величины. Чисто аналоговое шкальное устройство чаще всего представляет собой два сплошных проводящих электрода, между которыми помещают индикаторное вещество. Дискретные датчики выдают сигнал типа да или нет и требуют четкого формирования логических уровней для исключения дребезга. В цифровых оптоэлектронных устройствах происходит кодирование сигнала – преобразование его в определённую последовательность одноступенчатых импульсов, содержат встроенную логику и АЦП [2].

Схема подключения – это не просто соединить выводы по даташиту. Это построение, которое должно держать характеристики в реальной эксплуатации: с учетом наводок от силовой части, перепадов питания при включении двигателей и всего этого температурного диапазона. Если на этапе проектирования не заложить возможные ошибки, помехи, температурные диапазоны, то потом можно столкнуться с проблемами.

При построении схем подключения оптоэлектронных датчиков к микроконтроллеру используется модульный подход. Это сильно упрощает жизнь, когда нужно подогнать схему под конкретный тип датчика или условия работы. По сути, вся обвязка делится на четыре основные части: входной каскад, аналоговая обработка, формирователь логики и сам цифровой интерфейс с МК.

Входной каскад – это первое, что видит датчик. Тут всё зависит от того, что именно используется. Если это фотодиод, то используем трансимпедансный усилитель (ТИА) на операционном усилителе с резистором в цепи обратной связи, он превращает ток в напряжение. Главный элемент тут – резистор обратной связи.

Его номинал всегда приходится подбирать: чувствительность больше – сопротивление выше, но тогда можно упереться в ограничение по току. Параллельно резистору можно повесить конденсатор, на несколько десятков пикофарад, иначе из-за паразитной емкости диода усилитель может начать возбуждаться и генерировать сам себя.

Фототранзисторы. Тут входной каскад – это обычный резистор нагрузки в цепи коллектора. Тут тоже не обходится без компромиссов: если взять резистор больше, сигнал будет сильнее, но вырастет время отклика. Так что номинал

подбираешь под нужное быстродействие, путем подбора и расчетов [3]. Далее сигнал идет на аналоговую обработку. На практике редко бывает, чтобы выходной диапазон фотоприемника идеально совпадал с входом АЦП микроконтроллера (чаще всего либо 0–3.3 В, либо 0–5 В). Поэтому применяется масштабирующий каскад на ОУ, чтобы подогнать уровни. Кроме того, обязательно нужно вырезать помехи. Для этого используется фильтр нижних частот (ФНЧ) – высокочастотные наводки от импульсных блоков питания или внешняя засветка могут полностью испортить картину. Обычно RC-цепочки или активного фильтра первого-второго порядка достаточно. Частота среза подбирается исходя из того, что нужно получить от датчика, но главное правило – чтобы она была минимум в 10 раз ниже частоты дискретизации АЦП. Это условие Котельникова, иначе спектр полезного сигнала перемешается с шумами.

Если датчик дискретный, либо сигнал нужно тянуть по длинному проводу, на помощь приходит модуль формирования логических уровней. Стоит компаратор с гистерезисом – по сути, триггер Шмитта. Так же можно использовать D триггер (со своими особенностями). Это помогает от дребезга, когда входной сигнал меняется медленно. Гистерезис исключает ситуацию, когда компаратор «дергается» туда-сюда на пороге срабатывания. Пороги задаются делителем напряжения или встроенным опорником. Часто используются компараторы с открытым коллектором, типа LM393. Для них обязательно нужен подтягивающий резистор к питанию МК – это заодно решает проблему согласования уровней.

Связь с самим микроконтроллером. Тут всё определяется типом выхода датчика. Если аналог – на АЦП. Тут важно, чтобы разрядности хватало и частоту дискретизации была настроена. Для цифровых датчиков, которые висят на I2C или SPI, приходится думать о подтягивающих резисторах на SDA/SCL, иначе на высоких скоростях сигнал «поплывет» из-за паразитных емкостей шины. А если работаем с инкрементальным энкодером, то простым АЦП или GPIO уже не обойтись – нужно подключать его к ножкам внешних прерываний или к таймеру в режиме захвата, чтобы точно считать скорость и направление вращения. [4]. На основе изученных данных составлена таблица рекомендуемых схем подключения (таблица 1).

Таблица 1 – Схемы подключения для различных оптоэлектронных датчиков

Тип датчика	Примеры	Схема подключения	Особенности
Фотодиод (токовый выход)	BPW34, SFH203	Трансимпедансный усилитель на ОУ + АЦП	Высокая линейность, требует малошумящего ОУ с полевыми входами
Фотодиод (режим КЗ)	ФД-24К	Операционный усилитель с инвертирующим включением	Низкое входное сопротивление, хорошая линейность при малых сигналах
Фототранзистор	TCRT5000, OPB704	Резистор нагрузки (1-10 кОм)	Простейшее решение

Продолжение таблицы 1 – Схемы подключения для различных оптоэлектронных датчиков

Фоторезистор	GL5516, VT93N1	Делитель напряжения + АЦП	Потребуется калибровка из-за разброса параметров
Оптопара	PC817, 4N35	Токоограничивающий резистор на входе + подтяжка на выходе	Низкая скорость передачи, обеспечивает гальваническую развязку
Высокоскоростная оптопара	6N137, HCPL-2630	Выход с открытым коллектором, подтяжка к питанию МК	Требуется развязка по питанию
Датчик с интерфейсом SPI	AS5048, TDC-GP2	Четыре линии: SCK, MOSI, MISO, CS	Высокая скорость
Датчик с интерфейсом I2C	BH1750, PAT9125	Подтягивающие резисторы 4.7-10 кОм к питанию	Множество датчиков на одной шине, каждый имеет свой адрес.

Представленные данные показывают, что выбор конкретной схемы определяется типом датчика, требуемыми характеристиками и условиями эксплуатации.

Особое внимание при проектировании следует уделять помехозащищенности, особенно в условиях работы импульсных преобразователей питания и силовых ключей, создающих электромагнитные помехи.

Топология печатной платы играет важную роль в обеспечении заявленных характеристик. Аналоговые и цифровые части должны иметь отдельные земли, соединенные в одной точке. Фотодиод и входные цепи необходимо располагать максимально близко к ОУ, минимизируя длину дорожек для уменьшения паразитной емкости и индуктивности.

Таким образом, разработанное схемотехническое решение представляет собой подход, объединяющий аналоговую обработку сигналов, формирование логических уровней и цифровые интерфейсы. Применение модульного принципа построения позволяет адаптировать схему под конкретный тип датчика и условия эксплуатации, обеспечивая высокую точность, помехозащищенность и надежность измерений в системах. Корректный выбор компонентов и соблюдение правил топологии печатных плат являются определяющими факторами для достижения заявленных характеристик.

Литература

- [1]. Смирнов А.В. Схемотехника аналоговых интерфейсов микроконтроллеров. М.: Горячая линия – Телеком, 2023. 320 с.
 - [2]. Баранов В.Н. Оптоэлектронные приборы и их применение. СПб: BHV-Петербург, 2022. 288 с.
 - [3]. Williams J. High Speed Photodiode Signal Conditioning. Analog Devices Application Note AN-581, 2021. 24 p.
- Петров И.К., Сидоров П.С. Сопряжение оптических энкодеров с микроконтроллерами семейства STM32 // Компоненты и технологии. 2024. №3. С. 45-51.

СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА ПРОТИВ ЦЕЛОСТНОСТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

У инженера по силовой электронике и инженера по обеспечению целостности электропитания общая цель: обеспечить систему необходимыми напряжениями, токами и характеристиками шума для достижения желаемых показателей. К сожалению, в остальном их интересы расходятся. Как правило, они используют разные инструменты, терминологию и показатели эффективности. В результате проигрывают обе стороны.

Реальная система, включает в себя стабилизатор напряжения, схему нагрузки, печатную плату (ПП), межкомпонентные соединения и разделительные конденсаторы (рисунок 1). Инженеры, работающие в сфере силовой электроники, уделяют особое внимание характеристикам входного и выходного напряжения источника питания. Основными показателями являются КПД, размер, вес, уровень пульсаций, стабильность (обычно оценивается с помощью диаграммы Боде) и реакция на скачкообразное изменение нагрузки.

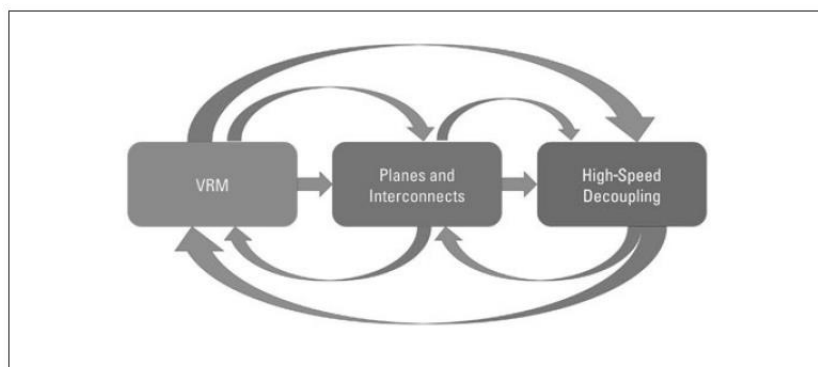


Рисунок 1 – Типичная система

Инженер по обеспечению целостности электропитания занимается производительностью цепей нагрузки, к которым часто относятся высокоскоростные схемы (например, ПЛИС, центральные процессоры и приемопередатчики данных), а также устройства с низким энергопотреблением (например, маломощные усилители, датчики и опорные тактовые генераторы). Основными показателями являются уровень шума, импеданс шины питания и переходные процессы, вызванные нагрузкой [1].

Инженеры, специализирующиеся на силовой электронике, обычно используют SPICE-симулятор, а инженеры, отвечающие за целостность электропитания, – электромагнитный симулятор для учета паразитных эффектов, связанных с печатными платами.

Инженеры в области силовой электроники называют стабилизацией нагрузки падение напряжения в источнике питания, связанное с силой тока нагрузки, а инженеры в области целостности электропитания – падением напряжения на сопротивлении нагрузки. Инженеры в области силовой электроники называют реакцию напряжения на изменение силы тока нагрузки ступенчатой или переходной реакцией, а инженеры в области целостности электропитания – скачком напряжения и просадкой VDD.

Несмотря на то, что у инженеров, занимающихся силовой электроникой, и инженеров, отвечающих за целостность электропитания, разные задачи, симуляторы и терминология, их объединяет интерес к импедансу и помехам. Например, импеданс печатной платы и разделительного конденсатора может негативно влиять на стабильность работы стабилизатора напряжения, а импеданс источника питания и печатной платы увеличивает переходные напряжения, возникающие при быстродействующей нагрузке. К сожалению, оба инженера обращают внимание на мощность своего устройства, но делают это неправильно!

Печатная плата представляет собой линию передачи, содержащую как индуктивность, так и емкость. Импеданс регулятора напряжения обычно намного ниже характеристического импеданса печатной платы, что приводит к значительному рассогласованию. Из-за рассогласования импеданса возникают резонансные пики импеданса, что еще больше увеличивает шумовое напряжение на высокоскоростной нагрузке. Как ни странно, чем ниже импеданс регулятора напряжения, тем выше импеданс на нагрузке. Повышение импеданса источника питания может улучшить характеристики на нагрузке.

Проблемы могут накапливаться, что приводит к принятию неверных проектных решений. Пульсации частоты переключения источника питания как на самом источнике, так и на высокоскоростной нагрузке (рисунок 2).

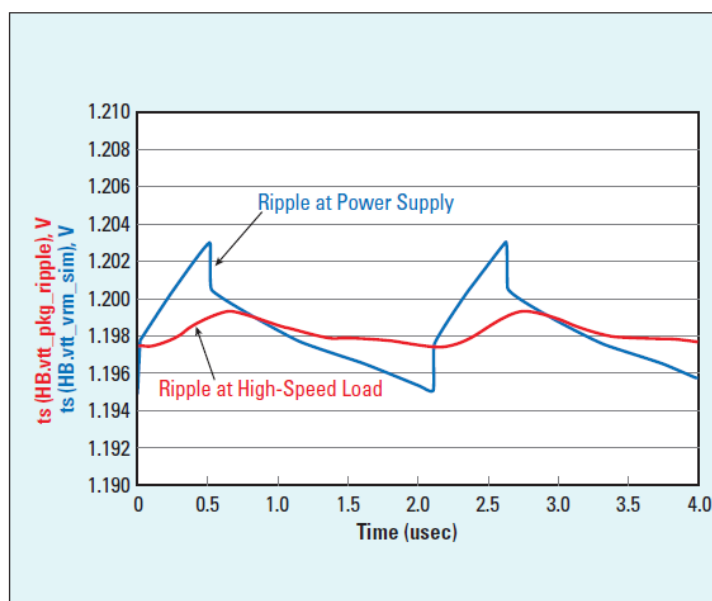


Рисунок 2 – Моделирование показывает пульсации переключения источника питания на источнике питания, а также на выводах высокоскоростной нагрузки

Из-за паразитных параметров печатной платы и разделительных конденсаторов пульсации на высокоскоростной нагрузке намного меньше, чем на VRM, и содержат гораздо меньше высокочастотных составляющих. Инженер, отвечающий за блок питания, посмотрел бы на пульсации и решил бы добавить больше фильтров. Это увеличит стоимость и вес устройства, снизит его надежность и займет ценное место на печатной плате.

Такое конструктивное решение приведет к каскадному эффекту, поскольку добавление конденсаторов в стабилизатор напряжения снизит импеданс на выходных контактах стабилизатора. Как упоминалось в предыдущем примере, это приведет к увеличению шума на высокоскоростной нагрузке. В результате из-за дополнительных компонентов, затрат, снижения надежности и занимаемой этими фильтрами площади производительность ухудшится, а значит, проиграют все. Конечно, возможно и то, что при высокоскоростной нагрузке уровень шума будет выше, чем при работе с регулятором напряжения, поскольку резонансы печатной платы совпадают с частотами шума, соответствующими напряжению шума регулятора напряжения или его гармоникам [2].

Установив единый уровень импеданса шины питания и допустимый уровень пульсаций, инженеры по силовой электронике и инженеры по обеспечению целостности электропитания могут сосредоточиться на своих задачах. Подходящий уровень импеданса обычно определяется в соответствии с целевыми показателями. Приблизительная оценка импеданса: одна треть допустимого уровня пульсаций напряжения, деленная на динамический ток, который должен быть известен инженеру по обеспечению целостности электропитания. Помните, что пульсации источника питания будут сильно отличаться на высокоскоростной нагрузке и на клеммах источника питания. После завершения разработки и установки системы оба инженера достигнут поставленных целей.

Литература

- [1]. Розанов, Ю. К. Силовая электроника: учебник и практикум для вузов / Ю. К. Розанов, М. Г. Лепанов. – Москва: Юрайт, 2022. – 206 с.
- [2]. Alawasa, K. M. Investigation and Analysis of the Power Quality in an Academic Institution's Electrical Distribution System / K. M. Alawasa, A. H. Al-Badi // *Energies*. – 2024. – Vol. 17, No. 16. – P. 3998.

СНИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ С ПОМОЩЬЮ ЭКРАНОВ НА УРОВНЕ ПЛАТЫ

Снижение уровня электромагнитных помех (ЭМП) – ключевая задача при разработке электронных устройств. В этой статье мы рассмотрим проблемы, связанные с ЭМП, роль экранов на уровне платы (Board-Level Shield, BLS) в снижении уровня ЭМП, а также основные критерии, которые следует учитывать при выборе BLS.

Электромагнитные помехи – это перекрестные помехи между различными компонентами системы, которые могут создавать взаимные помехи. Электромагнитные помехи влияют на работу устройств, и их устранение обеспечивает соответствие требованиям Федеральной комиссии по связи США для продуктов, представленных на рынке. Например, в ноутбуке или планшете есть центральный процессор и радиомодуль для беспроводного доступа, которые могут создавать взаимные помехи. Устройства памяти также излучают помехи, которые могут влиять на работу беспроводных устройств. Электромагнитные помехи могут снижать качество связи по Wi-Fi или Bluetooth. Другой пример – импульсные источники питания, которые излучают электромагнитные помехи и влияют на корректную работу устройств памяти.

Электромагнитные помехи всегда были проблемой при проектировании, но в последнее время она становится все более актуальной. Требуется создания более компактных и функциональных устройств. Кроме того, новые устройства работают на более высоких частотах: если несколько лет назад беспроводные компоненты работали на частотах 800 или 900 МГц, то сегодня они перешли на диапазон 5 ГГц.

Раньше для минимизации электромагнитных помех их источник физически отделяли от других компонентов. Но по мере того, как конечные продукты становятся все меньше и меньше, такой подход становится невозможным.

Современный вариант – экранирование печатной платы. Экранирование печатной платы – метод снижения электромагнитных помех (ЭМП) с помощью проводящих материалов, которые поглощают или отражают электромагнитное излучение. Экранирование улучшает целостность сигнала, избегая проблем, связанных с перекрестными помехами между дорожками на печатной плате. Экранирование помогает сохранить форму, время и качество информации, передаваемой в сигнале, тем самым уменьшая коэффициент битовых ошибок в цифровых приложениях и шум в аналоговых приложениях. Высокоскоростные цифровые сигнальные приложения требуют идеальных сигналов с минимальными помехами на их путях. Один из альтернативных подходов – металлические экраны в виде «коробочек», размещаемые над критическими участками печатной платы и/или компонентами с высокой восприимчивостью к

электромагнитным помехам или теми, которые могут быть источником шума. Это довольно распространенный метод подавления ЭМП, часто используемый в технике высоких частот. Хотя часть такой нежелательной помехи поглощается металлом, ее большой процент фактически отражается туда, откуда она идет.

BLS – это, по сути, пятисторонний штампованный металлический элемент, который использует заземление печатной платы для создания клетки Фарадея вокруг компонента (рисунок 1).

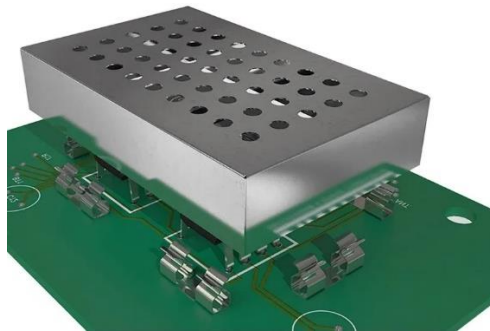


Рисунок 1 – Установленный штампованный экран

Большинство BLS изготавливаются по индивидуальному заказу для конкретной микросхемы или участка системы заказчика, но существуют и стандартные решения для стандартных компонентов или стандартных размеров участков [1].

Изготовление печатных плат по индивидуальному заказу обходится немного дороже из-за затрат на оснастку и увеличивает время выхода на рынок, поскольку на изготовление уходит от четырех до шести недель, в то время как стандартные печатные платы BLS уже готовы и не требуют затрат на оснастку. Если при проектировании печатной платы разработчики планируют использовать экранирование, они могут заранее определить область платы или использовать компоненты, совместимые со стандартными продуктами BLS. Однако одна проблема заключается в том, что стандартные изделия BLS могут ограничивать возможности дизайна из-за высоты экрана – многие стандартные детали BLS слишком высоки для некоторых устройств, например планшетов или мобильных телефонов. Компания TE Connectivity предлагает как стандартные, так и индивидуальные решения для BLS.

Существует два основных подхода к использованию BLS. С его помощью можно либо изолировать источник помех, поместив его в экран, чтобы ограничить излучаемую частоту, либо защитить компонент, поместив экран вокруг компонента, который нужно изолировать от электромагнитных помех.

При выборе защитного экрана для вашего устройства следует учитывать четыре ключевых момента. Первый – доступность. Стоит рассмотреть возможность установки экрана еще на стадии разработки устройства, чтобы применять уже существующие решения, а не производить и разрабатывать новый экран.

Второй фактор, который следует учитывать, – это рабочая частота компонента, который планируется экранировать. Для более высоких частот требуются экраны с небольшими отверстиями (щелями или швами в металлическом экране), а для более низких частот можно использовать экраны с отверстиями большего размера. Например, при низкой частоте, такой как 800 МГц, размер отверстия может быть в 4 раза больше, чем при высокой частоте, например 4 ГГц, и при этом эффективность экранирования будет примерно одинаковой. Для расчета этого параметра существуют определенные формулы.

Третий фактор, который следует учитывать, – это вес и размеры. От этого будет зависеть выбор материала для экранирования печатной платы. Различные материалы обладают разной массой, проводимостью и магнитной проницаемостью, что влияет на их эффективность на разных частотах. Так, например, медь обеспечивает превосходную электропроводность, что делает ее идеальной для низкочастотного экранирования, а алюминий в свою очередь легкий и экономичный алюминий обеспечивает хорошую защиту от электромагнитных помех в диапазоне средних частот.

Еще одна проблема – отвод тепла. При экранировании компонента могут возникнуть проблемы с его нагревом. Например, если вы пытаетесь экранировать высокопроизводительный процессор, это может привести к перегреву и некорректной работе компонента. Чтобы решить эту проблему, используйте алюминиевые, а не стальные экраны. Алюминий обладает очень высокой теплопроводностью, поэтому его можно использовать в качестве теплоотвода для отвода тепла от компонента [2].

Виды экранирующих компонентов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Виды экранирующих компонентов

Вид изделия	Описание	Ключевые особенности
Двухкомпонентные экраны	Состоят из рамки, которая припаивается к плате, и крышки, которая защелкивается сверху.	Обеспечивают легкий доступ к компонентам под экраном (достаточно снять крышку), хорошее экранирование, удобство при отладке и ремонте.
Цельные экраны	Является единой штампованной конструкцией, которая припаивается к плате целиком.	Более низкая стоимость, проще в монтаже, но демонтаж затруднен. Используются для узлов, не требующих частого доступа.
Экраны с вентиляцией	Имеют перфорацию или специальные отверстия в корпусе.	Необходимы для отвода тепла от горячих компонентов, одновременно сохраняя экранирующие свойства на определенных частотах.
Экраны с открытой рамкой	Конструкция, где рамка окружает компонент по периметру, но сверху может не иметь сплошной крышки или использоваться в сочетании с общим экраном корпуса.	Обеспечивают боковую защиту и могут использоваться для создания отсеков на плате.

Экранирование печатных плат играет важную роль в обеспечении надежности и производительности электронных схем, особенно в высокочастотных и компактных конструкциях. Понимая типы экранирования, используемые материалы и методы проектирования, вы можете создавать печатные платы, устойчивые к электромагнитным помехам (ЭМП). Работаете ли вы над бытовой электроникой, медицинскими приборами или автомобильными приложениями, эффективное экранирование печатных плат может существенно повлиять на качество конечного продукта.

Литература

- [1]. Экранирование печатных плат для портативных устройств (Часть 1) // АО «Алмаз-СП» : [сайт]. – 2022. – URL: <https://almaz-sp.ru/pechatnye-platy/jekranirovanie-pechatnyh-plat-dlja-portativnyh-ustrojstv-chast-1/> (дата обращения: 05.03.2026).
- [2]. PCB Shield: типы, преимущества и советы по компоновке // МОКО Technology : [сайт]. – 2024. – URL: <https://mokotechnology.com/ru/pcb-shield-types-benefits-and-layout-tips/> (дата обращения: 13.03.2026).

*А.А. Исайченков, студ.; рук. Д.С. Рассказа, ст. преп.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА РАСПОЗНАВАНИЯ МОНЕТ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОПИЛКИ

Электронная копилка представляет собой устройство, предназначенное для автоматического приёма и подсчёта внесённых денежных средств. В отличие от традиционных копилок, она позволяет не только накапливать монеты, но и фиксировать их номинал, обеспечивая пользователю информацию о сумме накоплений. В связи с этим при разработке подобного устройства особое значение приобретает надёжность и точность работы его основных функциональных узлов.

Ключевым элементом электронной копилки является механизм распознавания монет, от корректности работы которого зависит точность подсчёта денежных средств. Разработка данного механизма является одним из основных этапов проектирования устройства. На начальном этапе рассматривалось несколько возможных подходов к реализации узла распознавания. В частности, первоначальная идея основывалась на использовании классической механической схемы сортировки монет [1].

В рамках данного этапа проводится анализ структуры устройства, выделяются основные функциональные узлы и рассматриваются возможные варианты их реализации. Такой анализ позволяет определить наиболее эффективное схемотехническое решение для механизма распознавания монет и обеспечить корректный автоматический подсчёт внесённых средств.

Было отмечено, что все монеты отличаются друг от друга прежде всего геометрическими параметрами, в частности диаметром. Соответственно, каждая монета после попадания в устройство должна проходить по направляющему

каналу и распределяться по отдельным траекториям в зависимости от своего размера. Следовательно, распознавание может быть реализовано на основе измерения размера монеты во время ее движения через измерительную зону. Для регистрации прохождения монеты на каждой из таких траекторий предполагалось установить собственные отверстия необходимого под монету размера и отдельный оптический датчик (рис.1.). Типовая конфигурация подобного датчика включает источник света (светодиод), расположенный с одной стороны канала, и фоточувствительный элемент (фотодиод или фототранзистор), размещенный строго напротив него [2].

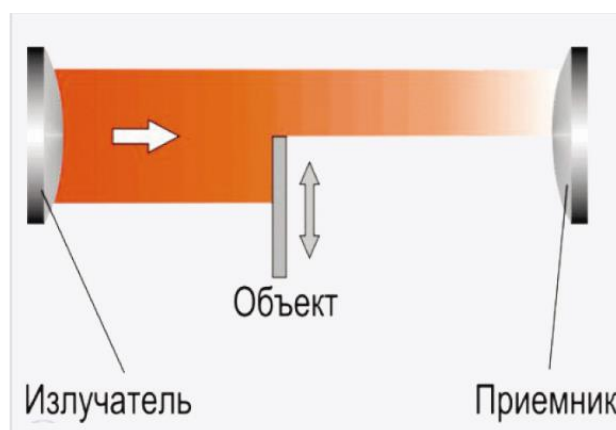


Рисунок 1 – Конфигурация оптоэлектронного датчика

Принцип работы данной рассматриваемой схемы заключается в том, что в нормальном состоянии световой поток от светодиода свободно достигает фоточувствительного элемента. Когда монета проходит между источником света и приемником, она частично или полностью перекрывает световой луч, что приводит к изменению выходного сигнала фототранзистора. Электронная схема регистрирует это изменение и фиксирует лишь факт прохождения монеты через соответствующий канал без дополнительного анализа её параметров. Таким образом, идентификация номинала осуществлялась за счёт предварительной механической сортировки монет по геометрическим размерам.

Несмотря на относительную простоту реализации, данный подход обладает рядом существенных недостатков. Во-первых, конструкция устройства получается достаточно громоздкой, поскольку для каждого типа монет требуется отдельный механический канал и отдельный датчик. Во-вторых, такая система плохо масштабируется и требует механической перенастройки при изменении набора распознаваемых номиналов. Кроме того, большое количество компонентов усложняет сборку устройства и снижает его надежность.

Анализ указанных ограничений привел к поиску более компактного и универсального решения, а именно использования единственного оптического датчика препятствия. В таком случае достаточно одного канала для перемещения монеты. Монета перемещается по узкому направляющему каналу или щели, обеспечивающему стабильную траекторию ее движения. Перпендикулярно

направлению перемещения монеты в стенке канала выполняется небольшое окно, в котором размещается оптический датчик препятствия (рис. 2.).

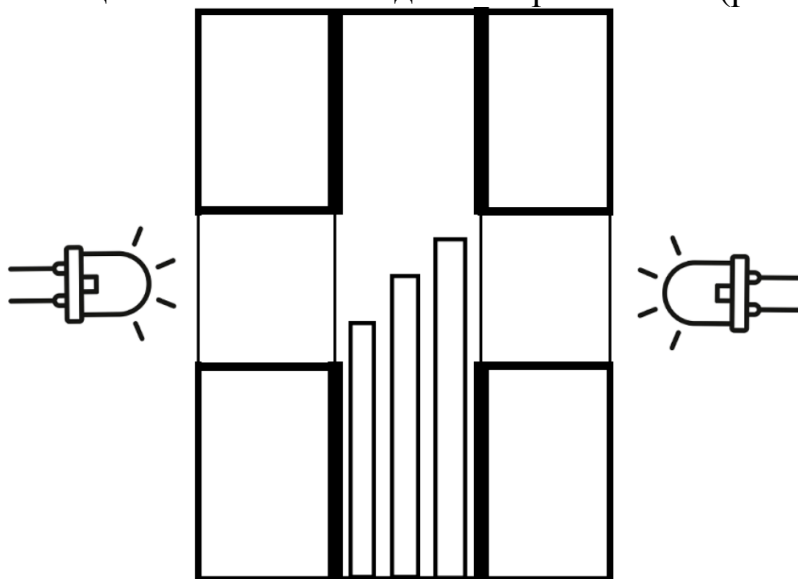


Рисунок 2 – Принцип распознавания номинала монет

При прохождении через измерительную область монета частично перекрывает окно датчика [3]. Поскольку монеты различных номиналов имеют разные диаметры, площадь перекрытия светового потока также оказывается различной. В результате величина сигнала, формируемого фоточувствительным элементом, зависит от размера монеты. Анализ амплитуды или формы этого сигнала позволяет идентифицировать номинал монеты с использованием одного датчика.

Предложенный подход обладает рядом преимуществ. Он существенно упрощает механическую конструкцию устройства, уменьшает количество используемых компонентов и повышает универсальность системы. Кроме того, использование единственного сенсора облегчает обработку сигналов и снижает требования к аппаратной части устройства.

Простота и элегантность данной идеи показали перспективностью для практической реализации, что послужило основанием для приобретения и дальнейшего экспериментального исследования оптического датчика препятствия в рамках разработки системы распознавания монет.

После того как был разработан принцип измерения диаметра монеты с использованием одного оптического датчика потребовалось экспериментально проверить точность и устойчивость работы предложенного метода. Для этого была проведена серия измерений, в ходе которых через измерительный канал поочередно пропускались монеты различных номиналов. Сигнал, формируемый фоточувствительным элементом датчика, регистрировался во времени и сохранялся для последующего анализа.

На основе полученных данных были построены временные зависимости выходного сигнала датчика при прохождении монет через измерительную область (рис.3.).

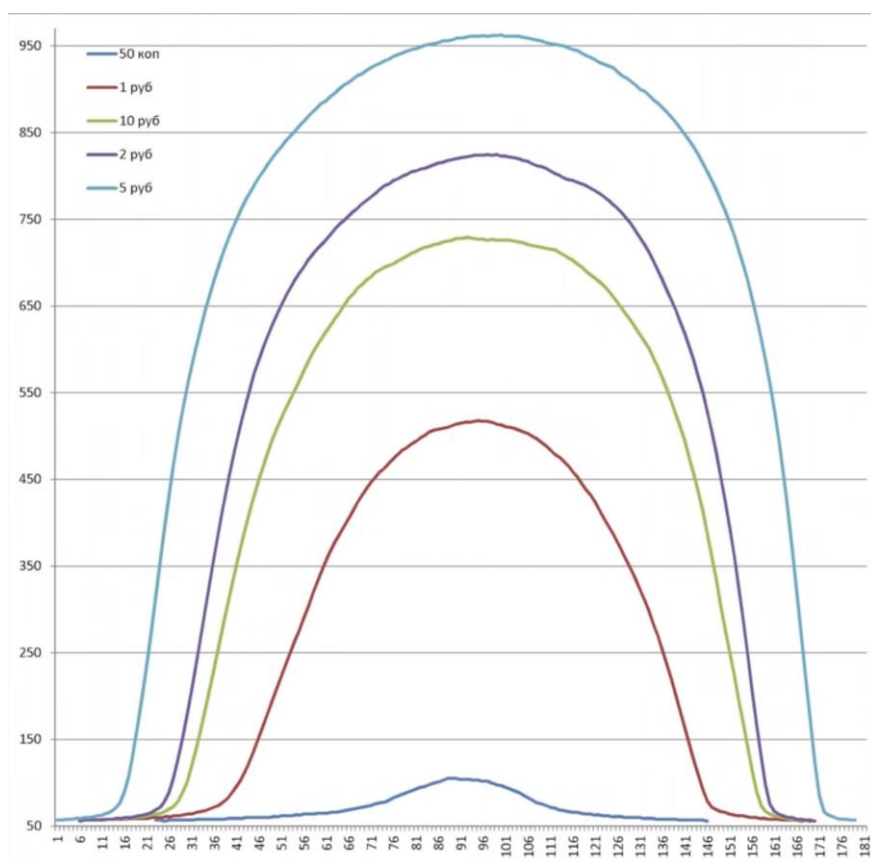


Рисунок 3 – Временные зависимости падения напряжения от времени на датчике

На представленной диаграмме каждая кривая соответствует определенному номиналу монеты. По горизонтальной оси отложено время, отражающее процесс прохождения монеты через область измерения, а по вертикальной оси – величина выходного сигнала датчика.

Наиболее важным результатом эксперимента является то, что максимальные значения сигнала существенно различаются для монет разных номиналов. Это подтверждает, что площадь перекрытия светового потока напрямую связана с геометрическим размером монеты, прежде всего с ее диаметром. Чем больше диаметр монеты, тем большую часть измерительного окна она перекрывает, и тем выше оказывается зарегистрированный уровень сигнала.

Особенно показательной является разница между сигналами, полученными для монет номиналом 2 рубля и 10 рублей. На графике отчетливо видно, что соответствующие кривые имеют различные максимальные значения: 2 рубля – 825 мВ; 10 рублей – 730 мВ; 50 копеек – 75 мВ; 1 рубль – 510 мВ; 5 рублей – 965 мВ. При этом в реальных условиях данные монеты имеют весьма близкие геометрические размеры и визуально могут показаться почти одинаковыми. Тем не менее предложенная система измерения уверенно различает их по амплитуде сигнала, что свидетельствует о высокой чувствительности и точности используемого оптического датчика.

Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать вывод о достаточной разрешающей способности измерительной системы для практического распознавания монет. Даже небольшие различия в диаметре приводят к заметному изменению выходного сигнала, что делает возможной надежную классификацию номиналов.

Литература

- [1]. Простейший способ сортировки монет [Электронный ресурс]. URL: https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=kcuMdMWcfZs&utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 13.03.2026).
- [2]. Оптические датчики: виды и принцип работы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.syl.ru/article/518261/2023-opticheskiy-datchik-vidyi-printsip-raboty> (дата обращения: 13.03.2026).
- [3]. Щелевые оптические датчики положения для современной электронной техники [Электронный ресурс] URL: <https://www.cta.ru/articles/soel/2023/2023-2/166711/> (дата обращения: 13.03.2026).

*Е.С. Картавый, магистрант; рук. М.А. Амелина, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

МЕТОД ВНЕШНЕТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ БВС

Современные беспилотные воздушные суда (БВС) находят широкое применение в самых различных сферах: от мониторинга сельскохозяйственных угодий и патрулирования трубопроводов до выполнения специальных задач и участия в поисково-спасательных операциях. Точность определения положения БВС в пространстве напрямую влияет на эффективность их использования. Для этого используют разные методы навигации: спутниковые системы (GPS/ГЛОНАСС), инерциальные системы, а также внешнетраекторные измерения – определение координат и параметров движения летательного аппарата с помощью наземных измерительных средств [1]. К классическим средствам внешнетраекторных измерений относят высокоточные оптические системы, например высокоскоростные телескопы, которые позволяют отслеживать траекторию с высоким временным разрешением.

У внешнетраекторных измерений есть существенные погрешности, свойственные любому измерительному каналу. Когда координаты от объекта слежения передаются на пункт управления или в систему обработки, возникает значительный разброс значений. Причины – инструментальные ошибки телескопа (неточность наведения, атмосферные искажения, дрожание изображения), а также ошибки дискретизации и квантования при преобразовании аналогового сигнала в цифровые координаты. Суммарная погрешность первичных отметок может достигать 10 метров и более. Для многих задач, например при обеспечении безопасного пролета в стесненных условиях, это неприемлемо.

Самый простой способ – использовать первичные отметки напрямую, полагаясь на аппаратную точность измерителя. Но, как сказано выше, разброс координат при этом слишком велик. Можно применить линейную интерполяцию

или скользящее среднее. Такие методы несложны в реализации, однако они вносят запаздывание оценки и плохо работают, когда скорость или ускорение меняются. Ещё один вариант – классический фильтр Калмана, оптимальный для линейных динамических систем. Но он требует точного знания модели движения и статистических характеристик шумов измерения. На практике это не всегда выполнимо.

Проведенный анализ показывает, что существует потребность в разработке метода вторичной обработки траекторных измерений, который, с одной стороны, обеспечивал бы существенное снижение уровня шумов (повышение точности), а с другой стороны, сохранял бы способность отслеживать реальные маневры объекта без значительного запаздывания и был бы относительно прост в вычислительном отношении. Актуальность такого исследования обусловлена растущими требованиями к точности навигации БВС при стремлении к снижению стоимости измерительных комплексов. Целью настоящей работы является описание метода внешнетраекторных измерений, основанного на комбинированном применении метода наименьших квадратов и упрощенного адаптивного фильтра Калмана, позволяющего минимизировать расхождение между истинными и измеренными координатами траектории полета.

Предлагаемый метод базируется на концепции вторичной обработки информации, при которой каждая первичная отметка, полученная от измерительной системы (например, высокоскоростного телескопа), подвергается фильтрации с использованием исторических данных о предшествующем движении объекта [2]. Процесс обработки может быть разделен на несколько последовательных этапов. На этапе накопления данных формируется так называемое «окно» траектории, содержащее фиксированное количество последних первичных отметок. В отличие от простых методов, использующих всего три точки для определения параметров движения (что характерно для полиномиальной интерполяции второй степени), предлагается использовать окно большего размера, включающее не менее 10-15 последовательных измерений. Такой подход позволяет существенно снизить влияние случайных выбросов на оценку параметров движения.

Для каждой вновь поступившей отметки на основе данных, находящихся в текущем окне, производится вычисление прогнозируемой координаты. Прогнозирование осуществляется с использованием модели движения, предполагающей наличие начальной координаты, постоянной скорости и постоянного ускорения на интервале окна. Параметры этой модели (начальная координата, скорость, ускорение) вычисляются методом наименьших квадратов, который обеспечивает наилучшее (в смысле минимума суммы квадратов отклонений) приближение к имеющимся точкам. Полученная модель позволяет экстраполировать движение на момент времени прихода новой первичной отметки, формируя прогнозируемую отметку. Применение метода наименьших квадратов к окну из 10-15 точек дает значительно более устойчивую оценку параметров движения по сравнению с дифференцированием по трем точкам, поскольку происходит естественное усреднение шумов.

Далее предлагается использование упрощенного алгоритма фильтрации, напоминающего по своей структуре фильтр Калмана, но с существенно упрощенным вычислением коэффициента усиления. Отфильтрованная оценка координаты получается, как взвешенная сумма прогнозируемой отметки (по модели) и новой первичной отметки. Весовой коэффициент K (аналог калмановского коэффициента усиления) вычисляется по простой формуле: $K = 1/\text{iter}$, где iter – порядковый номер точки в траектории с момента начала слежения. Сначала, когда точек мало, K близок к единице, и фильтр больше доверяет новым измерениям – это позволяет быстро выйти на траекторию. По мере накопления точек K уменьшается, и фильтр начинает опираться на прогноз по модели, сглаживая шумы. Чтобы коэффициент не стал слишком маленьким и фильтр не потерял чувствительность к маневрам, вводится ограничение: при $\text{iter} > 10$ K фиксируется на минимальном значении. Такой компромисс сохраняет способность фильтра отслеживать изменения траектории.

В предлагаемом методе для наименьших квадратов используется скользящее окно. Когда в траектории накоплено, скажем, 15 точек, окно не расширяется дальше, а сдвигается. Для каждого нового цикла вычислений берутся только последние 10–15 точек – так модель движения подстраивается под текущий участок траектории. Если объект маневрирует (меняет скорость или направление), старые точки, соответствующие предыдущему режиму, исключаются и не влияют на прогноз.

Также предлагается использование механизма обратной связи, основанного на анализе невязки. Невязка определяется как модуль разности между конечной отфильтрованной отметкой (полученной на выходе упрощенного фильтра Калмана) и исходной первичной отметкой, поступившей от измерителя [3]. При равномерном движении и стабильных шумах, невязка колеблется около некоторого среднего значения. Если объект начинает выполнять маневр, невязка начинает закономерно возрастать, причем это возрастание носит систематический характер и наблюдается на протяжении нескольких последовательных измерений. Алгоритм отслеживает эту ситуацию: если в течение 2–3 пришедших отметок значение невязки устойчиво увеличивается, превышая некоторый порог, это интерпретируется как признак того, что модель движения, построенная по текущему окну, перестала соответствовать реальной траектории. Причиной может быть то, что в окне все еще присутствуют «старые» точки, соответствующие предыдущему режиму полета и тянущие оценку назад. В этом случае запускается процедура коррекции окна: из начала окна последовательно удаляются одна за другой самые старые отметки. После каждого удаления производится пересчет параметров движения методом наименьших квадратов по оставшимся в окне точкам, заново вычисляется прогнозируемая отметка на текущий момент и пересчитывается отфильтрованное значение. Процесс удаления точек продолжается до тех пор, пока значение невязки не уменьшится до приемлемого (порогового) уровня. Поскольку удаление старых точек приводит к тому, что окно теперь содержит данные, лучше соответствующие текущему маневру, точность оценки

восстанавливается. В дополнение к этому, для ускорения адаптации фильтра на время маневра может быть временно сброшен коэффициент K (увеличен до начальных значений), чтобы фильтр начал больше доверять новым измерениям и быстрее подстроился под изменившееся движение.

Применение метода наименьших квадратов к достаточно широкому окну позволяет эффективно подавлять высокочастотный шум измерений при оценке параметров движения (скорости и ускорения). В отличие от численного дифференцирования по соседним точкам метод наименьших квадратов дает гладкие и устойчивые оценки. Комбинация прогноза от модели и текущего измерения через адаптивный коэффициент позволяет достичь оптимального баланса между сглаживанием и отслеживанием. На начальном этапе, пока модель еще не устоялась, приоритет отдается измерениям, что обеспечивает быстрый захват траектории. На установившемся участке полета приоритет отдается прогнозу, что дает гладкую, очищенную от шума траекторию. Механизм адаптивного окна и сброса невязки позволяет методу самостоятельно обнаруживать момент начала маневра и перестраивать свою внутреннюю модель, удаляя устаревшие данные, что важно для реальных траекторий, которые редко бывают идеально прямолинейными и равномерными. Целесообразность реализации данного метода обусловлена также его универсальностью. Он может быть применен не только для обработки данных от высокоскоростных телескопов, но и для любых других дискретных измерений координат.

Таким образом, предлагаемый метод внешнетраекторных измерений, основанный на комбинированном применении метода наименьших квадратов со скользящим окном и упрощенного адаптивного фильтра Калмана с механизмом коррекции невязки, позволяет существенно повысить точность определения координат БВС по сравнению с использованием сырых первичных отметок. Метод обеспечивает эффективное подавление шумов измерений, сохраняя при этом способность отслеживать реальные маневры объекта благодаря адаптивному изменению размера окна и коэффициента фильтрации.

Литература

- [1]. Фомин, А. Н. Теоретические и физические основы радиолокации и специального мониторинга: учебник / А. Н. Фомин, В. Н. Тяпкин, Д. Д. Дмитриев; под редакцией И. Н. Ищука. – Красноярск: СФУ, 2016. – 292 с.
- [2]. Ключко, В. К. Способы и алгоритмы обработки сигналов от подвижных источников: учебное пособие / В. К. Ключко, Б. Х. Ву. – Рязань: РГРТУ, 2023. – 84 с.
- [3]. Хмарский, П. А. Обработка результатов измерений координат и параметров движения в системах мониторинга воздушной и наземной обстановки: монография / П. А. Хмарский ; под редакцией В. М. Артемьева. – Минск: Белорусская наука, 2025. – 261 с.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ

Системы автоматического управления освещением являются неотъемлемой частью современной инфраструктуры «умных» домов, уличного освещения и энергосберегающих технологий. Основная задача таких систем – обеспечение включения и регулирования световых приборов без участия человека в зависимости от уровня естественной освещённости. Ключевым элементом в подобных устройствах выступают фотодиоды и другие оптоэлектронные компоненты, обеспечивающие высокую чувствительность, быстроту реакции и низкое энергопотребление. В работе рассматриваются принципы построения автоматического управления освещением при наступлении темноты, анализируются элементная база, схемотехнические решения и перспективы применения.

Фотодиоды являются наиболее подходящими датчиками для регистрации перехода от светлого времени суток к темноте. Их работа основана на внутреннем фотоэффекте: при облучении p - n -перехода в полупроводнике возникает фототок, пропорциональный интенсивности падающего света. В условиях снижения освещённости ниже заданного порога фототок уменьшается, что фиксируется сравнивающим устройством (компаратором). Далее формируется управляющий сигнал для исполнительного реле или драйвера светодиодного светильника. По сравнению с фоторезисторами фотодиоды обладают большим быстродействием, температурной стабильностью и линейностью характеристики.

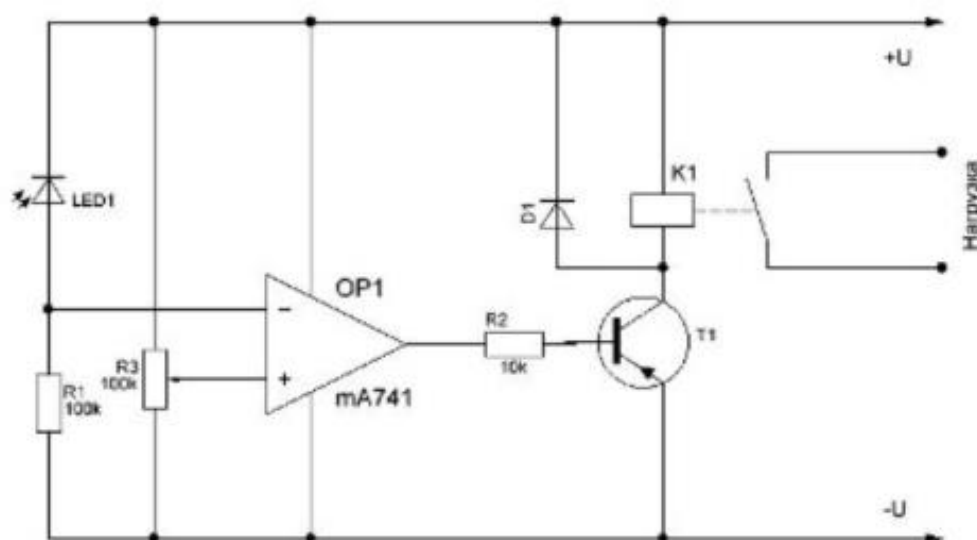


Рисунок 1 – Схема фотореле с фотодиодом

Типовая схема автоматического включения света при наступлении темноты включает фотодиод, усилитель тока, пороговое устройство (компаратор на

операционном усилителе), транзисторный ключ или оптосимистор для коммутации нагрузки. Порог срабатывания задаётся подстроечным резистором, что позволяет адаптировать систему к конкретным условиям – например, включать свет сразу после захода солнца или при глубоких сумерках. Для предотвращения ложных срабатываний (от фар автомобилей, молнии) в схему может вводиться гистерезис или временная задержка.

В качестве источника света в таких системах чаще всего применяются светодиоды (СИД). Их преимущества: малый ток потребления, длительный срок службы, устойчивость к циклическим включениям, возможность диммирования. Использование светодиодных светильников совместно с фотодиодными датчиками позволяет создавать автономные уличные фонари, подъездные светильники, архитектурную подсветку, работающую только в тёмное время суток. Энергоэффективность такого решения достигает 70–85 % по сравнению с круглосуточным освещением.

Особое внимание следует уделить защите фотодиода от внешних засветок. Для исключения влияния отражённого света от осветительного прибора фотодиод размещают в корпусе с узкой диаграммой направленности или устанавливают оптический барьер. Также необходимо учитывать температурный дрейф тёмного тока фотодиода, особенно при эксплуатации на открытом воздухе. Применение схемной компенсации или выбор фотодиодов с малым обратным током насыщения (например, на основе *p-i-n*-структур) повышает надёжность срабатывания.

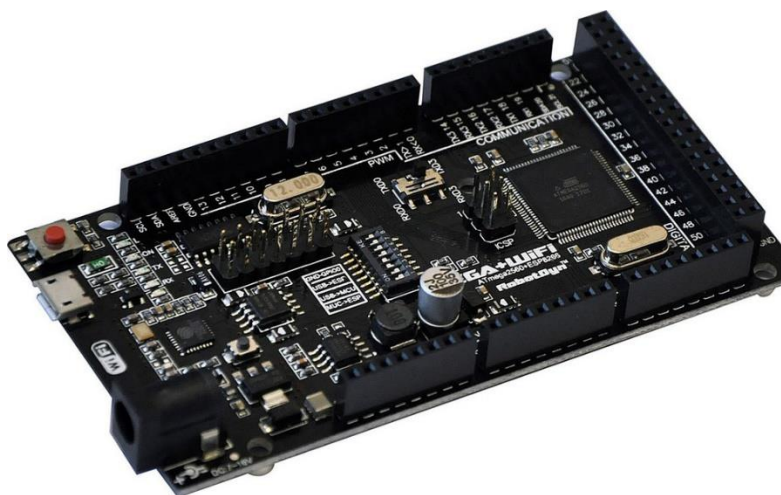


Рисунок 2 – Контроллер *ESP8266*

Для повышения функциональности автоматическое управление освещением при наступлении темноты интегрируется в системы «умного» дома. В этом случае фотодиодный датчик подключается к центральному контроллеру (*Arduino*, *ESP8266*, *PLC*), который не только включает свет, но и передаёт данные о времени суток на другие устройства – закрывает жалюзи, переводит систему охраны в ночной режим, снижает яркость дисплеев.

Такая интеграция позволяет реализовать адаптивное освещение: в сумерках включается дежурный свет, а после полуночи – минимальный для прохода к спальням.

Перспективы развития автоматического управления освещением при наступлении темноты включают внедрение беспроводных фотодиодных датчиков с энергонезависимой памятью калибровок, использование машинного обучения для адаптации порогов срабатывания к сезонным изменениям длительности светового дня, а также создание самонастраивающихся систем с учётом прогноза погоды. Кроме того, активно развиваются фотоэлектрические датчики, встроенные непосредственно в корпус светодиодного светильника, что упрощает монтаж и настройку.

Таким образом, автоматическое управление освещением при наступлении темноты на основе фотодиодных датчиков представляет собой технически зрелое и экономически оправданное решение для жилых, общественных и уличных объектов, оно обеспечивает комфорт, безопасность и снижение расхода электроэнергии.

Современная элементная база позволяет реализовать такие устройства как в виде простых релейных автоматов, так и в составе распределённых интеллектуальных систем управления зданием.

Литература

- [1]. Петров, В. М. Основы оптоэлектроники / В. М. Петров. – М. : Инфра-Инженерия, 2021. – 256 с.
- [2]. Сидоров, А. Н. Фотоэлектрические и оптоэлектронные приборы / А. Н. Сидоров. – СПб. : Лань, 2020. – 312 с.
- [3]. Иванов, К. С. Системы «умного дома»: принципы построения и автоматизация / К. С. Иванов. – М. :КноРус, 2022. – 198 с.
- [4]. Гуляев, Ю. В. Светодиодные источники света и их применение в интеллектуальных системах / Ю. В. Гуляев // Электроника и связь. – 2021. – № 4. – С. 15–21.
- [5]. Смирнов, Д. А. Датчики в системах автоматизации зданий / Д. А. Смирнов. – Екатеринбург :УрФУ, 2019. – 174 с.
- [6]. Кузнецов, П. И. Применение фотодиодов и фототранзисторов в бытовой электронике / П. И. Кузнецов // Молодой ученый. – 2020. – № 18. – С. 23–27.
- [7]. Борисов, Н. Е. Оптопары и их использование в системах управления / Н. Е. Борисов // Приборы и системы. – 2018. – № 7. – С. 41–46.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ПОЛНОГО ПРИВОДА

Наличие личного автомобиля решает сразу несколько проблем: от наличия свободы перемещения до передвижения на проблемных участках дороги, например, по пересечённой местности. Автомобили различают по типам приводов, которые передают колесам крутящий момент от двигателя. Для преодоления проблемных участков дороги, существуют автомобили, оснащенные полным приводом. В свою очередь, полный привод может быть подключаемым или постоянным. Если полный привод в автомобиле подключаемый, подключение чаще всего осуществляется при помощи фрикционной муфты или жестко через раздаточную коробку. При этом межколесный дифференциал не используется. Если полный привод постоянный, то в таком случае крутящий момент распределяется между осями и колесами при помощи дифференциала (за исключением редких случаев, когда на какой-либо оси дифференциала нет). Все конструкции имеют ряд ограничений. Одно из главных – недопустимость использования полного привода при разнице в давлении воздуха в шинах на передней и задней осях. В таком случае возникает разность в скорости вращения колес и муфта полного привода, испытывая дополнительную нагрузку, перегревается и изнашивается намного быстрее. Однако жестко подключаемый полный привод и система с межколесным дифференциалом страдают меньше, но также уменьшается их срок службы. В дифференциале изнашиваются и стираются шестерни, а в раздаточной коробке трансмиссионное масло перегревается и теряет свои смазывающие свойства, вследствие чего механизм также выходит из строя. Современные автомобили оснащены системой контроля давления в шинах, поэтому подобная проблема их не касается. Однако до сих пор эксплуатируется большое количество автомобилей без этой системы. Именно таким автомобилям может потребоваться дооснащение сторонней системой, которая будет описана далее в данной статье.

Как уже было сказано, одна из самых губительных вещей для подключаемого полного привода – разность скорости вращения колес на передней и задней осях. В такой ситуации необходимо ее контролировать. В разрабатываемой системе контроль осуществляется с использованием информации, поступающей с датчиков, установленных в непосредственной близости от вращающихся элементов. Далее эта информация обрабатывается блоком управления и, в случае присутствия разницы в скорости вращения колес, водителю будет подан звуковой сигнал, сообщающий о необходимости проверки давления воздуха в шинах.

Для исключения ошибок, блок управления системы не будет сигнализировать сразу после появления разницы в скоростях колес на осях.

Будет производиться расчет средней скорости на каждой оси и, в случае появления разницы в течение значительного времени, система подаст сигнал о неисправности.

В качестве реального примера, возьмем среднестатистический внедорожник с подключаемым полным приводом массой 1800 кг, на котором используются шины с параметрами 215/65/R17, где первое число – ширина шины в мм, второе – высота шины в процентах от ширины и третье – диаметр колесного диска в дюймах. При подсчетах получается, что номинальный диаметр колеса автомобиля – 712 мм [1]. Тем не менее, стоит учитывать, что номинальный диаметр недостижим на практике и при массе автомобиля 1800 кг с учетом нагрузки на каждое колесо и при давлении в шине, рекомендованном заводом-изготовителем (2,4 бар), эффективный диаметр колеса станет равен примерно 668 мм [3]. При недостаточном давлении шина деформируется значительно и эффективный диаметр уменьшается. Например, при давлении 1,8 бара, эффективный диаметр колеса станет примерно 653 мм. Разница в диаметре по сравнению с колесом, внутри шины которого давление соответствует рекомендованному, – 15 мм. Таким образом, при прохождении автомобилем дистанции 100 км, колесо с рекомендованным давлением в шине сделает примерно 47690 оборотов, в то время как колесо с давлением воздуха внутри шины равном 1,8 бар, сделает около 48720 оборотов. Разница 1030 оборотов или 2,27 процента.

С учетом выполненных расчетов, можно описать принцип работы программы электронного блока управления, разрабатываемой системы. При разности в скорости вращения колес более 2 процентов [2] (выше была указана разница в количестве оборотов, сделанных колесом, но процентное соотношение сохраняется и при подсчете оборотов, и при подсчете скорости), система в течение 10 минут [4] продолжит контролировать скорость колес на осях и в случае сохранения разницы, подаст предупреждающий сигнал.

При реализации системы непосредственно на автомобиле, используются контактные датчики, установленные на внутренней стороне тормозного диска или барабана, в зависимости от типа тормозной системы, установленной на автомобиле. Такой датчик менее долговечен, по сравнению с оптическим, но не требует установки светоотражающих меток на колесо, которые могут загрязниться. Информация с датчиков скорости передается на электронный блок управления. Питание устройства осуществляется от бортовой сети автомобиля. В случае обнаружения системой неисправности, водитель услышит звуковой сигнал, а на дисплее системы сможет узнать более детальную информацию о разнице в скорости вращения колес на разных осях, что позволит сделать вывод о необходимости устранения неполадки в срочном порядке, либо о возможности доехать до станции технического обслуживания.

Функциональная схема системы контроля давления в шинах автомобиля показана на рисунке 1.

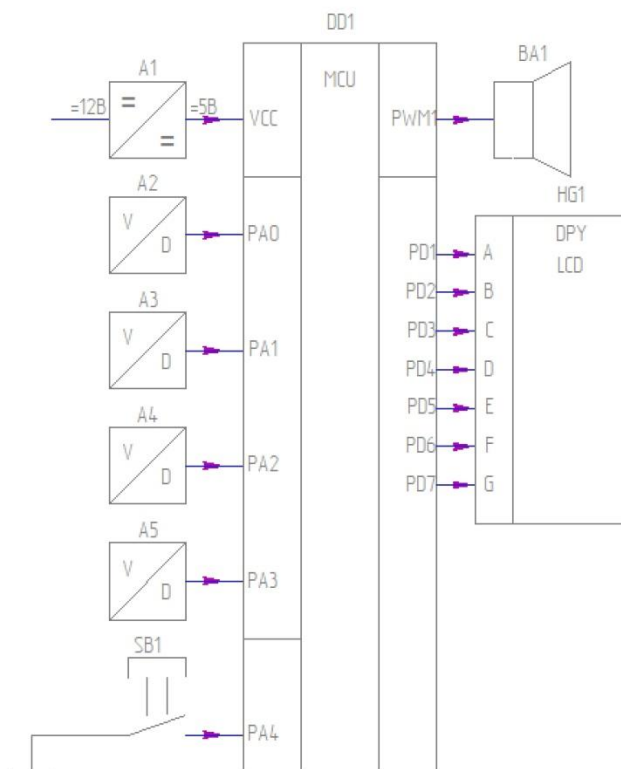


Рисунок 1 – Функциональная схема системы контроля давления в шинах автомобиля

Питание системы осуществляется от бортовой сети автомобиля. Для питания входящих в систему модулей используется преобразователь A1. Блоки A2-A4 – датчики скорости, установленные возле каждого колеса автомобиля. Блок SB1 – кнопка сброса системы, которая позволяет водителю после устранения неисправности выключить звуковой сигнал либо перезагрузить систему, в случае возникновения каких-либо ошибок. В качестве управляющего устройства используется микроконтроллер DD1. Звуковой сигнал о наличии неисправности подается блоком BA1, а более подробная информация о состоянии системы и скорости вращения колес выводится на жидкокристаллический дисплей, обозначенный блоком HG1.

Использование вышеописанной системы контроля давления в шинах, поможет водителям сохранить работоспособность полного привода в своем автомобиле и предотвратить возможные неисправности.

Литература

- [1]. Горев А. Э. Теория транспортных процессов и систем: учебное пособие – Санкт-Петербург; СПбГАСУ, 2010. – 214 с. А. Б. Математические модели пневматической шины: монография / Дик А. Б. ; под общей редакцией А. И. Федотова. – Москва; Вологда; Инфра-Инженерия, 2025. – 232 с.
- [2]. Литвинов А. С.; Фаробин Я. Е. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. – Москва; М. Машиностроение, 1989. – 240 с.
- [3]. А. Б. Математические модели пневматической шины: монография / Дик А. Б. ; под общей редакцией А. И. Федотова. – Москва; Вологда; Инфра-Инженерия, 2025. – 232 с.
- [4]. Федоров М. Е. Методика расчета изменений давления в шинах / М. Е. Федоров, И. М. Рябов. – Молодой ученый. – 2019. № 49 (287). – с. 189-194.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ РАЗРЯДОВ В СОЛНЕЧНО-СЛЕПОМ ДИАПАЗОНЕ

Современная диагностика высоковольтного энергетического оборудования требует оперативного обнаружения коронных и поверхностных разрядов. Данные разряды являются индикаторами развивающихся дефектов изоляции. С помощью тепловизионного метода диагностики не всегда удастся зафиксировать дефекты на ранней стадии так как тепловизоры фиксируют уже развившийся дефект (когда появляется нагрев от токов утечки). В то время как УФ-камеры могут видеть начальную стадию – ионизацию. Процесс ионизации воздуха сопровождается возбуждением молекул азота, которые при возвращении в основное состояние интенсивно испускают фотоны именно в ультрафиолетовом спектре. Поэтому наиболее эффективным методом является регистрация ультрафиолетового излучения разрядов.

Солнечное излучение в дневное время создает мощный фоновый шум, делая невозможным наблюдение коронного разряда в широком спектре. Работа в «солнечно-слепом» диапазоне длин волн (240÷280 нм), где озоновый слой атмосферы Земли практически полностью поглощает солнечное излучение (рис. 1) [1, 2], позволяет регистрировать слабые сигналы разрядов с высокой контрастностью в дневное время.

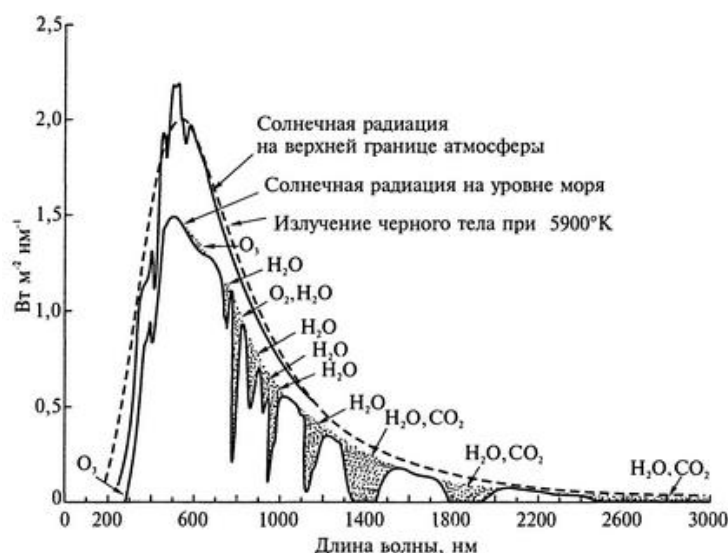


Рисунок 1 – Спектральная диаграмма солнечного излучения на верхней границе атмосферы и уровне моря

Исторически первыми и наиболее распространенными устройствами стали системы на базе электронно-оптических преобразователей (ЭОП) с фотокатодами, чувствительными к солнечно-слепому спектру. Оптическая схема таких двухканальных УФ-пеленгаторов объединяет видимый и

ультрафиолетовый каналы. Излучение от разряда проходит через узкополосный фильтр, попадает на ЭОП, где многократно усиливается, а затем фиксируется матрицей.

Вывод информации выполняется путем программного совмещения видеопотока видимого спектра с изображением УФ-источника. Данный метод позволяет работать в реальном времени, обеспечивая высокую чувствительность, вплоть до регистрации единичных фотонов [2]. Однако существенными недостатками таких систем остаются их высокая стоимость, хрупкость вакуумных колб и уязвимость фотокатода к сильным световым перегрузкам (засветкам).

В последние годы активно развиваются альтернативные твердотельные системы регистрации на основе матриц из широкозонных полупроводников (например, AlGaN). Принцип их действия основан на внутреннем фотоэффекте: поглощение высокоэнергетичных УФ-фотонов генерирует электронно-дырочные пары, создавая электрический сигнал. Благодаря широкой запрещенной зоне такие материалы обладают естественной «слепотой» к видимому спектру и не требуют дополнительных оптических фильтров. Они лишены таких недостатков ЭОП, как ограниченный срок службы фотокатода и необходимость использования высоких напряжений [3].

Более универсальным и бюджетным способом является использование современных двухканальных телевизионных камер на базе CMOS-сенсоров с обратной засветкой (BSI). Бюджетность данного подхода обусловлена массовым серийным производством кремниевых матриц, стоимость которых на порядки ниже специфических ЭОП или AlGaN-сенсоров. Универсальность же заключается в малых габаритах, низком энергопотреблении и простоте интеграции таких камер в любые цифровые системы мониторинга. Хотя кремниевые матрицы имеют спад чувствительности в УФ-области, применение высококачественных интерференционных фильтров солнечно-слепого диапазона и специализированных алгоритмов накопления кадров позволяет надежно фиксировать разряды. Наблюдение дефекта оператором происходит по наложенному изображению светящегося пятна на опору или изолятор (рис. 2).



Рисунок 2 – Наложение УФ-изображения разряда на видимое изображение, демонстрирующее результат обнаружения дефекта на ЛЭП

Точность и дальность обнаружения существенно зависят от типа применяемого сенсора, качества оптических фильтров и алгоритмов постобработки. Системы на базе монохромных камер уступают ЭОП в абсолютной чувствительности, однако выигрывают в габаритах и стоимости. Способ применим как для создания стационарных постов контроля, так и для установки на беспилотные аппараты [4].

Методы регистрации существенно различаются по достигаемой чувствительности и рабочему расстоянию (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение систем регистрации разрядов

Система	Чувствительность, Вт/см ²	Рабочее расстояние, м
Системы на базе ЭОП	$3 \cdot 10^{-18}$	5÷100
Твердотельные УФ-матрицы	$1 \cdot 10^{-15}$	2÷50
Монохромная ТВ-камера с УФ-фильтром	Определяется алгоритмом (обычно 10^{-13})	2÷30

Метод с использованием ЭОП обеспечивает наивысшую чувствительность благодаря физическому усилению сигнала и длительному удержанию контраста. Он идеален для профессионального периодического аудита высоковольтных линий на больших дистанциях. Однако его применение ограничено высокой стоимостью компонентов и хрупкостью.

Системы на основе твердотельных матриц обладают средней чувствительностью, но позволяют проводить оперативную проверку, не опасаясь засветок, разрушающих ЭОП. Основное преимущество – высокая надежность; недостаток заключается в технологической сложности создания матриц большой площади.

Метод с монохромной телевизионной камерой является наиболее универсальным и доступным. Он не требует дорогостоящего оборудования, кроме качественного интерференционного фильтра. Точность метода ограничена квантовой эффективностью сенсора в УФ-диапазоне, поэтому он рекомендуется для оперативного контроля на ближних дистанциях (например, с борта БПЛА).

В результате проведенного обзора можно сказать, что выбор конкретной архитектуры должен определяться задачами и ресурсами. Наиболее точным и надёжным устройством регистрации УФ-излучения разрядов остаются камеры на базе ЭОП, обеспечивающие максимальную дальность. Твердотельные матрицы лучше подойдут для долгосрочного мониторинга. Для условий массовой эксплуатации наиболее приемлем метод на основе монохромных телевизионных камер.

Литература

- [1]. Lindner M., Elstein S., Finkelstein Y. et al. Solar-blind UV imagers for corona inspection: operating principles and applications // Proceedings of SPIE. 2000. Vol. 4366. P. 132–141.
- [2]. Wang Y., Li J. et al. Detection of corona discharge based on solar-blind ultraviolet imaging // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2011. Vol. 18, No. 6. P. 1953–1960.

- [3]. Razeghi M., Ryan J. M. Recent advances in UV technology and solid-state UV detectors // Optical Engineering. 2021. Vol. 60, No. 2. P. 020901.
- [4]. Riba J.-R. Application of Image Sensors to Detect and Locate Electrical Discharges: A Review // Sensors. 2022. Vol. 22, No. 15. P. 5886.

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

БЕСПРОВОДНОЙ РЕГИСТРАТОР НЕЙРОННОЙ АКТИВНОСТИ

Актуальность разработки беспроводных систем регистрации нейронной активности определяется необходимостью устранения ограничений, присущих традиционным технологиям, а также расширения возможностей исследований в области нейронауки и медицины.

Использование проводных решений существенно ограничивает подвижность пациента или экспериментального объекта, поскольку требует постоянного соединения с оборудованием. Это не только снижает комфорт, но и увеличивает вероятность механических повреждений и инфицирования в местах выхода проводников через кожные покровы. Внедрение беспроводных технологий позволяет проводить регистрацию сигналов мозга в условиях, максимально приближенных к естественным [1].

Важной задачей является снижение степени инвазивности устройств. Имплантация инородных элементов вызывает защитные реакции тканей мозга, что со временем приводит к ухудшению качества регистрируемых сигналов. Современные разработки направлены на создание компактных и гибких решений. Миниатюрные устройства, такие как MOTE, практически не вызывают раздражения тканей, а ультратонкие чипы, подобные BISC (рис. 1), размещаются на поверхности коры без ее повреждения, обеспечивая стабильную и долговременную регистрацию.

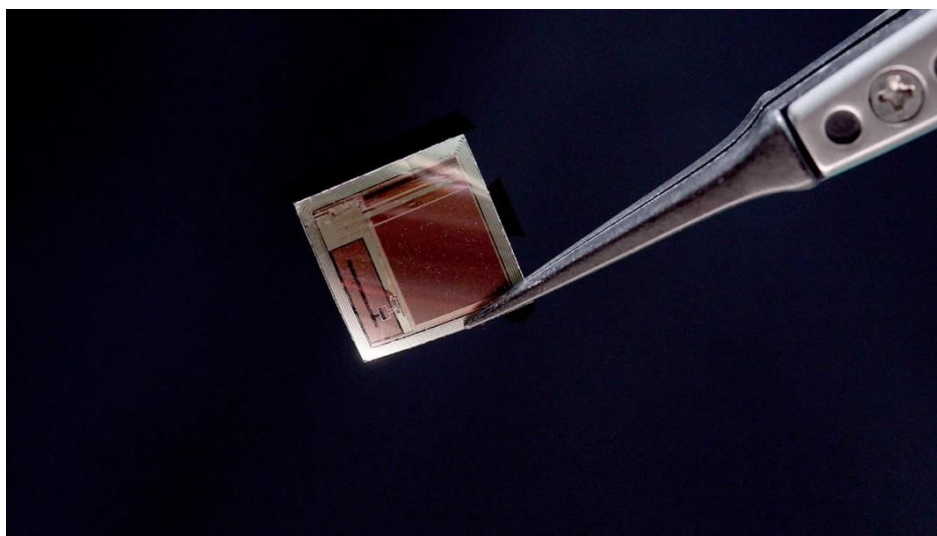


Рисунок 1 – Внешний вид чипа BISC

Особое значение имеет повышение пропускной способности и разрешающей способности систем. Для анализа работы мозга необходимо фиксировать активность большого количества нейронов одновременно, что требует передачи значительных объемов информации. Современные технологические решения обеспечивают высокоскоростную передачу данных и позволяют создавать нейроинтерфейсы нового поколения [2].

Таким образом, развитие беспроводных регистраторов нейронной активности обладает высоким научным и практическим потенциалом. Основными направлениями являются уменьшение размеров устройств, повышение эффективности передачи данных и снижение инвазивности, что открывает перспективы создания нейропротезов и новых методов лечения.

Целью работы является разработка структурной схемы беспроводного регистратора нейронной активности.

Система для беспроводной регистрации нейронной активности должна решать три главные задачи: считывать сигнал с минимальными искажениями, обрабатывать его и передавать данные, а также получать энергию для работы.

На рисунке 2 приведена структурная схема беспроводного регистратора нейронной активности.

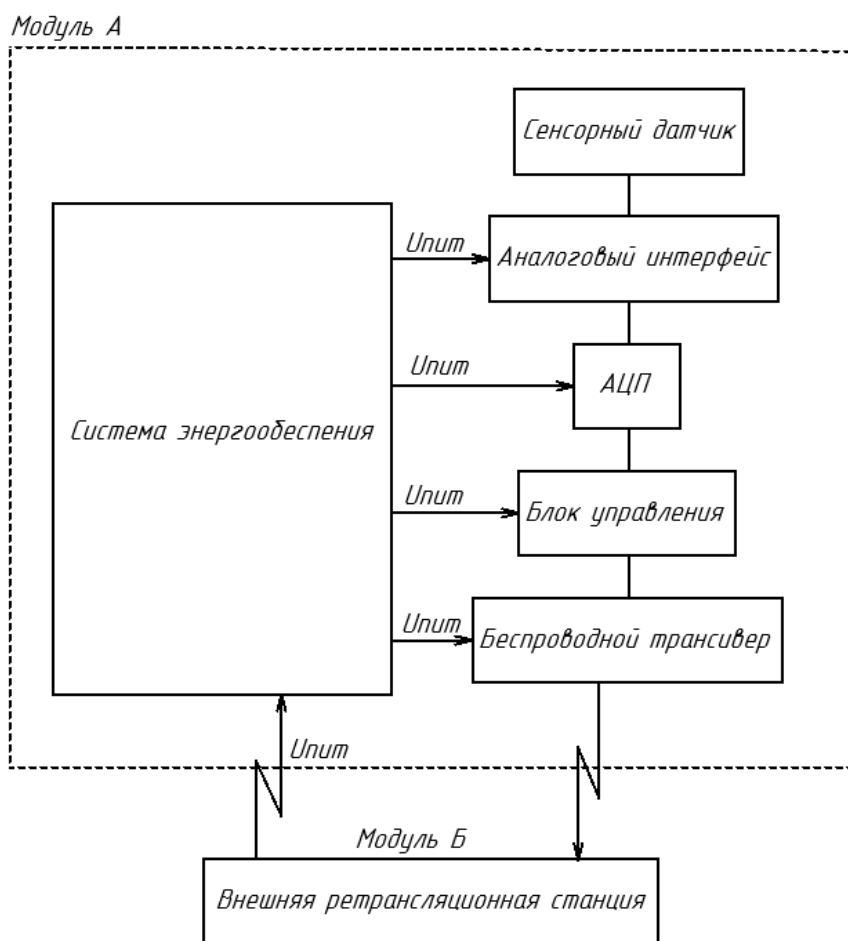


Рисунок 2 – Структурная схема беспроводного регистратора нейронной активности

Беспроводной регистратор нейронной активности состоит из Модуля А, непосредственно находящегося в контакте с корой головного мозга, и Модуля Б, располагающегося на поверхности кожи головы человека.

Модуль А представлен следующими блоками:

1) сенсорный датчик (массив микроэлектродов): 65536 микроскопических электродов, которые находятся в прямом контакте с поверхностью коры головного мозга. Они принимают слабые электрические сигналы от нейронов;

2) аналоговый интерфейс (Front-End): необходим для усиления исходного сигнала. Например, в системе BISC для этого предназначены 1024 канала усиления. Чип также имеет 16384 канала для обратной задачи – электростимуляции нейронов. Это позволяет не только «слушать» мозг, но и «разговаривать» с ним;

3) усиленный аналоговый сигнал преобразуется в цифровой код с помощью АЦП. Далее блок управления сжимает данные для их эффективной передачи;

4) беспроводной трансивер: обработанные цифровые данные передаются на внешнюю носимую станцию с помощью сверхширокополосной беспроводной связи со скоростью до 100 Мбит/с;

5) система энергообеспечения: организует питание всех активных компонентов, приемная катушка внутри модуля получает энергию от внешней передающей катушки.

Модуль Б представляет собой внешнюю ретрансляционную станцию (носимое устройство, например, закрепленное на голове), выполняющую две функции:

1) принимает данные от импланта и передает их дальше на внешний компьютер или в облако;

2) обеспечивает беспроводное питание самого чипа, избавляя от необходимости в батарее внутри черепа и проводных соединениях.

Обработанные блоком управления данные поступают на компьютер, где могут быть визуализированы, проанализированы или использованы для управления внешними устройствами, например, курсором или нейропротезом.

Таким образом, была обоснована актуальность разработки беспроводного регистратора нейронной активности, а также разработана его структурная схема.

Литература

- [1]. Jöbsis, F. F. Non-invasive infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters / F. F. Jöbsis // Science. – 1977. – Vol. 198, No. 4323. – P. 1264–1267. – DOI: 10.1126/science.929199.
- [2]. Jech, R. The subthalamic microlesion story in Parkinson's disease: electrode insertion-related motor improvement with relative cortico-subcortical hypoactivation in fMRI / R. Jech [et al.] // PLoS One. – 2012. – Vol. 7, No. 11. – e49056. – DOI: 10.1371/journal.pone.0049056.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОННОГО БИЗИБОРДА

Слово «бизиборд» – busy board – можно перевести как «занимательная доска», или умная доска. Это игрушка с различными элементами и механизмами, стимулирующими сенсорное развитие, моторику и познавательные способности детей раннего возраста. В условиях современной педагогики и педагогической практики особое значение приобретает создание безопасных, развивающих и познавательных средств для детей, среди которых бизиборд занимает одно из ведущих мест [1].

Бизиборд имеет форму деревянной машинки (рис. 1), элементы которой имитируют процессы, происходящие в реальной машине:

- ключ – запуска автомобиля;
- фары – освещение дороги;
- бензобак и штекер – заправка машины топливом;
- светодиодные габаритные огни и педаль тормоза – процесс торможения;
- 4 кнопки и регулятор громкости музыки – аудио система автомобиля;
- блок переключения передач – переключение механической коробки передач;
- вентилятор – система климат-контроля;
- руль – рулевое управление;
- экран спидометра – контроллер скорости.

А также на бизиборде расположен лабиринт, содержащий концевые датчики.



Рисунок 1 – Внешний вид бизиборда

Блок управления является основным элементом устройства: он получает сигналы от датчиков, анализирует их по заложенной программе и в зависимости от результата дает команду исполнительным механизмам (**Ошибка! Источник ссылки не найден. 2.**).

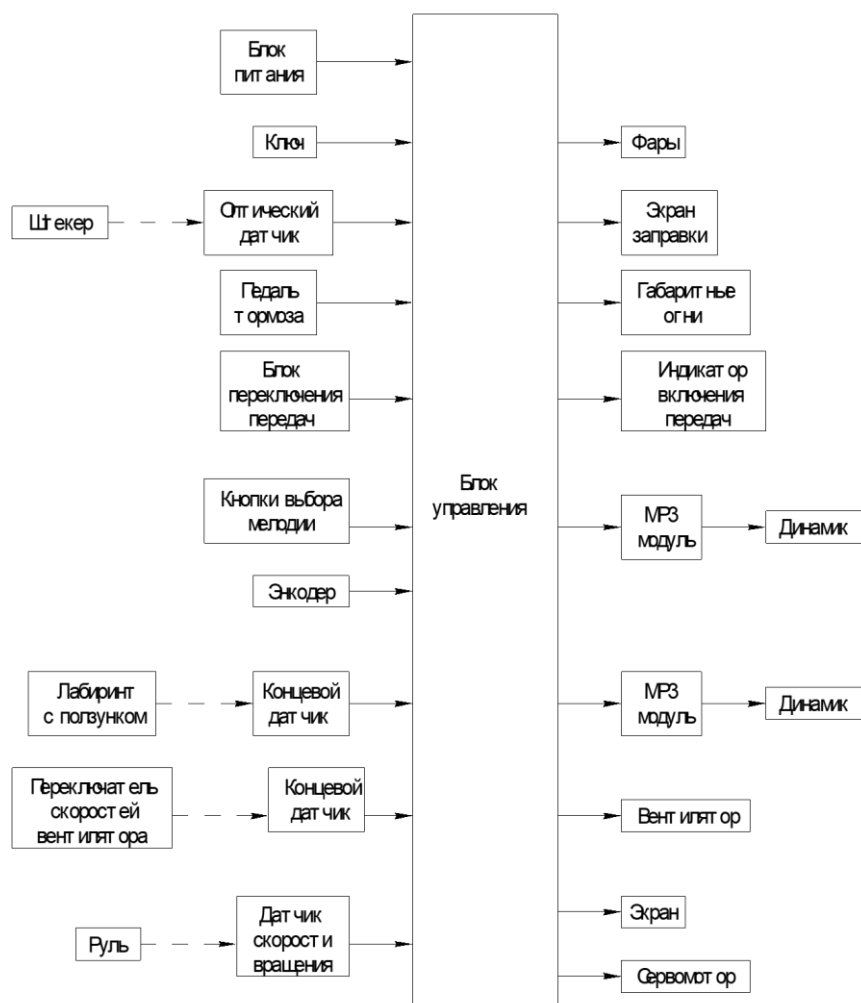


Рисунок 2 – Структурная схема устройства

Чтобы зажечь фары, необходимо вставить ключ зажигания в скважину, расположенную на кабине машинки, и повернуть на 180 градусов. Поворот ключа фиксируется при помощи датчика углового положения. В качестве такого датчика используется абсолютный энкодер (рис 3).

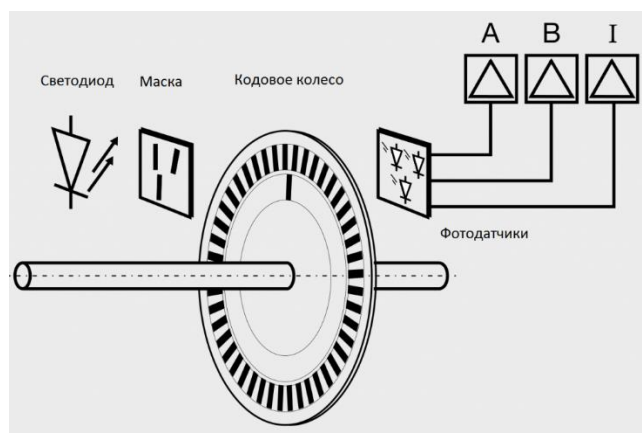


Рисунок 3 – Элементы оптического энкодера

Для имитации заправки автомобиля используется штекер, вставляемый в соответствующее отверстие «бензобака» автомобиля. В отверстии, куда вставляется штекер, будет находится оптический датчик, состоящий из светодиода и фототранзистора (рис. 4). Когда штекер не вставлен, свет от светодиода свободно попадает на базу фототранзистора. Вставленный в соответствующее отверстие штекер блокирует световой поток.

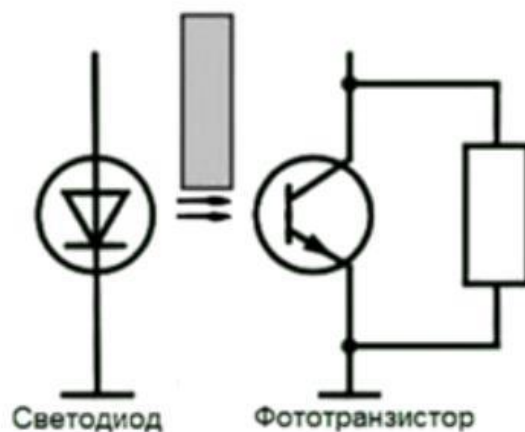


Рисунок 4 – Устройство оптического датчика

На дисплее, расположенном рядом с отверстием, отображается уровень топлива. Количество светящихся сегментов дисплея бензобака зависит от времени нахождения штекера в отверстии (**Ошибка! Источник ссылки не найден.** 5). Нижний сегмент загорается после 10 секунд нахождения штекера в отверстии «бензобака». Каждый последующий сегмент загорается через 5 секунд после предыдущего. Если штекер извлечен, все сегменты по очереди гаснут, начиная с верхнего светящегося сегмента. Если штекер вставить обратно, заправка возобновится с последнего погасшего сегмента.



Рисунок 5 – Экран бензобака

Для включения светодиодных габаритных огней ребенку необходимо нажать на педаль тормоза, выполненную в виде кнопки без фиксации.

Габаритные огни будут светиться, пока кнопка нажата. Габаритные огни и тормоз расположены на задней части машинки.

Блоке переключения передач состоит из переключателя и 5 светодиодов (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Расположен он сверху на кабине. Поворачивая переключатель, ребенок может выбрать одно из положений.



Рисунок 6 – Блок переключения передач

Функция воспроизведения музыки реализована на базе MP3-модуля и динамика. На кузове машинки располагаются 4 кнопки без фиксации (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**). При нажатии на них, будут воспроизводиться разные мелодии. Правее кнопок находится регулятор громкости на основе энкодера.



Рисунок 7 – Верхняя поверхность кузова машинки

Лабиринт, оснащенный ползунок, также находится на кузове машинки. Проходя его, ребенок двигает ползунок по траектории со встроенными оптическими датчиками. При прохождении через них сигнал от датчика поступает на блок управления и воспроизводится заданный звук при помощи MP3-модуля и динамика.

Имитирует работу «климат-контроля» в игрушечной машине слаботочный вентилятор. Для его включения ребенку необходимо выбрать одно из положений на переключателе скорости вращения, расположенного рядом.

Руль и спидометр также расположены на кузове машинки (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Как только руль начинают вращать, встроенный в нем датчик отслеживает текущее положение и передаёт эту информацию в блок управления. Блок управления вычисляет скорость вращения, приводит в движение сервомотор (рис 8) и освещает экран. Яркость экрана напрямую зависит от скорости вращения руля.



Рисунок 8 – Принцип работы сервомотора

В заключение отметим, что в рамках данной работы была разработана и представлена структурная схема электронного бизиборда для детей в возрасте от 3 до 5 лет. Созданная модель учитывает возрастные особенности детей и способствует развитию мелкой моторики, логического мышления и внимания. Элементы представленного электронного бизиборда связаны с настоящей машиной, что помогает детям познакомиться с ней в игровой форме.

Литература

- [1]. Бизиборд – средство развития речи детей младшего дошкольного возраста. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lurok.ru/categories/19/articles/23203> (дата обращения: 20.02.2026 г.).
- [2]. ГОСТ 2.701-2008. – URL: <https://protect.gost.ru/> (дата обращения: 22.02.2026)

ЭВОЛЮЦИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ: ОТ ЛАМПОВЫХ ГИГАНТОВ ДО НАНО-РАЗМЕРОВ

Операционным усилителем (ОУ) – это усилитель постоянного напряжения, имеющий два входа и один выход (рис. 1). Он характеризуется высоким коэффициентом усиления, большим входным и малым выходным сопротивлением [1]. На начальном этапе своего развития они предназначались для аналогового моделирования дифференциальных уравнений, а также для реализации различных операций с сигналами: сложения и вычитания, умножения и деления, интегрирования и дифференцирования, логарифмирования и антилогарифмирования (потенцирования).

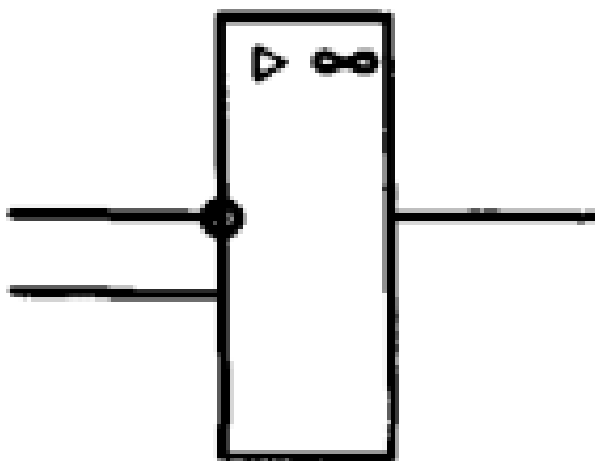


Рисунок 1 – Условно графическое изображение усилителя операционного

Эволюция операционных усилителей от ламповых конструкций середины XX века к современным наноразмерным решениям является важнейшим этапом развития аналоговой электроники. Этот технологический переход не только радикально уменьшил габариты устройств, но и значительно расширил их функциональные возможности.

Концепция операционного усиления зародилась в первой четверти XX века как результат развития вакуумных ламп, первоначально созданных для усиления слабых электрических сигналов. Технологии телеграфной связи и радиопередач требовали многократного усиления аналоговых сигналов без существенных искажений. Вакуумный триод (рис. 2) Ли де Фореста, запатентованный в 1907 году, стал ключевым элементом первых усилительных схем [2]. Эти устройства позволяли управлять током в цепи посредством напряжения на сетке, что заложило базовый принцип электронного усиления.

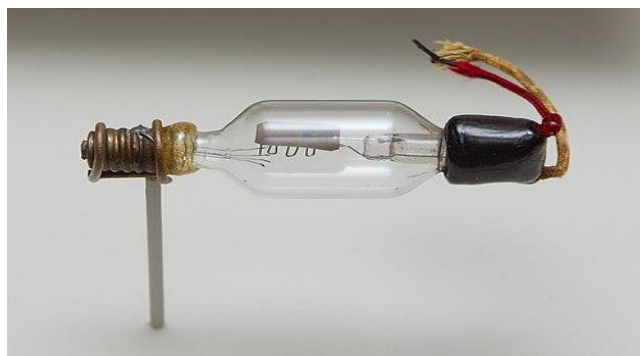


Рисунок 2 – Триод Ли де Фореста

Первые операционные усилители на вакуумных лампах представляли собой многоступенчатые конструкции, объединявшие несколько триодов или пентодов в единую схему. Каскадное включение ламп обеспечивало высокий коэффициент усиления, но приводило к значительным габаритам установок и энергопотреблению, достигавшему сотен ватт. Ключевые характеристики ламповых усилителей включали необходимость высоких напряжений питания (200-300 В) для обеспечения рабочего режима электронных ламп. Ограниченная полоса пропускания обуславливалась паразитными ёмкостями монтажа и межэлектродными ёмкостями самих ламп.

Замена вакуумных ламп полупроводниковыми транзисторами стала ключевым этапом в эволюции операционных усилителей (рис. 3 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Данный переход позволил существенно сократить габариты устройств, что сделало возможным их применение в компактной электронной аппаратуре. Одновременно повысилась механическая прочность и устойчивость к вибрациям, поскольку транзисторы не содержали хрупких стеклянных колб и нитей накаливания. Эти изменения заложили основу для создания более надежных и долговечных электронных систем по сравнению с ламповыми аналогами. Гибридная технология объединяла отдельные транзисторы и пассивные компоненты на общей подложке, позволяя уменьшить межкомпонентные расстояния и сократить паразитные индуктивности и емкости. Это обеспечивало более высокую согласованность параметров, улучшало температурную стабильность и общий коэффициент усиления, а также создавало условия для стандартизации конструкции и повышения характеристик усилителей в относительно компактных корпусах.

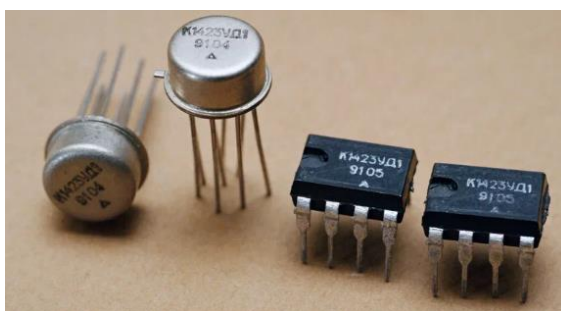


Рисунок 3 – Операционные усилители

Разработка первых интегральных операционных усилителей стала возможной благодаря внедрению планарных технологий и фотолитографии. Эти методы позволили создавать сложные полупроводниковые структуры с высокой точностью воспроизведения характеристик.

Замена ламповых элементов транзисторными и интегральными решениями кардинально улучшила эксплуатационные характеристики операционных усилителей. Ключевым достижением стало увеличение скорости обработки сигналов за счёт уменьшения паразитных ёмкостей и сокращения времени переключения активных элементов. Повышение надёжности обеспечила монолитная структура интегральных схем, устранившая ненадёжные соединения дискретных компонентов.

В первых операционных усилителях проблема нагрева компонентов была одной из самых серьезных. Она напрямую влияла на точность измерений, надёжность, срок службы ОУ. В вакуумных операционных усилителях (например, *Philbrick K2-W*) нить накала каждой лампы работала при температуре около 700 °С, сама колба лампы нагревалась до 120 °С, а внутри модуля температура могла достигать 90 °С уже через 10 минут работы. Транзисторные операционные усилители (например, *Philbrick FET Q25AH*) грелись значительно меньше. Корпус модуля нагревался до 50 °С. А в интегральных ОУ (например, *Analog Devices AD8628*) температура корпуса в среднем не превышала 30 °С.

В

Таблица 1 приведена сравнительная характеристика параметров операционных усилителей, выполненных по разной технологии, такие как: точность измерения, рассеиваемая мощность, размеры.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика

Параметр	Вакуумный ОУ (<i>Philbrick K2-W</i>)	Транзисторный ОУ (<i>Philbrick FET Q25AH</i>)	Интегральный ОУ (<i>Analog Devices AD8628</i>)	Современный интегральный ОУ (<i>Texas instruments LMP2021</i>)
Точность измерения	10 мВ	1 мВ	1 мкВ	0.4 мкВ
Рассеиваемая мощность	4,5 Вт	150 мВт	5 мВт	5.5 мВт
Размеры	10 × 5 × 5 см	3.8 × 3.8 × 1.6 см	2.9 × 1.6 × 1.2 мм	2.9 × 1.6 × 1.2 мм

Миниатюризация операционных усилителей столкнулась с принципиальными физическими ограничениями при переходе к нанометровым масштабам. Квантовые эффекты, такие как туннелирование носителей заряда через утончающиеся потенциальные барьеры, стали существенно влиять на характеристики устройств. Параллельно возросшие плотности тока привели к проблемам тепловыделения и утечкам мощности, требующим новых подходов к проектированию. Для преодоления этих ограничений инженеры разработали

инновационные топологии схем и начали применять материалы с высокой подвижностью носителей.

Эволюция операционных усилителей от ламповых конструкций середины XX века до современных наноразмерных решений отражает экспоненциальный прогресс в миниатюризации и функциональности. Каждый технологический переход – от вакуумных ламп к транзисторам, далее к гибридным и интегральным схемам – сопровождался радикальным повышением энергоэффективности и расширением областей применения. Этот путь развития, систематизированный в исследовании, демонстрирует, как инженерные решения преодолевали физические ограничения, закладывая основы для современных высокоинтегрированных систем.

Литература

- [1]. Операционный усилитель основные понятия - презентация онлайн // ppt Онлайн URL: <https://ppt-online.org/1665032> (дата обращения: 01.03.2026).
- [2]. Форест Ли де, биография, открытия и работы – РУВИКИ // РУВИКИ – новая российская интернет-энциклопедия URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Форест,_Ли_де (дата обращения: 02.03.2026).

*О.С. Кондратьев, маг.; рук. В.А. Смолин. к.т.н. доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Современная силовая электроника и микроконтроллерное управление открывают широкие возможности для разработки регулируемых электроприводов как в промышленности, так и в любительской практике. Одной из ключевых задач при проектировании систем управления бесколлекторными двигателями (BLDC) является получение обратной связи о положении ротора.

Существующие методы определения положения ротора можно разделить на три основные категории: бездатчиковый, датчиковый и гибридный.

Бездатчиковый метод основан на анализе электрических процессов, происходящих в двигателе. В основе метода лежит математическая модель двигателя и алгоритмы наблюдающих устройств [1]. Контроллер, который управляет приводом, измеряет фазные токи и напряжения на клеммах двигателя. Анализируя динамику полученных токов и напряжений, относительно математической модели, вычислительное устройство распознает текущее положение и скорость ротора.

Датчиковый метод основан на использовании датчиков положения. Они устанавливаются на вал двигателя и механически сопрягаются с ротором. Суть метода заключается в преобразовании угла поворота вала в электрический сигнал. Датчик физически отслеживает и преобразует положение ротора в выходной сигнал.

Гибридный метод заключается в переключении между датчиковым и бездатчиковым методом в зависимости от режима работы двигателя. На нулевой и маленькой скорости используется датчиковый метод, так как противо-ЭДС практически отсутствует и определить положение ротора без погрешности невозможно. На средних и высоких скоростях происходит переключение на бездатчиковый метод, чтобы повысить энергоэффективность устройства, но при этом, в случае поломки, один и другой метод могут заменять друг-друга [2].

В качестве датчикового метода в данной работе был рассмотрен метод на основе датчиков Холла. Данный тип датчиков получил широкое распространение в системах управления трехфазными бесколлекторными двигателями благодаря своей простоте, надежности и низкой стоимости. Принцип их действия основан на эффекте Холла, возникающем в полупроводниковой пластине при воздействии магнитного поля. В зависимости от конструктивного исполнения датчики Холла могут формировать как дискретный (логический) сигнал, так и линейный (аналоговый), пропорциональный величине магнитной индукции.

В качестве рассматриваемого контроллера бесколлекторного двигателя постоянного тока была рассмотрена микросхема MC33033 [3]. Управление двигателем строится на работе внутреннего декодера положения ротора. На входы SA, SB, SC поступают сигналы с трех датчиков Холла, которые содержат информацию о положении ротора. Декодер интерпретирует полученные сигналы и формирует последовательность управления обмотками двигателя.

За основу генератора сигналов датчиков Холла была взята плата Arduino Nano v3, построенная на микроконтроллере ATmega328 [4]. Основная цель применения генератора – разделение процессов отладки логической и силовой частей системы управления. В реальных условиях неисправный или неправильно запрограммированный контроллер при подключении к двигателю может привести к короткому замыканию, перегреву обмоток или выходу силовых ключей из строя. Генератор позволяет исключить эти риски, обеспечивая возможность:

- проверить логику работы контроллера в статическом режиме до подключения двигателя;

- выявить ошибки в прошивке или схемотехнике на раннем этапе, когда они еще не приводят к повреждению оборудования.

Регулировка частоты выходных сигналов производится при помощи потенциометра, подключенного к аналоговому входу АЗ.

Чтобы добиться корректных сигналов с эмулятора датчиков Холла было принято решение о формировании трехфазной системы сигналов, вывод которых осуществляется на D11, D6 и D3. Программное обеспечение микроконтроллера реализует метод шестишаговой коммутации. То есть, один полный электрический оборот разбит на шесть дискретных состояний. Для каждого сектора, согласно карте состояний из технической документации [3], формируется необходимая комбинация состояния датчиков Холла.

Необходимая последовательность выходящих сигналов с генератора импульсов представлена на рисунке 1.

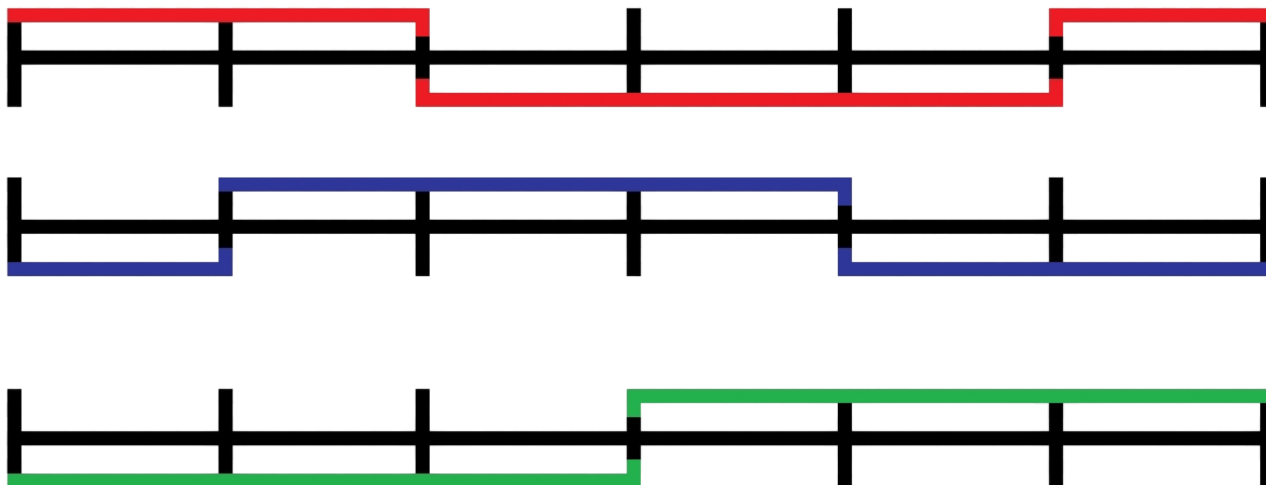


Рисунок 6 – Последовательность выходящих сигналов

Схема устройства, промоделированного в программном обеспечении PROTEUS 8 представлена на рисунке 2.

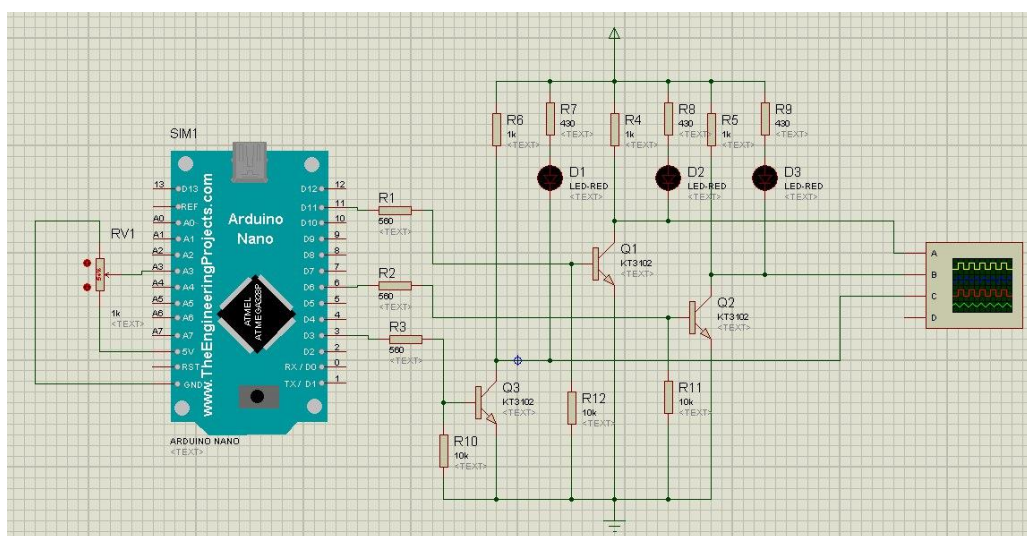


Рисунок 2 – Моделирование эмулятора сигналов датчиков положения ротора

Сигналы с цифровых выводов микроконтроллера поступают на управляющие входы биполярных транзисторов, включенных по схеме с открытым коллектором. Коллекторы данных транзисторов являются выходными клеммами устройства и служат интерфейсом для подключения к внешнему BLDC-контроллеру. Параллельно выходным цепям включены светодиоды анодами, подтянутые к питанию. Данная схема включения светодиодов выполняет функцию визуального контроля: свечение светодиода индицирует открытое состояние транзистора, что позволяет оператору наглядно оценивать правильность чередования фаз и работу генератора сигналов.

Схема была реализована в виде макета и испытана для проверки BLDC-контроллера. В следующих работах будут описаны реализация схемы на макете и результаты ее испытаний.

Литература

- [1] An Adaptive Bandpass Full-Order Observer with a Compensated PLL for Sensorless IPMSMs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2076-0825/14/8/387> (Дата обращения 04.03.2026)
- [2] В.И. Лихачев. Электротехника. Практическое пособие. – М.: Солон-Пресс, 2016. – 608 с.
- [3] MC33033 – Brushless DC Motor Controller [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/898/DOC011898981.pdf> (Дата обращения: 04.03.2026).
- [4] У.Соммер. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.

*В.А. Котов, студ.; рук. В.В. Малышкин, ст. препод.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ГИБРИДНЫЕ ДИФРАКЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ АБЕРРАЦИЙ

Современные оптические системы предъявляют высокие требования к качеству изображения, что делает задачу коррекции аберраций одной из ключевых в оптическом приборостроении. Традиционные подходы к коррекции, основанные на использовании комбинаций линз из различных сортов стекла, часто приводят к усложнению конструкции, увеличению массы и стоимости системы. Альтернативным и весьма эффективным решением является применение гибридных оптических элементов (рис.1), сочетающих в себе рефракционные и дифракционные компоненты.



Рисунок 7 – Улучшение изображения с помощью гибридных оптических элементов

Принцип работы гибридного элемента заключается в нанесении на одну из поверхностей обычной линзы фазовой дифракционной структуры. Эта структура работает подобно зонной пластинке Френеля, но с оптимизированным профилем

штриха, что позволяет достичь высокой дифракционной эффективности в заданном порядке. Ключевым преимуществом является различие в дисперсионных свойствах: хроматическая aberrация рефракционной линзы имеет отрицательный характер, тогда как дифракционная линза обладает положительной дисперсией. При их объединении происходит взаимная компенсация хроматизма, что позволяет создавать ахроматические системы всего из одного типа материала.

Исследования показывают, что применение дифракционных структур позволяет эффективно бороться не только с хроматическими, но и с монохроматическими aberrациями. В ряде работ продемонстрировано, что использование дифракционных оптических элементов в простых системах обеспечивает снижение продольной хроматической aberrации почти в 5 раз по оси, а абсолютное значение коэффициента сферической aberrации удается существенно снизить.

Особую ценность гибридный подход представляет для систем спектроскопии комбинационного рассеяния. Традиционные объективы для этих целей требуют использования специальных сортов стекла, которые дороги, сложны в обработке или могут создавать паразитный сигнал. Замена всех линз на плавленый кварц с нанесением дифракционной структуры позволяет решить проблему паразитных сигналов и сохранить высокое качество коррекции в расширенном спектральном диапазоне.

Помимо непосредственной коррекции, гибридные элементы могут использоваться как инструменты для диагностики aberrаций. Разработаны гибридные дифракционные элементы, которые преобразуют искаженный волновой фронт в картину световых пятен, позволяя определить тип и степень aberrаций. Такие устройства способны измерять искажения в диапазоне от 5% до 50% длины волны, что делает их полезными для настройки телескопов и высокоточных микроскопов.

Дальнейшее развитие этого подхода представлено в разработках многопорядковых комбинированных дифракционных оптических элементов (ДОЭ), согласованных с набором волновых aberrаций и полиномами Цернике. Наличие в одном элементе сочетания разных типов согласованных функций позволяет идентифицировать волновые aberrации различной величины: от сверхмалых до умеренных.

Для решения задач спектрального приборостроения разрабатываются специализированные конструкции, содержащие основную отражательную штриховую структуру и дополнительную пропускающую решетку. Такая схема позволяет исключить взаимную деформацию штрихов и улучшить спектральные характеристики: разрешение и дифракционную эффективность, снижая при этом светорассеяние.

Современное развитие гибридных ДОЭ связано с созданием многослойных и 3D-архитектур, разработкой перестраиваемых устройств, а также гибридизацией с метаповерхностями. Важную роль начинают играть методы

обратного проектирования с использованием искусственного интеллекта для автоматизации поиска оптимальной топологии микрорельефа.

С технологической точки зрения, производство таких элементов базируется на методах фотолитографии, наноимпринтной литографии и двухфотонной полимеризации. Материалом чаще всего служит плавленый кварц благодаря его прозрачности в широком диапазоне и термической стабильности, однако для ИК-диапазона активно применяются кремний и полимеры. Важной задачей остается обеспечение высокой дифракционной эффективности в широком поле и широком спектральном диапазоне. Одно из решений – использование склеенных дифракционных элементов, позволяющих достичь эффективности более 90% при углах падения до 58°.

Таким образом, гибридные дифракционные элементы представляют собой эффективную технологию коррекции аберраций. Благодаря уникальной способности управлять дисперсией и формой волнового фронта с помощью микрорельефа, они позволяют создавать компактные, легкие и высококачественные оптические системы. Области их применения простираются от классической астрономии и микроскопии до современных задач спектроскопии комбинационного рассеяния. Основными направлениями дальнейшего развития остаются повышение широкополосной эффективности и совершенствование методов прецизионного изготовления.

В работе рассмотрены принципы функционирования гибридных дифракционно-рефракционных элементов и их применение для коррекции аберраций оптических систем. Установлено, что использование дифракционных структур позволяет эффективно компенсировать хроматические и монохроматические аберрации, обеспечивая создание компактных и легких оптических систем. Наибольшую эффективность гибридный подход демонстрирует в спектроскопии комбинационного рассеяния и при диагностике волновых аберраций. Современные методы микрообработки и автоматизированного проектирования открывают перспективы для дальнейшего повышения эффективности таких элементов и расширения областей их применения.

Литература

- [1]. Васильев В.Н., Лившиц И.Л., Сергеев М.Б., Соколова Е.А. Гибридный микрообъектив для оптико-информационных систем комбинационного рассеяния // Информационно-управляющие системы. 2012. № 5. С. 2-6.
- [2]. Хорин П.А., Дзюба А.П., Хонина С.Н. Многопорядковые комбинированные дифракционные оптические элементы для идентификации волновых аберраций различной величины // Компьютерная оптика. 2025. Т. 49, № 5. С. 741-748. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1692.
- [3]. Васильев В.Н., Лившиц И.Л., Сергеев М.Б., Соколова Е.А. Гибридный микрообъектив для оптико-информационных систем комбинационного рассеяния // Информационно-управляющие системы. 2012. № 5. С. 2-6.

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ ЧЕЛОВЕКА

В современном мире искусственное освещение стало неотъемлемой частью человеческой жизни, однако большинство существующих решений разработаны без учета физиологических особенностей организма. Человек проводит значительную часть времени в помещениях, где статичный свет часто не соответствует естественным биоритмам, что приводит к нарушению циркадных ритмов, проблемам со сном и, как следствие, к ухудшению здоровья и снижению общей продуктивности.

Разработка умной лампы обусловлена необходимостью создания среды, которая поддерживает здоровье пользователя через адаптивное управление световым сценарием. Целью является создание устройства, способного динамически изменять спектральный состав и яркость освещения в зависимости от времени суток и физиологического состояния человека, имитируя естественный ход солнца и поддерживая выработку необходимых гормонов.

Фундаментальной основой служит понимание влияния света на эндокринную систему человека, в частности на выработку мелатонина.

Циркадные ритмы (рис. 1) представляют собой внутренние биологические часы с циклом около 24 часов, регулирующий сон, метаболизм и температуру тела.

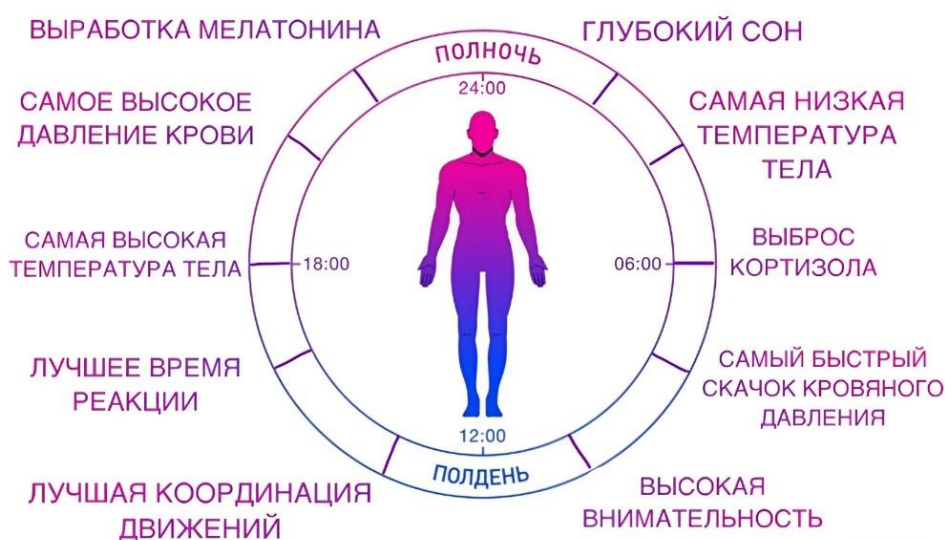


Рисунок 8 – Цикл циркадных ритмов

Важным аспектом восприятия света, напрямую связанным с проектированием таких систем, является зрачковый рефлекс. Традиционно его

рассматривают как защитный механизм сетчатки от избыточной яркости, однако современные исследования показывают его тесную связь с невидимыми функциями света. Ключевым элементом, объединяющим зрачковую реакцию и регуляцию циркадных ритмов, являются фоторецепторные ганглиозные клетки сетчатки, выделяющие фотопигмент меланопсин.

Такие клетки обладают собственной светочувствительностью с пиком в сине-голубой области спектра при длине волны от 460 до 480 нм. Под воздействием света такой длины волны они запускают два параллельных процесса: быструю моторную реакцию сужения зрачка, ограничивающую световой поток, и передачу сигнала по нервным трактам в супрахиазматическое ядро для синхронизации биологических часов и регуляции секреции мелатонина. Таким образом, зрачковый рефлекс можно рассматривать как видимый индикатор активации той самой фотобиологической системы, которая управляет выработкой гормона сна. В дневное время синий свет подавляет секрецию мелатонина и стимулирует выработку кортизола, обеспечивая бодрость и концентрацию внимания [2]. Однако вечером избыток синего спектра от искусственных источников света блокирует выработку мелатонина, сбивая настройки биологических часов и затрудняя засыпание. Именно поэтому ключевая задача умной лампы является исключение синего спектра в вечерние часы и смещение цветовой температуры в тёплую область.

С технической точки зрения для этого требуется система, способная независимо управлять разными спектральными каналами светодиодов. Чтобы обеспечить плавный переход между режимами бодрствования и сна, целесообразно использовать технологию регулируемого белого света (рис. 2), основанную на смешивании потоков от светодиодов тёплого и холодного белого свечения [3]. Управление этим процессом возлагается на микроконтроллер, выступающий в роли центрального процессора системы. Алгоритм работы устройства строится на временной шкале, где для каждого промежутка суток задаются определённые параметры яркости и цветовой температуры.



Рисунок 2 – Технология регулирования белого света

Утром система должна плавно наращивать яркость с преобладанием холодного спектра, обеспечивая мягкое пробуждение. В течение рабочего дня

поддерживается стабильный нейтральный свет высокой яркости для сохранения продуктивности. Вечером, за несколько часов до предполагаемого сна, алгоритм постепенно снижает яркость и меняет цвет в сторону тёплых оранжевых и красных оттенков, что минимизирует воздействие на меланопсин и способствует естественной выработке мелатонина.

Начальный этап научной работы включает глубокий анализ имеющихся данных о влиянии света на физиологию человека, а также обзор рыночных аналогов. На основе этого анализа формируются технические требования к устройству. Выбирается элементная база, микроконтроллер, светодиодные матрицы с высоким индексом цветопередачи и драйверы, обеспечивающие широтно-импульсную модуляцию без видимого мерцания. Следующий шаг проектирование электрической схемы и разработка программного обеспечения, реализующего логику управления световыми потоками.

Отдельное внимание уделяется созданию мобильного приложения, с помощью которого пользователь может корректировать настройки под свой индивидуальный график. Завершающий этап, сборка прототипа, экспериментальные замеры спектральных характеристик и тестирование системы в реальных условиях для оценки субъективного комфорта и эффективности влияния на режим сна.

В заключение стоит подчеркнуть, что разработка умной лампы с поддержкой циркадных ритмов междисциплинарная задача на стыке биологии, физики света и инженерного проектирования. Подход к освещению, известный как человеко-ориентированное освещение, постепенно переходит из разряда экспериментальных технологий в категорию необходимых стандартов для здорового образа жизни. Реализация такого проекта позволит не только создать функциональный прототип, но и продемонстрировать практическое применение знаний о биоритмах в инженерии. Успешное внедрение подобной системы может стать шагом к улучшению качества жизни пользователей, снижению уровня стресса и нормализации сна за счёт интеллектуального управления окружающей световой средой.

Литература

- [1]. Мэттью Уолкер. Зачем мы спим. Новая наука о сне и сновидениях. [пер. с англ. В.М. Феоклистовой]. Азбука-Аттикус, КоЛибри. 2018. С. 30-36. ISBN 978-5-389-15633-3.
- [2]. Текст: электронный // зрачковый световой рефлекс. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Pupillary_light_reflex (дата обращения: 26.02.2026).
- [3]. Текст: электронный // TUNABLE WHITE. Интеллектуальное освещение для комфорта. URL: <https://mdm-light.ru/publications/tunable-white-intellektualnoe-osveshchenie-dlya-komforta-i-biznesa> (дата обращения: 26.02.2026).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗЫ В ФОКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ СТУПЕНЧАТОЙ ЛИНЗЫ ФРЕНЕЛЯ

Стремительное развитие беспроводных систем связи следующего поколения выдвигает субтерагерцовый диапазон частот (0,1-1 ТГц) в число наиболее перспективных областей электромагнитного спектра. Технологии шестого поколения (6G) призваны обеспечить более высокую ёмкость системы, улучшенные характеристики и возможности сетевого зондирования, а терагерцовый диапазон рассматривается как один из ключевых инструментов достижения этих целей благодаря обширным неиспользуемым полосам частот и высокому пространственному разрешению, обусловленному малой длиной волны и широкой полосой [1]. Терагерцовый диапазон способен обеспечить высокопропускные беспроводные каналы благодаря огромной доступной полосе частот, а малая длина волны позволяет формировать крупноразмерные антенные решётки в компактном формфакторе. В этих условиях формователи волнового фронта – линзы, способные преобразовывать расходящуюся сферическую волну точечного источника в плоскую – становятся критически важным элементом антенных систем. Традиционные диэлектрические двояковыпуклые линзы, эффективно решающие задачу коллимации излучения, в субтерагерцовом диапазоне сталкиваются с рядом конструктивных ограничений. Увеличение апертуры ведет к существенному росту массы и габаритов изделия, а также к возрастанию потерь на поглощение из-за значительной толщины диэлектрика в центральной части. Рациональной альтернативой в данном случае выступает использование линз из дискретных секций, известных как ступенчатые линзы Френеля. Такие структуры позволяют значительно сократить объем используемого материала при сохранении фокусирующих свойств за счет фазового зонирования.

Систематическое изложение методики проектирования ступенчатых (зонированных) линз для антенных систем СВЧ-диапазона дано в классической работе М.С. Жука и Ю.Б. Молочкова [1]. Авторы рассматривают принцип разбиения гладкого профиля линзы на дискретные секции с сохранением условия эквифазности на выходной плоской грани. В соответствии с данной методикой высота каждой ступеньки определяется из условия компенсации оптической длины пути и равна:

$$h = \frac{\lambda}{n - 1},$$

где λ – длина волны в свободном пространстве, n – показатель преломления диэлектрика. Радиусы зон вычисляются из геометрического условия равенства

оптических путей от фокуса через край каждой зоны до плоской выходной поверхности. Для m -й зоны:

$$r_m = \sqrt{2Fmh(n-1) + [mh(n-1)]^2}$$

где F – фокусное расстояние, m – номер зоны. При этом следует учитывать, что параметры колец линзы Френеля определяются на основании расчётной длины волны, для отличающихся длин волн эти параметры становятся неточными, а полоса пропускания линзы, как правило, обратно пропорциональна числу колец. За последние 20 лет тонкие и лёгкие оптические элементы стали особенно востребованными для терагерцового диапазона, а уменьшение объёма оптических элементов при одновременном повышении их эффективности стало активным направлением исследований с множеством практических приложений.

В настоящей работе рассмотрена ступенчатая диэлектрическая линза Френеля, спроектированная для частоты 100 ГГц (длина волны $\lambda = 3$ мм) с фокусным расстоянием $F = 100$ мм. В качестве материала выбран фторопласт-4. Политетрафторэтилен широко применяется как материал для линз в субтерагерцовом и терагерцовом частотных диапазонах. Среди распространённых полимеров политетрафторэтилен обладает одним из наиболее низких значений диэлектрической проницаемости и тангенса потерь, а также характеризуется устойчивостью к кислотам и щелочам, термостойкостью и способностью сохранять механическую гибкость в большинстве условий эксплуатации. Показатель преломления политетрафторэтилена составляет приблизительно 1,43 в широком диапазоне длин волн; в настоящей работе принято значение $n = 1,44$. По формулам из [1] получена высота ступеньки

$$h = \lambda/(n-1) = 3/(1,44-1) \approx 6,81 \text{ мм.}$$

Линза содержит 5 дискретных концентрических зон с рассчитанными радиусами: $r_1 = 24,67$ мм, $r_2 = 35,14$ мм, $r_3 = 43,35$ мм, $r_4 = 50,42$ мм, $r_5 = 56,77$ мм. Увеличение радиуса каждой последующей зоны закономерно замедляется, поскольку определяется квадратным корнем от номера зоны, что согласуется с известными свойствами зонных пластинок Френеля. Трёхмерная модель спроектированной линзы представлена на рис. 1.

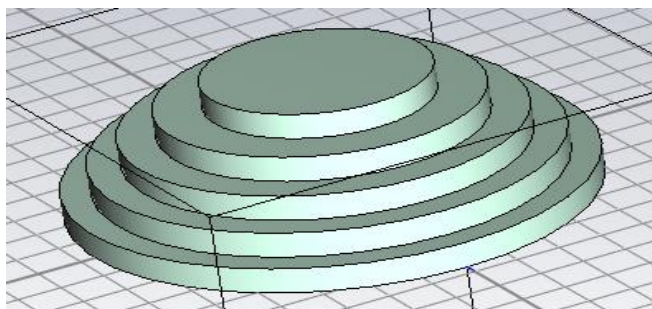


Рисунок 9 – 3D модель ступенчатой линзы Френеля в *CST Studio Suite*

В процессе настройки численного эксперимента использовался решатель во временной области, который наиболее эффективно справляется с расчетом широкополосных и электрически больших структур. Для возбуждения электромагнитной волны в фокусе линзы (на расстоянии 100 мм от ее плоской поверхности) был установлен дискретный порт, имитирующий точечный источник сферической волны. Граничные условия были заданы как «*Open add sparse*», что исключает влияние отражений от границ расчетной области и имитирует условия свободного пространства. С целью оптимизации вычислительных ресурсов и сокращения времени расчета были применены условия симметрии вдоль осей X и Y , что позволило детализировать сетку разбиения в области расположения ступенек без избыточных затрат оперативной памяти.

Анализ полученных результатов численного моделирования начался с визуализации картины распределения мгновенных значений электрического поля в продольном сечении системы [2]. На полученных картах отчетливо наблюдается процесс трансформации расходящейся сферической волны в коллимированный пучок. Проходя через диэлектрические секции разной толщины, волна претерпевает различную фазовую задержку. Секции линзы эффективно «подтормаживают» центральные участки волнового фронта относительно периферийных, что приводит к выравниванию фазы в апертуре.

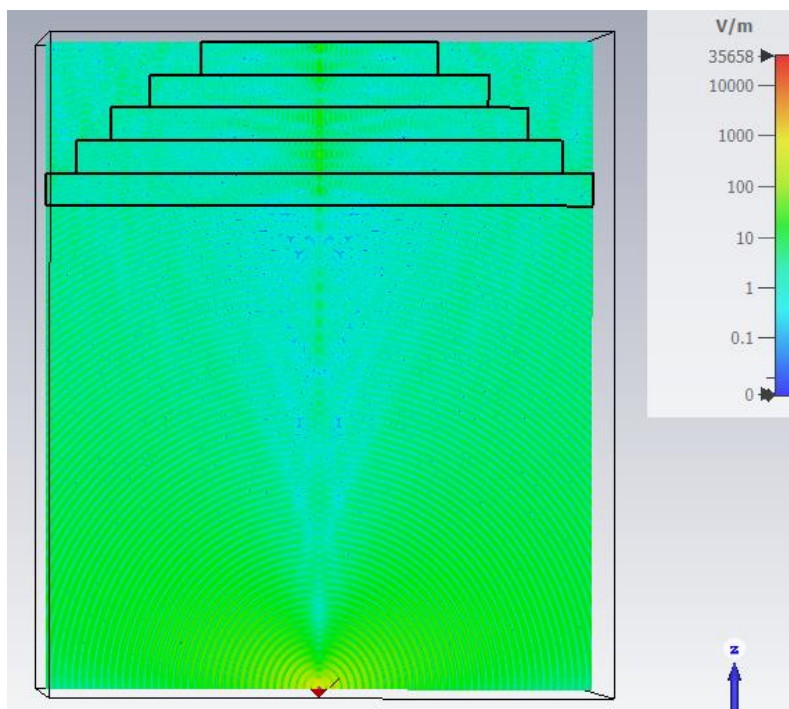


Рисунок 2 – Карта распределения амплитуды электрического поля E

Особое внимание в работе уделено сопоставлению теоретического профиля фазы и данных, полученных в *CST*. Несмотря на дискретность структуры, за линзой наблюдается формирование волнового фронта, близкого к плоскому. Незначительные возмущения амплитуды и фазы, фиксируемые на границах зон,

объясняются дифракцией на ребрах ступенек – фактором, который классическая методика учитывает лишь приближенно. Тем не менее, общая тенденция распределения поля подтверждает работоспособность аналитической модели [2]. В плоскости раскрыва линзы наблюдается стабилизация фазового набега, что является критически важным для формирования узкой диаграммы направленности антенной системы.

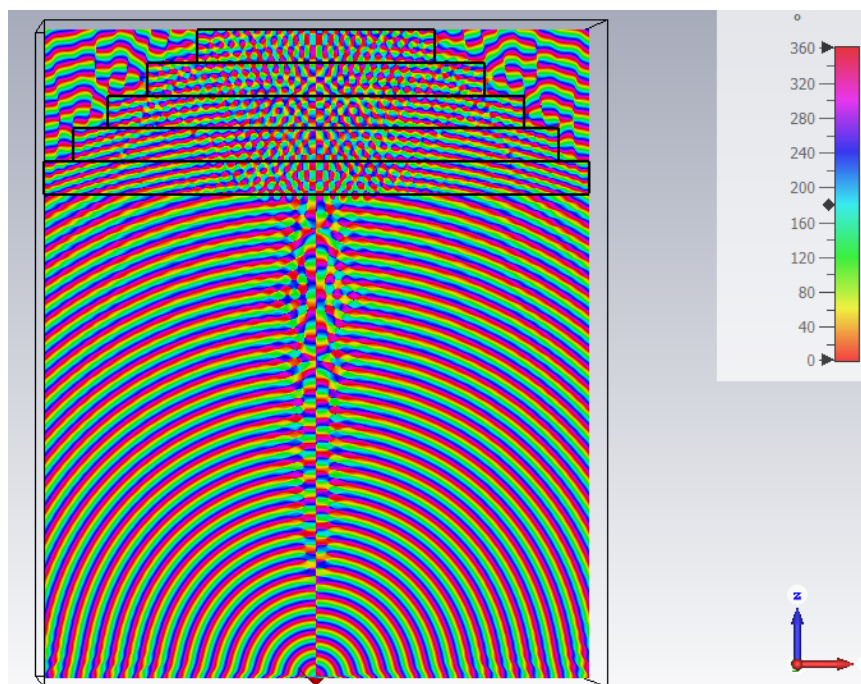


Рисунок 3 – Распределение фазы в плоскости раскрыва линзы

Графический анализ фазового распределения (рис. 3) показывает, что в пределах основной части раскрыва отклонение фазы от константы не превышает допустимых значений для антенн данного класса [3]. Сравнение аналитического расчета, выполненного в *Python*, и результатов численного моделирования в *CST Studio Suite* продемонстрировало высокую степень корреляции: положение зон и характер изменения фазы совпадают с погрешностью менее 3%, что для субтерагерцового диапазона является отличным результатом. Это свидетельствует о том, что выбранная методика проектирования на основе фазового зонирования сохраняет свою актуальность и точность даже при переходе от традиционных СВЧ-устройств к ТГц-диапазону.

В завершение стоит отметить, что проведенный сравнительный анализ подтвердил адекватность расчетной модели и применимость ступенчатых линз Френеля из фторопласта-4 в качестве эффективных формирователей плоского волнового фронта на частоте 100 ГГц. Полученная 3D-модель и верифицированные параметры зон послужат фундаментом для дальнейшей разработки в рамках дипломного проектирования, где планируется исследование влияния технологических допусков изготовления на радиотехнические характеристики линзы, а также интеграция линзы с первичным облучателем в составе полнофункциональной антенной системы [4]. Работа подтверждает, что

использование классического инженерного подхода в сочетании с современными инструментами компьютерного моделирования позволяет существенно ускорить цикл разработки сложных квазиоптических устройств субтерагерцового диапазона.

Литература

- [1]. Жук М. С., Молочков Ю. Б. Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапазонных антенн и фидерных устройств. – М.: Энергия, 1973. – 440 с.
- [2]. Elmeadawy S., Shubair R. M. Terahertz Communications and Sensing for 6G and Beyond: A Comprehensive Review // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2024. – doi: 10.1109/COMST.2024.3387408.
- [3]. Rappaport T. S. et al. A Survey on Advancements in THz Technology for 6G: Systems, Circuits, Antennas, and Experiments // arXiv:2407.01957. – 2024.
- [4]. Du B., Qi F., Wang D. et al. New Design Scheme for and Application of Fresnel Lens for Broadband Photonics Terahertz Communication // Sensors. – 2024. – Vol. 24, No. 23. – Art. 7592.

*А.С. Кузнецова, студ., Р.Р. Ткалич, студ.; рук. Е.А. Сапроненко, ст. пр.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ОБЗОР ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ КАМЕР ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

Гиперспектральные камеры представляют собой устройства, регистрирующие сотни узких спектральных диапазонов в видимом, ИК и УФ. В отличие от обычных RGB камер, фиксирующих лишь три цветовых канала, гиперспектральные камеры отражённый от объекта свет на узкие спектральные полосы, захватывает и обрабатывает их по отдельности, фиксируя спектральную характеристику каждого пикселя получаемого изображения. Это даёт возможность не просто видеть объекты, но и определять их состояние и другие характеристики на основе спектральных данных. Погодные условия существенно влияют на детектирование: облачность снижает контраст, осадки и туман ограничивают дальность и видимость, ветер меняет положение объектов.

Использование таких камер при детектировании движущихся объектов, поскольку они позволяют выделять цели по спектральным признакам даже на сложном фоне. Однако процесс детектирования сопряжён с рядом сложностей: размытием изображения из-за движения, необходимостью высокой частоты кадров для отслеживания траектории, изменением спектральных характеристик объекта при перемещении, влиянием погодных условий и зависимостью от освещённости, а также положения Солнца и типа облачности.

Гиперспектральные камеры помогают преодолеть эти трудности за счёт спектрального анализа, работы в ИК диапазонах (менее чувствительных к туману и дыму), возможности комбинировать данные разных спектральных диапазонов и применения алгоритмов обработки, компенсирующих размытие и атмосферные искажения.

Рассмотрим несколько моделей гиперспектральных камер, их характеристики, методики обработки данных и эффективность в различных условиях.

Specim AISA Owl работает в тепловом ИК диапазоне (8-12 мкм) и обладает пространственным разрешением 0,5 м с высоты 1 км. Камера имеет 256 спектральных каналов и частоту кадров до 30 Гц. Для обработки данных применяется алгоритм спектрального угла (SAM), который классифицирует материалы по их спектральным характеристикам. Основная цель использования – это детектирование тепловых аномалий и движущихся объектов с тепловым излучением, таких как автомобили, промышленные механизмы или животные. Камера особенно эффективна в условиях низкой освещённости, тумана или дымки, поскольку ИК диапазон менее подвержен рассеянию. Она не зависит от положения Солнца, так как детектирует собственное излучение объектов, и сохраняет работоспособность при любой облачности.

Headwall Photonics Hyperspectral охватывает видимый и ближний ИК диапазон (0,4–1,0 мкм), имеет разрешение 1 м, 300 спектральных каналов и частоту кадров 50 Гц. Обработка данных ведётся методом главных компонент (PCA), который снижает размерность информации и выделяет ключевые признаки, а также с помощью алгоритмов отслеживания движения на основе оптического потока. Камера предназначена для обнаружения объектов на сложном природном фоне – например, редких животных в лесу или техники при проведении экологических исследований. Её эффективность максимальна при ясной погоде благодаря высокому разрешению и детализации, но снижается при сильной облачности или тумане из-за недостатка прямого солнечного света. Оптимальные условия работы – дневное время при высоком Солнце; на рассвете и закате длинные тени могут затруднять детектирование.

Компактная камера *Cubert UHD 185 Firefly* (0,5-0,9 мкм, 50 каналов, вес 0,8 кг) разработана для установки на БВС. Она обеспечивает частоту кадров 100 Гц и оснащена встроенной системой стабилизации. Для сегментации изображений используется кластеризация k -средних, а алгоритмы компенсации размытия помогают снизить влияние движения. Камера подходит для мониторинга сельскохозяйственных угодий, поисково спасательных операций, наблюдения за транспортом и контроля инфраструктуры с БПЛА. Лучше всего она работает при умеренной облачности и рассеянном освещении, но сохраняет функциональность в дождь или снег – хотя в таких условиях эффективность снижается, крупные объекты всё ещё можно детектировать.

Многодиапазонная система *Rayleigh Optoelectronics Hyspex* объединяет диапазоны 0,4–2,5 мкм в 200 каналах, поддерживает частоту кадров 40 Гц и допускает интеграцию с LiDAR. Для автоматического детектирования движущихся объектов применяются нейронные сети (CNN), а алгоритмы мультиспектрального слияния данных повышают точность результатов. Камера используется для экологического мониторинга (например, отслеживания миграции животных или состояния растительности), контроля промышленных объектов, наблюдения за транспортными потоками и мониторинга прибрежных

зон. Она адаптируется к любому положению Солнца и показывает хорошую работу в дождь или дым за счёт комбинации видимого и ИК диапазонов. В условиях тумана эффективность средняя: ИК каналы помогают, но видимость всё же ограничена.

Анализ возможностей гиперспектральных камер позволяет сформулировать ключевые рекомендации по выбору характеристик для разных задач детектирования движущихся объектов.

Для круглосуточного мониторинга в любых погодных условиях стоит выбирать камеры с комбинированным спектральным диапазоном (0,4-2,5 мкм или шире) сочетание видимого и ИК диапазонов помогает адаптироваться к меняющейся освещённости и погоде. Оптимальная частота кадров – это не менее 40 Гц, что обеспечит плавность отслеживания даже быстро движущихся объектов. Полезной будет поддержка интеграции с *LiDAR* или *GPS* для точного геопозиционирования, а также алгоритмы мультиспектрального слияния данных и нейронные сети (*CNN*). Они автоматически подстраиваются под обстановку и компенсируют атмосферные искажения.

Если задача детектирование ночью или в условиях тумана/дым, приоритет следует отдать камерам с тепловым ИК диапазоном (8-14 мкм): они фиксируют собственное излучение объектов и игнорируют оптические помехи. Важно, чтобы пространственное разрешение составляло не хуже 0,5-1 м с рабочей высоты – это позволит различать автомобили или крупных животных. Чувствительность к температурным различиям должна быть высокой (порог не выше 0,1°C), а алгоритмы обработки должны быть ориентированы на классификацию по тепловым сигнатурам (например, метод спектрального угла *SAM*).

Для мобильных задач с использованием БВС критически важны компактность и лёгкость: масса камеры не должна превышать 1 кг, чтобы не перегружать дрон. Высокая частота кадров (от 100 Гц) компенсирует вибрации и быстрые перемещения носителя, снижая размытие изображения. Встроенная система стабилизации критически важна для съёмки с движущейся платформы. Оптимальный спектральный диапазон – это видимый плюс ближний ИК (0,4-1,0 мкм): он даёт баланс между детализацией и устойчивостью к лёгкой облачности. Низкое энергопотребление продлит время полёта, а алгоритмы быстрой сегментации (например, кластеризация *k-means*) позволят обрабатывать данные прямо на борту БВС.

Когда нужно детектировать объекты на сложном природном фоне днём (например, редких животных в лесу или технику при экологических исследованиях), ключевое значение имеют спектральное и пространственное разрешение. Желательно, чтобы камера имела 250-300 каналов в диапазоне 0,4-1,0 мкм и обеспечивала разрешение не хуже 1 м. Частота кадров 50 Гц достаточна для отслеживания умеренного движения. Метод главных компонент (*PCA*) в сочетании с анализом оптического потока поможет выделить движущиеся цели на текстурированном фоне, а высокий динамический диапазон сохранит детали в тенях и ярких участках.

Выбор оборудования зависит от конкретных условий эксплуатации. Если речь идёт о наблюдении за быстродвижущимися объектами, такими как транспорт или птицы, важно обеспечить высокую частоту кадров и задействовать алгоритмы компенсации размытия. В условиях плохой видимости – например, в туман, дождь или в сумерках – оптимальным решением станут камеры с ИК или тепловизионными модулями. Для длительных автономных задач, БВС или стационарных постов, критически важны параметры энергопотребления и вес устройства, а также возможность его интеграции с системами передачи данных. При работе на сложных фонах – в лесу, горах или в условиях городской застройки – следует выбирать модели с высоким спектральным разрешением (≥ 250 каналов), оснащённые поддержкой методов машинного обучения, которые помогают эффективно выделять цели.

Грамотный подбор характеристик под конкретную задачу позволит максимально эффективно использовать гиперспектральные камеры, минимизируя влияние погоды, освещённости и сложности сцены.

Литература

- [1]. Альт, В. В. Использование гиперспектральной камеры Specim IQ для анализа растений / В. В. Альт [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2020. – Т. 24, № 3. – С. 259–266.
- [2]. Бондаренко, К. В. Гиперспектральные приборы, тенденции и перспективы развития / К. В. Бондаренко // Сибирский государственный университет геосистем и технологий. – Новосибирск, 2025. – С. 36–45.
- [3]. Григорьев, А. С. Оптико-электронные системы наблюдения и навигации / А. С. Григорьев. – Москва : Техносфера, 2017. – 344 с.
- [4]. Николенко, А. А. Методы обработки данных гиперспектрального авиакосмического дистанционного зондирования агросистем с учётом атмосферной коррекции : дис. ... канд. наук / А. А. Николенко. – 2015.
- [5]. Перцев, Д. Ю. Система сжатия гиперспектральных данных / Д. Ю. Перцев // Информационные технологии в промышленности, логистике и социальной сфере : X Международная научно-техническая конференция : тез. докл. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 165–166.
- [6]. Смирнов, И. В. Дистанционное зондирование Земли: методы обработки гиперспектральных данных / И. В. Смирнов. – Санкт-Петербург : Политехника, 2019. – 288 с.

*А.В. Лунев, старш. инж.; Н.В. Субботин, инж.
(АО «НИИ СТТ» г. Смоленске)*

СИГМА-ДЕЛЬТА АЦП В ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Гиросtabilизационные системы сегодня всё чаще строятся вокруг полностью цифровых контуров управления, где сигнал от чувствительных элементов как можно раньше переводится в цифровой вид. В MEMS-гироскопах и прецизионных гиросtabilизаторах в качестве первичного аналого-цифрового звена целесообразно использовать сигма-дельта АЦП, обеспечивающие высокое разрешение и устойчивость к шумам в узкой рабочей полосе частот.

Сигма-дельта АЦП – это архитектура аналого-цифрового преобразователя, которая достигает высокой разрядности за счёт передискретизации и специальной формы шума квантования – шумоформирования [1]. Вместо того чтобы сразу выдавать многоразрядный код, такой АЦП сначала превращает аналоговый сигнал в плотность импульсов (однобитный или малобитный поток),

а затем цифровой фильтр и блок децимации восстанавливают из этого потока медленный, но высокоточный цифровой сигнал [1].

В отличие от классического последовательного (*SAR*) или быстрого (*flash*) АЦП, сигма-дельта-архитектура сознательно «жертвует» скоростью ради точности в сравнительно узкой полосе частот. Это хорошо согласуется с задачами гиросtabilизации и инерциальных измерений, где угловые скорости и ошибки стабилизации меняются относительно медленно, но предъявляются жёсткие требования к разрешению и уровню шума.

Типичная структура модулятора содержит (рисунок 1) интегратор(ы), накапливающие разность между входом и обратной связью, малобитный (часто однобитный) ЦАП в петле обратной связи, компаратор или малобитный квантователь, который преобразует аналоговый сигнал после интегратора в цифровой поток, и сумматор, формирующий сигнал ошибки между входом и выходом ЦАП [1]. На уровне интегральной реализации для гироскопических применений интеграторы и ЦАП обычно выполняют на переключаемых конденсаторах, что обеспечивает хорошую точность и воспроизводимость параметров, а также совместимость с КМОП-технологией.

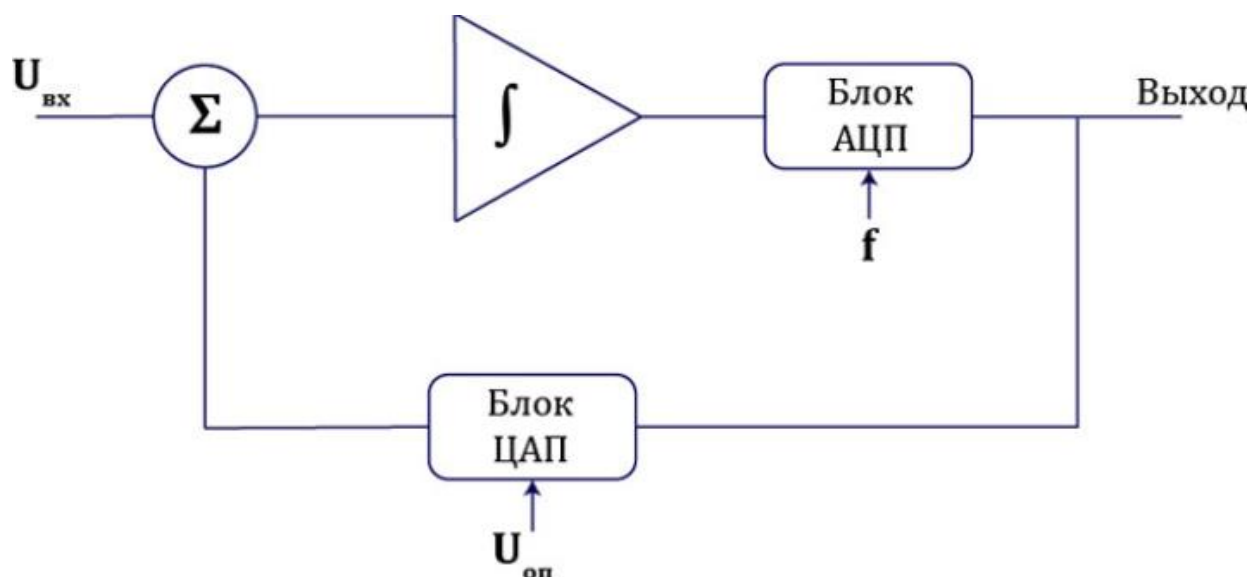


Рисунок 1 – Структурная схема сигма-дельта модулятора

В основе сигма-дельта АЦП лежит модулятор обратной связи и последующий цифровой фильтр. На вход модулятора подаётся аналоговый сигнал, а на выходе формируется высокочастотный поток бит, плотность «единиц» в котором пропорциональна входному напряжению. Частота работы модулятора во много раз превышает частоту выдачи результатов оцифровки, что создаёт запас по частоте для дальнейшей цифровой фильтрации.

Внутри сигма-дельта модулятора ключевую роль играет структура контура обратной связи. Если рассмотреть его в линеаризованной дискретной модели (рисунок 2), то вход задаётся последовательностью $x(n)$, выход – $y(n)$, а квантователь (компаратор с триггером) вносит собственный шум $e(n)$. В этом

представлении видно, что сама петля обратной связи по-разному влияет на полезный сигнал и на шум квантования.

Z-преобразование этой системы дельта-сигма модулятора:

$$Y(z) = \frac{(X(z) - Y(z))z^{-1}}{1 - z^{-1}} + E(z)$$

Упростив, получается:

$$Y(z) = X(z)z^{-1} + E(z)(1 - z^{-1})$$

Z-преобразование такой системы даёт выражения для выходного сигнала через вход $x(n)$ и шум $e(n)$ [2]. Из них следует, что для полезного сигнала передаточная характеристика близка к единице во всей рабочей полосе частот, а задержка ограничивается одним тактом, то есть «полезная» часть $x(n)$ практически без искажений проходит через модулятор. Шум квантования, наоборот, проходит через эквивалентный высокочастотный фильтр: его низкочастотная составляющая подавляется, а основная энергия переносится в область высоких частот [2]. Иными словами, модулятор вытесняет большую часть энергии шума из полезной области частот в высокочастотную, формируя характерный для сигма-дельта архитектуры эффект шумоформирования.

Если после модулятора поставить простой n -разрядный двоичный счётчик, то на выходе АЦП получится поток n -битных данных, скорость которого будет примерно в 2^{n-1} раз ниже, чем частота работы модулятора. Такой принцип иллюстрирует общий подход сигма-дельта АЦП: за счёт передискретизации и последующего «сжатия» потока можно гибко выбирать компромисс между разрядностью и скоростью преобразования. На практике вместо простого счётчика используют цифровой фильтр нижних частот, который значительно сильнее подавляет вынесенный в верхнюю часть спектра шум, а затем выполняют децимацию – снижение частоты дискретизации до требуемого уровня. Цена такой эффективности – дополнительная временная задержка, которую необходимо учитывать при проектировании контура управления [2].

Порядок модулятора можно повышать, добавляя дополнительные сумматоры и интеграторы в петлю. Более высокие порядки ещё сильнее «выталкивают» шум квантования в область высоких частот, позволяя получать лучшее отношение сигнал/шум в заданной полосе, но при этом увеличивают сложность и задержку обработки. Поэтому на практике выбирают компромисс между требуемой точностью и допустимой задержкой в тракте измерения.

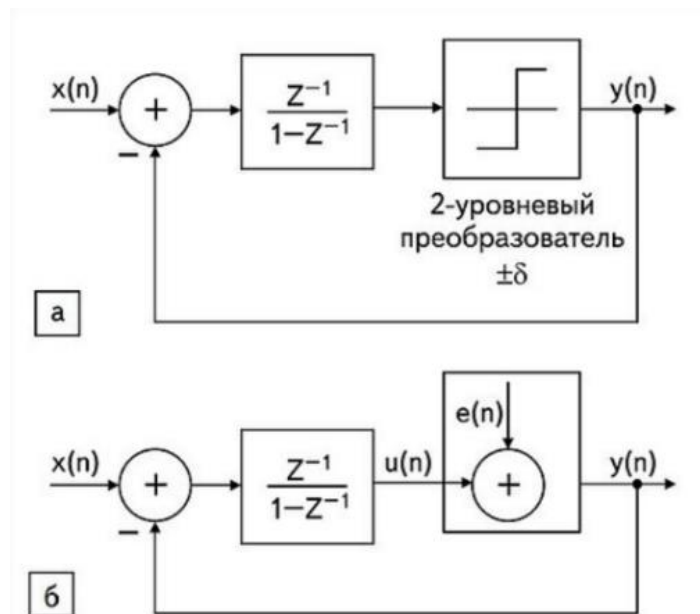


Рисунок 2 – Схема линейризованной дискретной модели системы

Гиростабилизационные платформы (для оптических систем наблюдения, антенн, камер и т.п.) предъявляют одновременно два ключевых требования к трактам измерения: высокую чувствительность к малым угловым скоростям и дрейфам, а также устойчивость к помехам и вибрациям, неизбежным в реальных условиях эксплуатации. Для MEMS-гироскопов и высокоточных гиростабилизаторов это означает, что аналоговый тракт должен вносить минимальный дополнительный шум и искажения, а АЦП – не «утаивать» информацию на уровне младших разрядов. Сигма-дельта АЦП хорошо вписывается в эту задачу за счёт высокой эффективной разрядности (до 24–32 бит) в сравнительно узкой полосе частот, высокой помехоустойчивости и возможности переноса значительной части шумов в область, где они легко подавляются цифровой фильтрацией, а также удобной интеграции в полностью цифровой контур управления, где сигнал гироскопа сразу доступен в виде потока данных для микроконтроллера или ПЛИС

В результате в гиростабилизированных платформах сигма-дельта АЦП уже можно рассматривать не как альтернативу, а как предпочтительное решение там, где критичны высокое разрешение, стабильность и возможность глубокой цифровой обработки. Использование такой архитектуры даёт реальный ресурс для улучшения точности стабилизации и надёжности работы системы в условиях вибраций, температурных перепадов и длительной непрерывной эксплуатации.

Литература

- [1] Сигма-дельта АЦП [Электронный ресурс] // Справочные данные по электронным компонентам. – Режим доступа: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/adc/adc_5_2.htm (дата обращения: 11.03.2026).
- [2] Delta-Sigma ADCs [Электронный ресурс] / Monolithic Power Systems. – Режим доступа: <https://www.monolithicpower.com/en/learning/mpscholar/analog-to-digital-converters/detailed-analysis-of-adc-architectures/delta-sigma-adcs> (дата обращения: 11.03.2026).

ШУМЫ ГИРОСКОПОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТУ ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Гироскопы являются ключевыми элементами современных инерциальных систем и позволяют определять угловое движение и ориентацию объектов в пространстве [1]. Они лежат в основе навигации и стабилизации дронов, смартфонов, летательных аппаратов, судов и робототехнических платформ, где малый дрейф и низкий уровень шума напрямую определяют точность управления и надёжность работы системы.

Шумы гироскопов представляют собой случайные колебания выходного сигнала, не связанные с реальными угловыми ускорениями [1]. Их описывают как случайные процессы с заданной спектральной плотностью мощности, характеризующей распределение энергии по частотам. Для инерциальной навигации особенно важны низкие частоты, поскольку именно там шум приводит к накоплению ошибок при интегрировании угловой скорости и к долгосрочному дрейфу ориентации. На практике выделяют три основных типа шума: белый, розовый и красный (рисунок 1), каждый из которых по-разному влияет на краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную стабильность гироскопа.

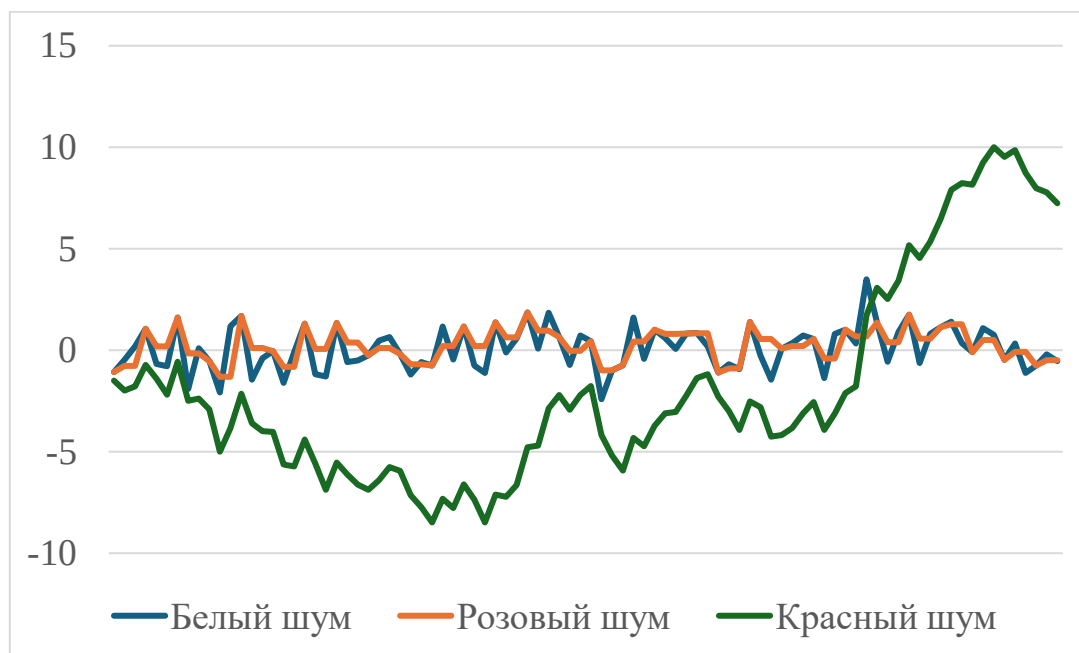


Рисунок 1 – Различные виды шумов

Белый шум проявляется как статистически однородный фон случайных колебаний во всём рабочем диапазоне частот. Его спектральная плотность практически не зависит от частоты, а во временной области это соответствует некоррелированным отсчётам с постоянной дисперсией: каждое измерение

угловой скорости – это сумма истинного сигнала и независимой случайной добавки.

Основные источники белого шума – термомеханический шум чувствительных элементов, джонсоновский (тепловой) шум резистивных и полупроводниковых компонентов, а также электронные шумы усилителей и АЦП. В MEMS-гироскопах эти эффекты усиливаются малыми массами подвижных структур и чувствительностью к температурным изменениям, что особенно заметно в мобильной и бортовой аппаратуре. В оптических и волоконно-оптических гироскопах дополнительно проявляются квантовые колебания излучения и шумы фотоприёмников [1].

С точки зрения систем управления белый шум задаёт краткосрочную нестабильность мгновенных показаний. При высоких частотах дискретизации он приводит к заметной дисперсии отсчётов, что критично для стабилизации камер и высокоскоростных дронов, где требуется быстрое и точное слежение. При интегрировании белого шума угловой скорости для вычисления угла возникает компонент углового случайного блуждания: с каждой секундой оценки поворота начинают «расползаться», и средняя ошибка ориентации растёт [1].

Розовый шум, или $1/f$ -шум, имеет спектральную плотность, убывающую с ростом частоты; его энергия сосредоточена на низких частотах. Временной ряд с $1/f$ -шумом характеризуется заметной корреляцией на интервалах от секунд до часов: среднее значение выходного сигнала медленно «уплывает» во времени.

Физически $1/f$ -шум связан с нестабильностью материалов и структур. В полупроводниковых элементах преобладает фликкер-эффект, обусловленный ловушками заряда и дефектами кристаллической решётки. В механических частях MEMS-гироскопов существенный вклад дают сухое трение в подвесах, релаксация внутренних напряжений и адсорбция молекул на поверхностях подвижных масс. В оптических и волоконно-оптических гироскопах $1/f$ -компонента связана с фазовым шумом источника, дрейфом частоты и медленными изменениями свойств волноводов [1].

На практике розовый шум проявляется как нестабильность смещения нуля. Даже при отсутствии вращения гироскоп может показывать медленно изменяющееся ненулевое значение угловой скорости. Для инерциальных навигационных систем это означает рост ошибки ориентации не только за счёт интегрирования белого шума, но и из-за «ползущего» нулевого уровня в масштабах десятков минут и часов. В системах стабилизации это приводит к постепенному уводу оси и необходимости периодической перекалибровки.

Красный шум характеризуется наиболее крутым спадом спектральной плотности, часто близким к $1/f^2$ в низкочастотной области. Его энергия сосредоточена на сверхнизких частотах, а временной ряд выглядит как медленное, но практически неограниченное случайное блуждание. Корреляция между значениями здесь максимальна: текущее состояние определяется всей предшествующей историей процесса.

Ключевым источником красного шума являются крайне медленные, накопительные процессы в самой системе: сдвиг и «ползущий» ноль гироскопа,

которые шаг за шагом смещают оценку ориентации всё дальше от реального положения. К этому добавляются температурный дрейф механических и оптических параметров, старение материалов и долговременные внешние воздействия (длительные вибрации, квазипостоянные поля), которые медленно накапливают угол ошибки и формируют характерный режим случайного блуждания ориентации во времени.

В долгосрочных измерениях красный шум становится определяющим фактором. При автономной работе инерциального блока в течение многих часов или суток ошибка ориентации растёт практически без ограничений и может достигать недопустимых величин для задач высокой точности в авиации, на море и в космосе. Именно красный шум задаёт жёсткие требования к стабильности нулевого уровня, качеству калибровки и термостабилизации высокоточных гироскопов.

Для выявления и количественной оценки различных шумовых компонент используют дисперсию Аллана (рисунок 2) – метод, заимствованный из теории частотных стандартов и ставший стандартным инструментом анализа шумов инерциальных датчиков [2]. Он чувствителен к структуре временной корреляции и позволяет разделять белый, розовый и красный шумы по характерным наклонам соответствующей кривой. Процедура сводится к записи длинного ряда показаний неподвижного гироскопа, вычислению значений показателя для разных интервалов усреднения и построению логарифмического графика, по форме которого уже и судят о вкладе отдельных типов шума.

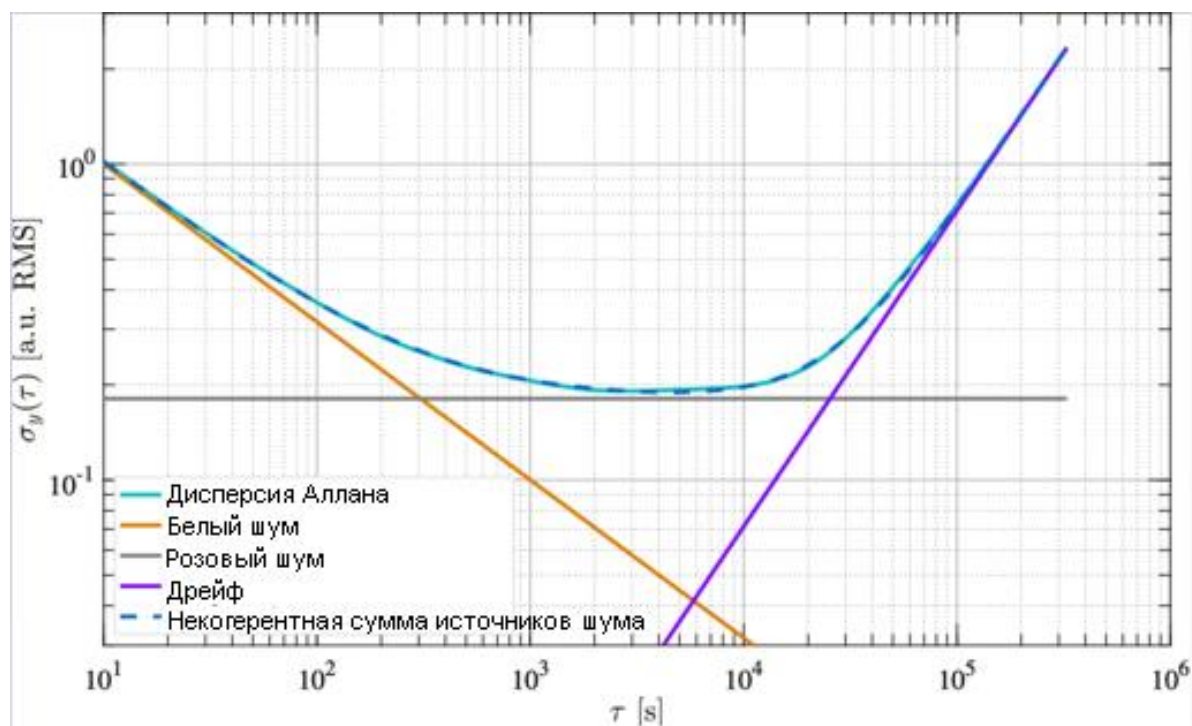


Рисунок 2 – Дисперсия Аллана

На таком графике белый шум угловой скорости даёт участок с наклоном около -0,5, розовый шум проявляется как плато, а красный шум соответствует

участку с наклоном около $+0,5$. По этим участкам определяют не только наличие соответствующих компонентов, но и их коэффициенты, которые затем используют в стохастических моделях и при имитационном моделировании инерциальных систем. При этом более точный подход заключается не в проведении касательных заданного наклона, а в подборе к экспериментальной кривой суммарной модели, составленной из типовых функций для белого, розового и красного шумов.

С точки зрения компенсации белый шум находится в наилучшем положении. Благодаря некоррелированной природе и широкополосному спектру он хорошо подавляется методами усреднения и цифровой фильтрации: скользящее среднее, экспоненциальное сглаживание и *FIR/IIR*-фильтры позволяют существенно снизить дисперсию белой компоненты без критического искажения полезного сигнала при разумных требованиях к полосе пропускания [2].

Розовый и красный шумы значительно менее «дружелюбны». Их энергия сосредоточена как раз в той низкочастотной области, где расположены медленные изменения реальной ориентации. Любая агрессивная фильтрация низких частот одновременно «режет» и шум, и полезный сигнал. Поэтому $1/f$ -шум и случайное блуждание невозможно радикально подавить одними лишь фильтрами усреднения: без внешних опорных датчиков их влияние остаётся принципиальным ограничением.

На практике эффективная компенсация розового и красного шумов достигается только в составе комплексных навигационных систем, где гироскопы работают совместно с внешними источниками информации – магнитометрами, приёмниками GNSS, астродатчиками и др. На алгоритмическом уровне используются расширенные фильтры Калмана и другие оценщики, в которых долговременная нестабильность смещения нуля и случайное блуждание ориентации включаются в вектор состояния и регулярно корректируются по внешним измерениям.

Литература

- [1] Шумовые характеристики MEMS-гироскопов: руководство по выбору [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inner.su/articles/shumovye-kharakteristiki-mems-giroskopov-rukovodstvo-po-vyboru/> (дата обращения: 09.03.2026).
- [2] Архипов А. А., Тимошенков С. П. Методы оценки случайных погрешностей микромеханических инерциальных датчиков [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5247> (дата обращения: 09.03.2026).

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ УЗКОПОЛОСНЫЙ ЛАЗЕР С ВОЛОКОННЫМ РЕЗОНАТОРОМ

Современная лазерная техника предъявляет всё более жесткие требования к источникам оптического излучения, особенно в задачах, где нужна высокая спектральная чистота и возможность оперативной перестройки частоты. К таким источникам относятся лазеры, которые можно перенастраивать. Сейчас без них не обойтись в оптоволоконной связи, где много каналов, в спектроскопии высокого разрешения, лазерной локации и сенсорных системах. Возможность плавно изменять длину волны генерации, сохраняя при этом малую ширину линии, открывает новые возможности для измерительной и телекоммуникационной техники. Волоконная реализация таких лазеров делает их компактными, устойчивыми к внешним воздействиям и технологичными в производстве. В данной работе предлагается конструкция перестраиваемого узкополосного волоконного лазера, в которой сочетаются эффективная фильтрация продольных мод и плавная перестройка длины волны.

На характеристики лазера сильно влияет тип резонатора и то, как отбираются моды. Чтобы луч был узким, нужен элемент, который будет выделять одну или несколько продольных мод. Есть разные способы это сделать. В лазерах часто используют схему Литтрова с поворотной дифракционной решёткой [1]. Однако из-за относительно широкой полосы отражения такой подход не всегда обеспечивает требуемую точность выделения моды. Альтернативный вариант – волоконные брэгговские решётки (ВБР) [2], где длина волны меняется за счёт деформации. Но и здесь есть ограничения: диапазон перестройки остается небольшим, требуется прецизионная механика, а сама конструкция чувствительна к вибрациям. Таким образом, для задач, где нужна одновременно высокая спектральная чистота и широкий диапазон перестройки, необходим иной подход к фильтрации излучения.

Более перспективным представляется использование в кольцевой схеме волоконного лазера перестраиваемого фильтра на основе микрорезонатора. В последние годы интерес к таким структурам значительно вырос: лазеры с высокодобротными микрорезонаторами демонстрируют рекордно узкую ширину линии генерации и высокую стабильность частоты. Так, в 2025 году была продемонстрирована интегральная бриллюэновская микролазерная система с мгновенной шириной линии всего 31 мГц [5], а в гибридных схемах с самоподстройкой к микрорезонатору достигнута ширина линии в несколько десятков герц в диапазоне 1 мкм [6]. Одновременно с этим, использование микрорезонаторов для деления частоты позволяет получать миллиметровые сигналы с джиттером в 135 аттосекунд, что открывает путь к новым стандартам в телекоммуникациях и сенсорике [7].

В настоящей работе предлагается схема кольцевого эрбиевого волоконного лазера, в котором функцию узкополосного фильтра выполняет микрорезонатор с высоким Q -фактором. Перестройка длины волны осуществляется за счет термооптического эффекта, что позволяет отказаться от подвижных механических элементов. Благодаря высокой добротности микрорезонатора удастся эффективно подавить плотно расположенные продольные моды длинного волоконного кольца и обеспечить одночастотную генерацию. Принципиальная схема разрабатываемого лазера приведена на рис. 1.

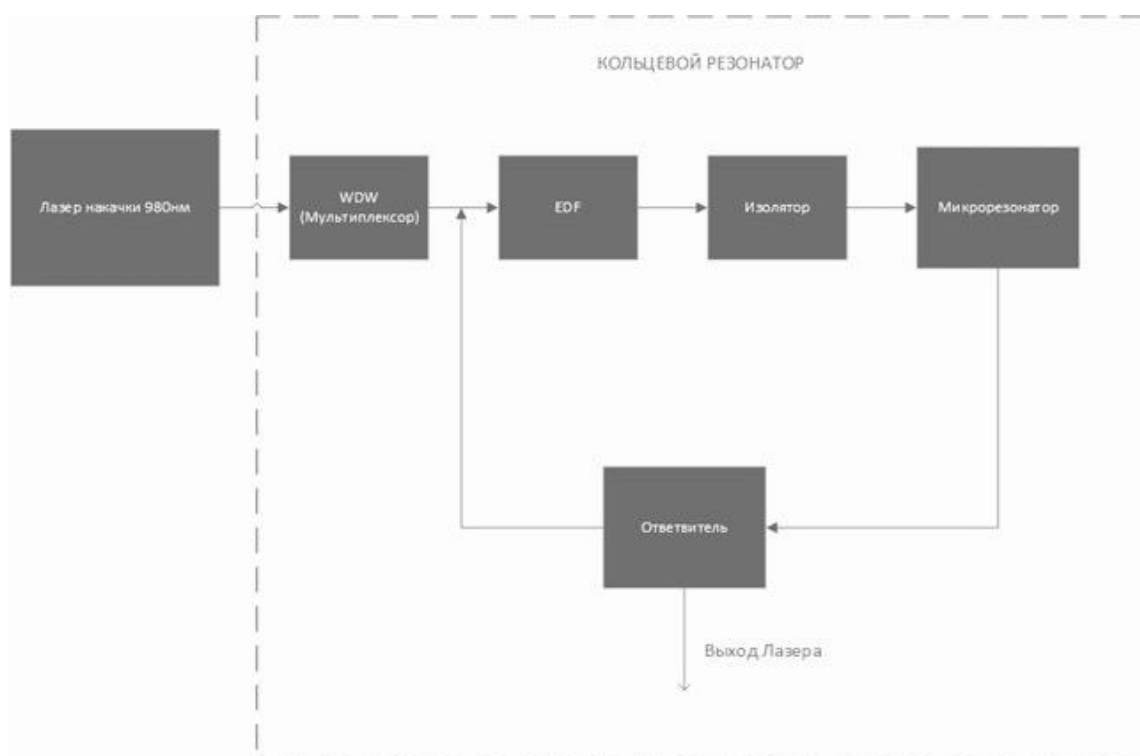


Рисунок 1 – Принципиальная схема разрабатываемого лазера

В состав лазера входят следующие элементы, соединенные последовательно в кольцевой резонатор: мультиплексор (WDM) для ввода накачки от полупроводникового лазера; активная среда на основе эрбиевого волокна (EDF); оптический изолятор, обеспечивающий однонаправленность генерации; микрорезонатор с термоэлектрическим нагревателем; и выходной ответвитель, который выводит часть излучения и замыкает кольцо. Такие микрорезонаторы обладают высокой добротностью ($Q > 10^7$) и узкой резонансной полосой, а технология их изготовления хорошо отработана и совместима с планарными процессами [4].

Перестройка длины волны генерации основана на термооптическом эффекте: при изменении температуры микрорезонатора меняется его показатель преломления, что приводит к сдвигу резонансной длины волны. Для управления температурой используется миниатюрный нагреватель, управляемый микроконтроллером. Эффективность термооптической настройки может достигать десятков пикометров на милливатт подводимой мощности, а диапазон

перестройки способен превышать межмодовое расстояние (*Free Spectral Range, FSR*) микрорезонатора. Благодаря высокой добротности удается эффективно подавить побочные моды и получить одночастотную генерацию с шириной линии менее 1 кГц.

Таким образом, предложенная схема объединяет достоинства волоконных лазеров (компактность, надежность, простота термостабилизации) и микрорезонаторов (широкий диапазон перестройки, малая ширина линии). Использование вложенного резонатора позволяет реализовать эффект Вернье для подавления плотно расположенных продольных мод длинного кольцевого резонатора и сохранить одночастотный режим генерации во всем диапазоне перестройки [3].

В итоге получаем конструкцию перестраиваемого волоконного лазера. Использование микрорезонатора с термооптической настройкой в кольцевой схеме даёт плавную перестройку длины волны и узкую линию генерации. Так как нет подвижных частей, конструкция компактная, устойчивая к вибрациям и надёжная. В ходе дальнейшей работы предполагается провести численное моделирование режимов генерации, а также экспериментально оценить влияние добротности микрорезонатора на стабильность частоты в условиях термоциклирования. В будущем планируется собрать макет лазера и проверить его характеристики.

Литература

- [1]. Патент на изобретение RU 2701854 C1. Перестраиваемый лазерный резонатор / В.П. Дураев, С.В. Медведев. Заявл. 19.12.2018. Оpubл. 01.10.2019. Бюл. № 28.
- [2]. Третьякова, И. О. Свет и оптические измерения / И. О. Третьякова. – Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. – 80 с
- [3]. Bahadoran, M. Vernier Effect for Optical Microring Resonator / M. Bahadoran. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013..
- [4]. Богданов, А. В. Волоконные технологические лазеры и их применение : учебное пособие / А. В. Богданов, Ю. В. Голубенко. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2021. – 86 с
- [5]. Liu, K. 31-Hz-linewidth Brillouin laser enabled by coupling to high-Q microresonators / K. Liu, N. Chauhan, J. Liu, et al. // Nature Photonics. – 2025. – Vol. 19, No. 3. – P. 245-252. – DOI: 10.1038/s41566-024-01592-0
- [6]. Lobanov, V. E. Narrow-linewidth laser at 1 μm based on self-injection locking to a high-Q microresonator / V. E. Lobanov, N. M. Kondratiev, A. E. Shitikov, et al. // Optics Letters. – 2024. – Vol. 49, No. 8. – P. 1985-1988. – DOI: 10.1364/OL.518945.
- [7]. Bowers, J. E. Attosecond timing jitter in photonic-chip-based millimeter-wave synthesizers / J. E. Bowers, D. T. Spencer, J. D. Jost, et al. // Nature. – 2024. – Vol. 627, No. 8005. – P. 789-795. – DOI: 10.1038/s41586-024-07123-1.

ВОЗМОЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ГРАВИТОНА КАК ФОРМЫ ЭКЗОТИЧЕСКОЙ МАТЕРИИ

В настоящее время продолжают попытки обнаружения частиц, создающих гравитационные поля. Это связано с тем, что любое физическое поле имеет источник его образования, но частицы гравитационного поля обнаружить ученым разных стран до сих пор не получается. Одним из видов таких предполагаемых частиц является гравитон. Для понимания смысла данного объекта необходимо ввести понятие рассматриваемой частицы. Гравитон, как предполагается, является элементарной частицей, несущей гравитационное взаимодействие. Эта частица, не имеющая массы, выступает квантом гравитационного поля, не обладая при этом электрическим или любым другим видом заряда [1]. Некоторые ученые предполагают, что гравитон является объектом экзотической материи, обнаружение которой является весьма сложным процессом. Экзотическая материя представляет собой область исследования в физике элементарных частиц, где рассматриваются вещества, не подчиняющиеся стандартным физическим законам. Эти необычные субстанции могут демонстрировать свойства, не свойственные привычным нам материалам, например, отрицательную энергию или отталкивание под действием гравитации [2].

Согласно современным представлениям физики, гравитон функционирует как посредник информационного обмена, подобно фотону, который демонстрирует квантово-волновой дуализм. В общей теории относительности Эйнштейна эта концепция выражается в следующем: чем значительнее масса объекта, тем интенсивнее он испускает эти элементарные частицы. Поскольку общей теории относительности утверждает о неразделимости пространства и времени, расстояние между двумя точками может сокращаться под влиянием присутствия гравитонов. В рамках современного квантового описания света скорость света считается предельной. Тем не менее, при рассмотрении некоторых теорий [3].

Однако, рассматривая концепцию «Пузыря Алькубьерре», мы видим, что для достижения сверхсветовой скорости, предполагается манипуляция пространством: сжатие пространства впереди и его расширение позади движущегося объекта. Когда пространство сжимается, объекту требуется значительная масса для сокращения расстояния.

Цель исследования – анализ возможности регистрации частиц гравитационного взаимодействия с помощью электромагнитного поля на основе предполагаемой поляризации гравитона при его чрезмерном сжатии.

В ситуации расширения пространства нужно действовать наоборот: уменьшить массу до уровня экзотической материи. В этом случае гравитоны не уменьшают, а наоборот, увеличат расстояние. Важно отметить, что оба этих

эффекта, сжатия и расширения, должны происходить в пределах одного и того же объекта и быть направлены перпендикулярно друг другу.

Согласно современным представлениям, гравитоны, если они действительно существуют, обладают особенностью отсутствия "полярности". Это означает, что их действие единообразно: масса объекта напрямую коррелирует с количеством излучаемых им гравитонов. Согласно общей теории относительности Эйнштейна, экзотическая материя невозможна, поскольку ее присутствие противоречило бы фундаментальной структуре Вселенной. Альтернативно, Биометрическая теория гравитации, которая заменяет уравнения Эйнштейна несколькими метрическими тензорами, допускает возможность модификации принципов функционирования гравитона. Это может быть достигнуто либо путем введения частицы, обладающей характеристиками, противоположными гравитону, либо посредством иных изменений в его свойствах.

Рассматривая данное предположение, целесообразно прибегнуть к теории супергравитации, которая выступает обобщением ОТО и встраивает в нее идею суперсимметрии. Суперсимметричные преобразования открывают возможность для трансформации вещества в взаимодействие и наоборот. Согласно этой теории, каждая известная частица имеет суперпартнера, отличающегося от нее спином на полуцелое число.

Предполагается существование гравитино, частиц с массой и спином $3/2$, которые могут быть сверхтяжелыми. В отличие от безмассового гравитона, гравитино, обладая массой, могут взаимодействовать с полем Хиггса, что позволяет им приобретать массу. Такое свойство существенно модифицирует гравитационное взаимодействие на больших масштабах, отклоняясь от предсказаний общей теории относительности. Взаимодействие гравитино с обычной материей осуществляется преимущественно посредством гравитации, и это взаимодействие крайне слабое. Неразлагаемость данных частиц в космосе приводит к их накоплению, что выражается в явлении «скрытой массы». Такая особенность наталкивает на мысль, что поток этих частиц может быть причиной «расширяющего» влияния на пространство, аналогичного тому.

Альтернативным подходом к изучению этого взаимодействия является концепция гравифотона. В рамках некоторых супергравитационных моделей гравифотон ассоциируется с центральным зарядом и способен существенно ослабить гравитационное притяжение в стационарных условиях. Такое свойство оказывается крайне полезным для функционирования варп-двигателя. Предположим, что гравитон и гравифотон суть различные грани одного и того же многомерного объекта. В этом случае, манипуляции с пространством можно интерпретировать как взаимодействие обычной материи с гравитонами и экзотической материи с гравифотонами. Этот подход устраняет проблему «нарушения структуры мира», поскольку оба явления объединены в единую многомерную картину, описываемую квантовой гравитацией. Следовательно, суперсимметричная модификация Стандартной модели предполагает наличие множества новых частиц, среди которых могут присутствовать кандидаты на

роль гравитонной частицы, обладающей характеристиками экзотической материи.

Чтобы проиллюстрировать этот факт, обратим внимание на поведение объектов с отрицательной массой. В 1957 году была выдвинута гипотеза о том, что отрицательная масса, если она существует, будет отталкиваться от любой другой массы. Это явление, получившее название «убегающего движения», демонстрирует контраст: обычные частицы материи, следуя законам Ньютона, притягиваются друг к другу, в то время как экзотические частицы стремятся отдалиться, что приводит к эффекту «расширения» Вселенной.

Согласно этой теории, идея о том, что гравитоны, вместе с другими подобными частицами, могут быть не только элементами гравитационного поля, но, и связаны с экзотической материей, получает отголоски в косвенных доказательствах. Вопрос о возможности гравитонов быть экзотической материей получает отрицательный ответ, поскольку они лишены как заряда, так и массы. Однако, частицы, схожие с гравитонами, но демонстрирующие противоположное поведение, могут быть интерпретированы как экзотическая материя. При этом, она не представляется как внешне «добавленная» составляющая, а скорее, как проявление гравитационных волн в формах, не совпадающих с нашим привычным восприятием и пониманием.

При сильном гравитационном воздействии на различные виды экзотической материи наблюдается ее поляризация. Возникновение поляризации предполагает образование хотя бы малого электромагнитного поля, в результате чего его можно регистрировать. Таким образом создание сильного воздействия на объект, создающий гравитационное поле, позволяет создать электромагнитное взаимодействие, которое в настоящее время весьма успешно обнаруживается современными приборами, что тем самым создает возможность обнаружения гравитона.

Литература

- [1]. Менделеев Д. И. Попытка химического понимания мирового эфира [http: //www.alt-tech.org/files/fizika/Popytka.pdf](http://www.alt-tech.org/files/fizika/Popytka.pdf)
- [2]. <https://www.ixbt.com/live/science/gravitony-vse-taki-mozhno-poymat-no-dokazhet-li-eto-kvantovuyu-prirodu-gravitacii.html>
- [3]. Boughn S., Rothman T. Aspects of graviton detection: Graviton emission and absorption by atomic hydrogen. Class. Quantum Grav. Vol. 23: s. 5839–5853. – 2006.

РАЗРАБОТКА МАКЕТА ГОРОДА С СИСТЕМОЙ ОПОВЕЩЕНИЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

В настоящее время системы оповещения являются важной и неотъемлемой частью обеспечения безопасности. Исходя из статистики [1] количество пожаров не имеет стабильной тенденции на спад, а в условиях плотной городской застройки скорость распространения огня, следовательно, и принесенный им ущерб, колоссально возрастают. В таких условиях ключевыми факторами спасения людей и имущества становятся время реагирования экстренных служб, а также эффективность систем раннего обнаружения и оповещения возгораний.

В связи с этим, было принято решение воссоздать наглядную модель городской среды с действующей системой оповещения, которая будет демонстрировать принципы взаимодействия пожарной службы и городской инфраструктуры.

Для создания макета был разработан чертеж небольшого участка городской среды (рис. 1). Ключевыми элементами при планировании стали здание пожарной части, обозначенное соответствующей надписью и являющееся отправной точкой движения пожарной машины, дорожная сеть для передвижения, направления движения по которой указаны стрелками, и места возможного возникновения пожара, отмеченные на чертеже крестиками.

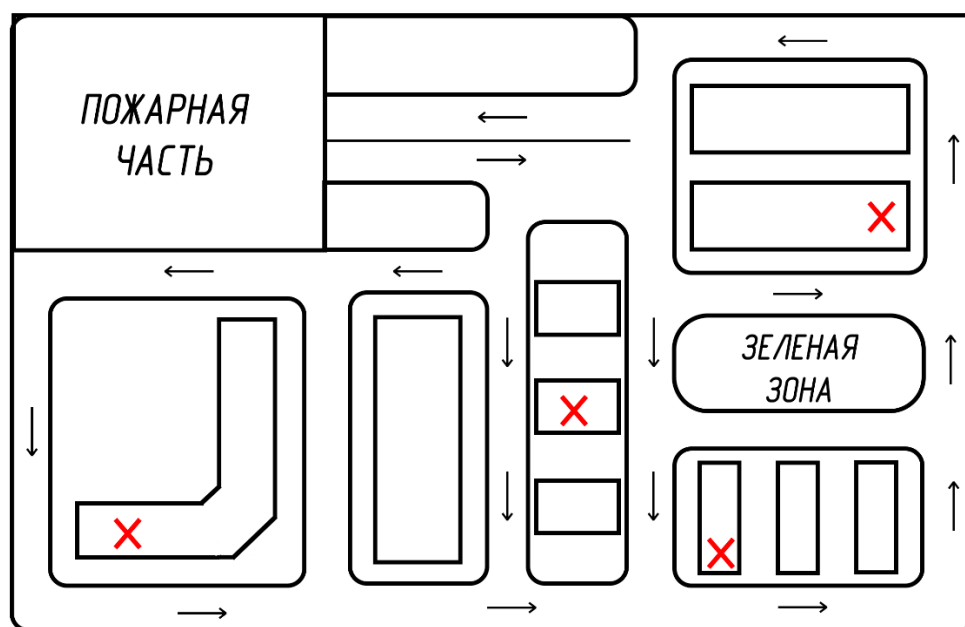


Рисунок 1 – План макета

Создаваемый макет будет включать в себя следующие функции:

- визуализация пожара и его устранения;
- звуковое оповещение о возгорании;

- передвижение пожарной машины к месту происшествия;
 - имитация смены времени суток и подсветка города в ночное время.
- Функциональная схема макета представлена на рис. 2.

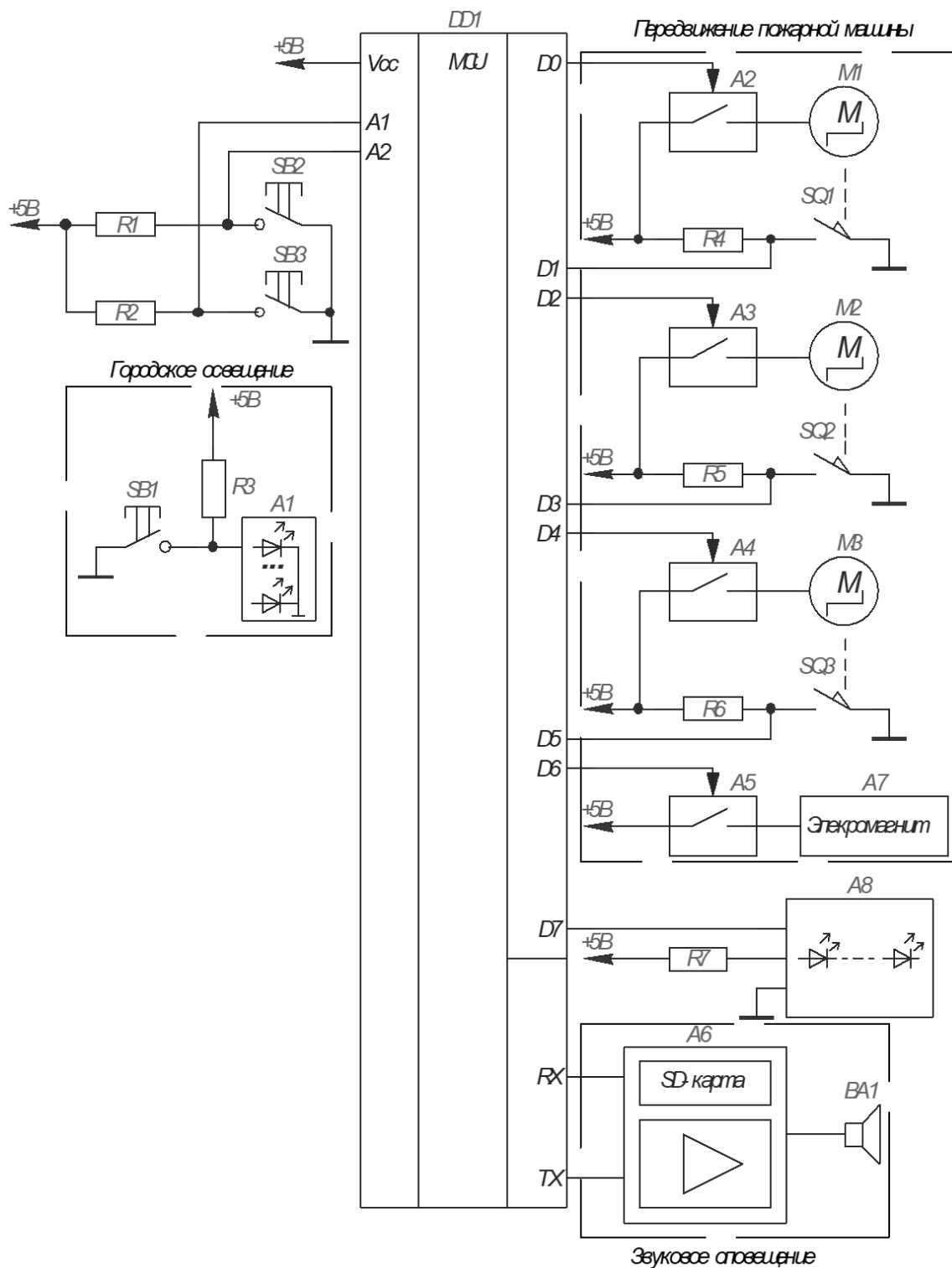


Рисунок 2 – Функциональная схема

Включение макета осуществляется при помощи кнопки SB2. Программно в случайном порядке выбирается один из потенциально возможных объектов возгорания.

Механизм движения пожарной машины к месту возгорания реализован при помощи 3 шаговых двигателей [2]. В исходном состоянии макет отправляет каретку с магнитом $A7$ в начало координат, где установлены оптические концевые датчики $SQ...SQ3$. Срабатывание выключателя дает контроллеру сигнал о том, что механизм находится в точке старта, после чего происходит обнуление счетчика шагов двигателей $M1...M3$. Движение к заданной точке осуществляется путем подачи управляющих сигналов от микроконтроллера на драйверы шаговых двигателей $A2...A5$. Траектория перемещения и координаты каждой возможной точки пожара прописаны в коде программы.

Уличное освещение в ночное время реализовано при помощи светодиодов $A1$. Их включение осуществляется кнопкой $SB1$. Для имитации пламени и смены режима «день/ночь» используется адресная светодиодная лента $A8$. Один отрезок ленты смонтирован по периметру макета и отвечает за время суток, переключение происходит при помощи кнопки $SB3$. Имитация пожара в зданиях выполнена отрезками той же адресной ленты, размещенными внутри макетов домов. В зависимости от времени горения, заложенного в алгоритме, свечение динамически меняется с желтого на оранжевый и далее на красный, создавая эффект разгорающегося пламени.

Одновременно с визуальным сигналом о возгорании активируется звуковое оповещение, реализованное при помощи динамика $BA1$ и карты памяти с записанным звуком $A6$.

В момент, когда логика программы фиксирует прибытие пожарной машины в заданную точку, подается команда на отключение звукового оповещения и свечения светодиодной ленты внутри здания. Пожар считается потушенным.

После паузы, имитирующей тушение пожара, механизм приводит машину в движение в обратном направлении, она возвращается к пожарной части, где система вновь встает на концевой выключатель, подготавливаясь к следующему циклу.

Таким образом, были разработаны план расположения и функциональная схема для воссоздания макета города с системой оповещения о пожарах. Реализация такого проекта позволит наглядно продемонстрировать важность оперативного оповещения в условиях чрезвычайной ситуации.

Литература

- [1]. АНАЛИЗ ОБСТАНОВКИ С ПОЖАРАМИ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯМИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ за 12 месяцев 2025 г. [электронный ресурс] URL: https://vdpo64.ru/uploadedFiles/files/Analiz_obstanovki_s_pozharami_RF_za_2025.pdf (дата обращения 03.03.2026)
- [2]. Шаговые двигатели: принцип работы, применение и управление [электронный ресурс] URL: <https://inner.su/articles/shagovye-dvigateli/> (дата обращения 03.03.2026)

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА ПОДЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО СТОЛА

В сфере организации современного эргономичного рабочего пространства, важность которой возрастает в свете повсеместного перехода к гибридным и удаленным формам занятости, одно из ключевых мест занимают столы с регулируемой высотой столешницы. Данные конструкции обеспечивают поддержание здоровья пользователя за счет возможности чередования режимов сидячей и стоячей работы, что способствует снижению рисков заболеваний опорно-двигательного аппарата, а также помогает в профилактике метаболических синдромов, связанных с длительной гиподинамией [1]. Актуальность подобных решений выходит далеко за рамки домашнего офиса, находя применение в корпоративных секторах, образовательных учреждениях, медицинских кабинетах и научно-исследовательских лабораториях, где требования к индивидуальной настройке рабочего места под конкретные задачи и антропометрические данные пользователя намного выше.

Наиболее функциональными и удобными в эксплуатации являются решения, оснащенные автоматизированными электроприводными подъемными механизмами, которые позволяют осуществлять регулировку высоты плавно, без значительных физических усилий. Однако, потенциал таких систем реализуется не только за счет механической части, но и в первую очередь благодаря их «интеллектуальной» составляющей.

Главным компонентом, определяющим эффективность всей системы, является электронный блок управления, от функционального наполнения, надежности и алгоритмической сложности которого напрямую зависит не только комфорт, но и безопасность пользователя, долговечность механических узлов и энергоэффективность устройства в целом. Анализ существующих на рынке технических решений показывает, что большинство массовых продуктов, представленных такими брендами, как FlexiSpot (серия E7), IKEA (модель Bekant) и их многочисленные китайские аналоги, реализуют базовый функционал подъема и опускания с двумя-тремя фиксированными положениями в памяти. При этом возможность точной калибровки промежуточных высот под индивидуальные антропометрические данные пользователя в них либо отсутствует, либо реализована с дискретностью 5-10 мм, что подтверждается анализом технической документации и обзорами пользователей [2]. Схемотехнически такие устройства, согласно доступным данным, как правило, строятся на основе недорогих 8-битных микроконтроллеров (например, серии STM8 или аналогичных) и интегральных драйверов двигателей с фиксированными профилями разгона, что не позволяет гибко адаптировать алгоритмы управления под конкретные условия эксплуатации.

Кроме того, в целях минимизации себестоимости производители нередко применяют упрощенные алгоритмы управления, лишенные обратной связи по току и положению. Например, в бюджетных моделях при достижении крайних положений отключение двигателей происходит только по срабатыванию концевых выключателей без предварительного плавного торможения. Проведенные авторами оценочные расчеты показывают, что при массе столешницы с нагрузкой 30-40 кг и скорости движения порядка 25-30 мм/с механические удары в конечных точках могут превышать допустимые значения для кинематических пар, что выражается в ускоренном износе редукторов и появлении люфтов уже после 2-3 тысяч циклов эксплуатации (при ресурсе качественных механизмов 10-15 тысяч циклов).

Указанные ограничения существующих решений формируют техническое противоречие между стоимостью конечного продукта и его функциональной полнотой, что требует поиска схемотехнических и алгоритмических компромиссов. В связи с этим разработка электронного блока управления подъемным механизмом, ориентированного на работу с нагрузкой до 80 кг (что соответствует типовой массе компьютерного стола с установленным монитором, системным блоком и периферией), со скоростью перемещения в диапазоне 25–40 мм/с и возможностью программной калибровки не менее пяти пользовательских положений с точностью до одного миллиметра, представляет собой актуальную инженерно-техническую задачу. Дополнительными требованиями к разрабатываемому устройству, отличающими его от массовых аналогов, являются наличие плавного пуска и торможения с регулируемым профилем ускорения для снижения механических нагрузок. Целью данного исследования является описание принципов построения и структурной схемы такого электронного блока, обеспечивающего как автоматизированное изменение высоты с заданными параметрами, так и гибкую настройку опорных положений.

Функциональными требованиями к разрабатываемому устройству являются:

- автоматизированное изменение высоты столешницы с обеспечением подъема грузоподъемностью до 80 кг (с учетом массы столешницы, монитора, системного блока и периферии) со скоростью перемещения в диапазоне 25–40 мм/с, что соответствует эргономическим требованиям к темпу смены рабочей позы [3];

- возможность программной калибровки и запоминания не менее пяти опорных высот столешницы с точностью позиционирования до одного миллиметра, что позволяет гибко настраивать рабочее место под индивидуальные антропометрические параметры пользователя и различные сценарии работы.

Для достижения обозначенных функциональных требований предлагается реализация электронного блока подъемного механизма для компьютерного стола согласно следующей структурной схеме (рисунок 1).

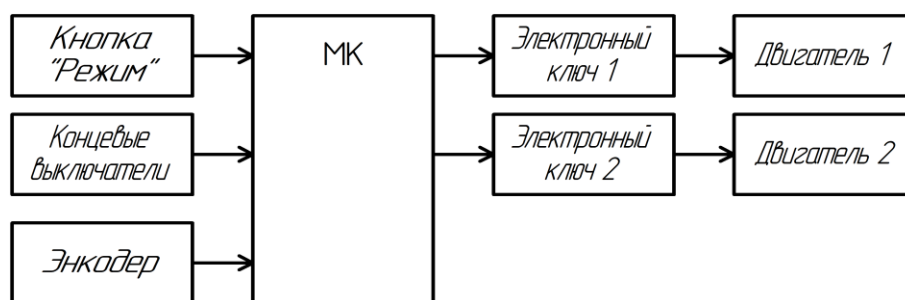


Рисунок 1 – Структурная схема электронного блока подъемного механизма

Для реализации первого функционального требования в качестве исполнительных элементов предлагается выбор двух двигателей постоянного тока с реверсивным режимом работы. При выборе типа исполнительных двигателей для разрабатываемого устройства проведен сравнительный анализ доступных вариантов. Шаговые двигатели, несмотря на высокую точность позиционирования без обратной связи, обладают рядом недостатков для данной предметной области: они работают с заметным акустическим шумом на средних и высоких частотах (что критично для офисного или домашнего применения), имеют меньший КПД (на 15-20 %) по сравнению с коллекторными двигателями постоянного тока при работе в продолжительном режиме и требуют более сложных драйверов с микрошаговым режимом для обеспечения плавности хода. Кроме того, при случайной перегрузке шаговый двигатель может пропускать шаги, что приводит к потере позиционирования без автоматической сигнализации об ошибке. Бесколлекторные двигатели постоянного тока обладают лучшими удельными характеристиками и ресурсом, но их применение требует более сложной системы управления с датчиками Холла или векторным управлением, что избыточно и экономически неоправданно для задачи двухпозиционного перемещения мебельного привода. В связи с этим в качестве оптимального решения выбраны коллекторные двигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов, которые при питании обеспечивают простоту управления, высокий пусковой момент и легкую реверсивность при минимальной стоимости компонентов.

Применение двух двигателей, работающих синхронно, обеспечивает необходимый суммарный крутящий момент для подъема столешницы с различной нагрузкой и повышает отказоустойчивость системы. Требуемый суммарный крутящий момент на выходном валу редуктора определен исходя из заданной предельной нагрузки до 80 кг, распределенной по двум опорам, передаточной характеристики винтовой передачи (типовой шаг винта в мебельных подъемных механизмах составляет 4 мм) и среднего КПД редуктора (порядка 70 %). Оценочные расчеты показывают, что необходимый момент на валу каждого двигателя должен составлять не менее 3,5-4 Н·м с учетом запаса на преодоление сил трения покоя. Достижение такого момента, например, при напряжении питания 24 В обеспечивается двигателями с номинальным током потребления до 5-6 А и пиковым током до 8 А на каждый двигатель, что закладывается в параметры силовой части электронного блока.

Защита от перегрева реализуется аппаратно-программными методами без использования дополнительных датчиков положения. Микроконтроллер контролирует ток потребления каждого двигателя через электронные ключи. При возникновении перегрева работающий двигатель испытывает повышенную нагрузку, и его ток потребления резко возрастает, превышая пороговое значение, в то время как ток второго двигателя падает до нуля. Микроконтроллер при этом сравнивает токи обоих каналов для управления.

Управление питанием каждого двигателя и направлением его вращения осуществляется через независимые полумостовые схемы на базе силовых MOSFET-транзисторов, выполняющих функцию электронных ключей, что позволяет реализовывать плавный пуск и остановку двигателей с помощью широтно-импульсной модуляции, снижая величину пусковых токов и механических ударов. Применение дискретных транзисторов, а не интегральных драйверов двигателей, обусловлено необходимостью работы с токами до 8-10 А на канал в пиковом режиме, что превышает типовые возможности популярных микросхем драйверов (например, L298N ограничена 2 А на канал, а более мощные интегральные решения типа VN3SP30 или L6205 имеют более высокую стоимость и, зачастую, худшие массогабаритные показатели или требования к теплоотводу). Использование MOSFET-транзисторов с низким сопротивлением открытого канала позволяет минимизировать тепловые потери и упростить систему теплоотвода, ограничиваясь, при необходимости, небольшими радиаторами. Данная схемотехника дает возможность реализовывать плавный пуск и остановку двигателей с помощью широтно-импульсной модуляции на частоте 20-25 кГц, что снижает величину пусковых токов, ограничивая их на уровне не более 10 А, и уменьшает механические удары в трансмиссии.

Для защиты механической части и электроприводов в крайних положениях в схему предлагается интеграция концевых выключателей, разрывающих цепь управления и останавливающих движение. Для обеспечения фиксации столешницы в выбранном положении необходимо использование самотормозящихся редукторов червячного типа, входящих в комплектацию двигателей постоянного тока, наиболее распространенных при решении задач подвижности мебельных подъемных механизмов. Червячная передача обладает свойством самоторможения при определенном угле подъема витка (обычно менее 6-8 градусов), что исключает самопроизвольное опускание столешницы под действием силы тяжести при отключенном питании двигателей. Электронная часть при этом лишь обеспечивает коммутацию обмоток для движения вверх или вниз, не требуя постоянной подачи энергии на удержание, что выгодно отличает данное решение от систем на шаговых двигателях, которые часто потребляют ток в статическом режиме для фиксации вала или требуют применения дополнительных электромагнитных тормозов.

Для переключения положений столешницы и установки индивидуальных положений предлагается взаимодействие через подсистему пользовательского интерфейса. В ее состав входят: энкодер (поворотный энкодер с кнопкой) и

отдельная кнопка «Режим». Алгоритм работы предполагает следующую последовательность действий пользователя: нажатие кнопки «Режим» осуществляет выбор настраиваемого пресета (например, «Положение 1», «Положение 2», «Режим стоя», «Режим сидя»). Далее, вращением ручки энкодера пользователь вручную, с помощью двигателей, устанавливает столешницу на желаемую высоту. Кратковременное нажатие на энкодер фиксирует выбранное положение в энергонезависимой памяти микроконтроллера. В дальнейшем для перемещения стола в сохраненную позицию достаточно выбрать соответствующий режим кнопкой «Режим» и активировать перемещение (например, длительным нажатием энкодера).

Центральным управляющим элементом всей системы является микроконтроллер (например, из семейства малогабаритных STM32). В числе задач микроконтроллера [4]: опрос состояний кнопки «Режим» (нажата/отжата), энкодера и концевых выключателей; генерация ШИМ-сигналов для управления электронными ключами; реализация логики плавного разгона и торможения; сохранение и загрузка пресетов из памяти.

На основании обозначенных принципов разработана структурная схема электронного блока (рисунок 1). На схеме демонстрируется взаимодействие модуля управления на базе микроконтроллера с периферийными устройствами ввода (энкодер, кнопка «Режим», концевые выключатели) и силовыми каналами (электронные ключи, двигатели). Алгоритм работы микроконтроллера построен на конечном автомате, состояния которого соответствуют этапам конфигурации и выполнения команд подъема/опускания.

В предложенном устройстве информирование пользователя реализовано через тактильную и кинестетическую обратную связь. Устройство не требует индикации, поскольку базируется на мышечной памяти пользователя и его непосредственном восприятии положения столешницы, что является вполне достаточным для задач персональной настройки рабочего места.

Предложенная структура электронного блока подъемного механизма компьютерного стола обеспечивает не только базовую функцию регулировки высоты, но и расширенные возможности для персонализации рабочих положений, повышая тем самым эргономичность и удобство эксплуатации. Использование микроконтроллера позволяет легко адаптировать логику работы под конкретные требования, а применение двухканальной силовой схемы с защитной периферией гарантирует надежность использования системы.

Литература

- [1]. Ухина, Т.В. Безбарьерная среда в гостиничном бизнесе: проблемы и перспективы / Т. В. Ухина, О. Н. Полякова // Вестник Ассоциации ВУЗов туризма и сервиса. – 2023. – № 1. – С. 225-235.
- [2]. Обзор столов для работы сидя-стоя [Электронный источник]. URL: <https://habr.com/ru/articles/379207?ysclid=mlq7wjh52t543508036>
- [3]. Савельев, М. Ю. Введение в цифровое производство: учебное пособие / М. Ю. Савельев. – Омск: ОмГТУ, 2022. – 88 с.
- [4]. Лукинов, А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учебное пособие для вузов / А. П. Лукинов. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 608 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КВАЗИОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В РАДИОМЕТРИИ И РАДИОВИДЕНИИ МИЛЛИМЕТРОВОГО И СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНОВ

При использовании излучений диапазонов волн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов в технических системах часто добавляют квазиоптические элементы, обеспечивающие те характеристики, которые сложно достижимы при применении традиционных антенно-фидерных систем. Квазиоптика занимает промежуточное положение между геометрической оптикой и волноводной техникой [1]. Её основным объектом является гауссов пучок – электромагнитный пучок с гауссовым распределением амплитуды поля в поперечном сечении. Он характеризуется радиусом перетяжки, длиной области коллимации и углом расходимости. При использовании квазиоптических элементов удастся успешно работать с этими параметрами в соответствии с целевыми задачами. Распространение гауссова пучка и его преобразование в линзах и зеркалах удобно описываются с помощью матричного формализма ($ABCD$ -матриц), что позволяет аналитически рассчитывать параметры тракта. В отличие от замкнутых волноводных структур, квазиоптические системы работают преимущественно в свободном пространстве, а управление излучением осуществляется квазиоптическими элементами: зеркалами, диэлектрическими линзами, поляризационными решётками, фильтрами и рупорными облучателями и т.п (рис. 1).

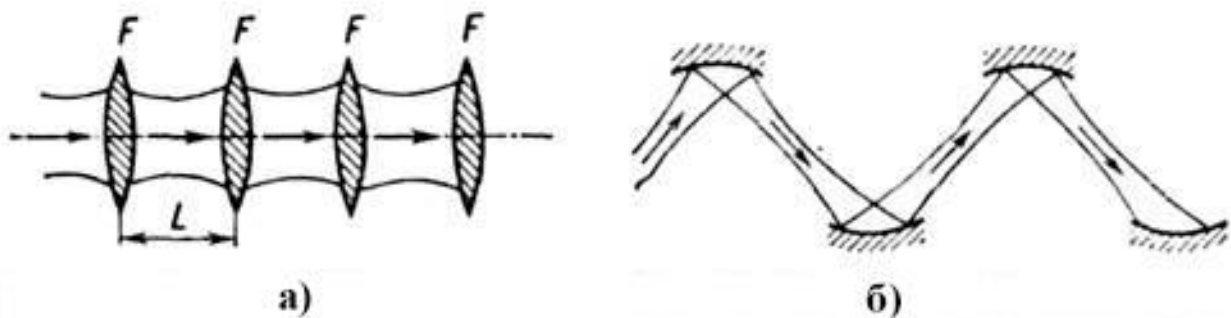


Рисунок 1 – Примеры квазиоптических волноводов:
а – линзовый волновод; б – зеркальный волновод.

Квазиоптические методы отличаются рядом преимуществ: меньшие потери на высоких частотах, широкополосность, простота масштабирования по частоте и удобство реализации матричных и многолучевых систем. В отличие от геометрической оптики, квазиоптика учитывает волновую природу излучения и дифракционные эффекты, что особенно важно при конечных размерах апертур, сравнимых с длиной волны [1].

Рассмотрим ряд характерных задач миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, при которых целесообразно использовать квазиоптические системы.

Первой из них является формирование и преобразование пучков: необходимо обеспечить требуемый радиус перетяжки, минимальную расходимость и заданное распределение поля в апертуре антенны, что достигается использованием зеркальных и линзовых систем, а также оптимизацией параметров рупорных облучателей.

Второй важной задачей является согласование антенны с приёмником или генератором. Несогласование приводит к потерям мощности и росту шумовой температуры системы. Квазиоптический подход позволяет согласовывать поля по амплитуде, фазе и поляризации, минимизируя отражения и паразитные моды.

Третья задача связана с минимизацией потерь и паразитного излучения. В миллиметровом диапазоне потери в металлических волноводах резко возрастают, поэтому использование открытых пучков и высококачественных зеркальных поверхностей снижает омические потери. Дополнительно применяются просветляющие покрытия, температурная стабилизация и экранирование [2].

Четвёртая задача – формирование диаграммы направленности с узкой главной лепестковой областью и низким уровнем боковых лепестков. Оптимизация распределения поля в апертуре позволяет повысить угловое разрешение и уменьшить влияние фонового излучения. Наконец, квазиоптические элементы (поляризационные решётки, частотные фильтры, делители пучка) позволяют реализовывать многоканальные и корреляционные схемы без существенного усложнения конструкции, обеспечивая многоканальность и широкополосность [3].

Одной из областей эффективного применения квазиоптических методов является радиометрия – приём собственного теплового радиоизлучения объектов. Любое тело с температурой выше абсолютного нуля излучает электромагнитные волны, а интенсивность излучения в радиодиапазоне пропорциональна его температуре и коэффициенту излучения поверхности, что позволяет формировать радиотепловые изображения объектов и местности [4]. Для повышения пространственного разрешения радиометрических систем при приемлемых размерах антенн используются миллиметровый (30-300 ГГц) и субмиллиметровый (300 ГГц-3 ТГц) диапазоны [5]. С ростом частоты диаграмма направленности при той же апертуре становится уже, что улучшает угловое разрешение. Именно в этом диапазоне квазиоптический подход оказывается наиболее эффективным.

Пассивная радиометрия работает с предельно низкими уровнями энергии излучения, поэтому малые потери, характерные для квазиоптической системы, является неоспоримым преимуществом. Важной особенностью радиометрических систем миллиметрового диапазона является высокая чувствительность к внутренним шумам приёмного тракта. Любые дополнительные потери во входной цепи приводят к росту эквивалентной шумовой температуры системы и снижению радиометрической

чувствительности. Поэтому квазиоптические элементы должны обладать минимальными коэффициентами отражения и поглощения, а их температурная стабильность играет критическую роль [6].

В активных системах уровни излучений определяются энергией осветителей. Квазиоптические методы в них широко распространены как в элементах подготовки пучка освещения, так и в приемных элементах для фокусирования радиоизображений объектов в заданных условиях освещения. Активные системы широко применяются в радиовидении, досмотровых комплексах охраны, радиолокации миллиметрового диапазона.

В любом случае существенное значение имеет согласование антенн и квазиоптических элементов с электромагнитными трактами по диаграмме направленности и поляризации. Неполное согласование приводит к потерям полезного сигнала и увеличению уровня фонового излучения. Квазиоптический подход позволяет оптимизировать распределение поля в апертуре антенны, минимизировать боковые лепестки диаграммы направленности и обеспечить высокую осевую симметрию пучка, решить задачи формирования пучка в соответствии с поставленной целью.

В авиации радиометрические системы миллиметрового диапазона применяются в системах улучшенного радиовидения [7]. Рабочая частота порядка 94 ГГц обеспечивает работу в атмосферном «окне прозрачности» и приемлемое разрешение при антеннах диаметром 20-40 см. Квазиоптический тракт формирует изображение пространства перед летательным аппаратом, позволяя выполнять посадку при тумане, осадках и в ночных условиях. Разработаны многопиксельные матричные системы без механического сканирования [8].

Таким образом, квазиоптические методы и системы на их основе являются важным направлением развития техники миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов как в радиометрии с изучением пассивных излучений объектов, так и в активном радиовидении и радиолокации.

Литература

- [1]. Гольдсмит, П. Ф. Квазиоптические системы / П. Ф. Гольдсмит; пер. с англ. – М. : Мир, 1998. – 320 с.
- [2]. Есепкина, Н.А. Радиотелескопы и радиометры / Н.А. Есепкина, Д.В. Корольков, Ю.Н. Парийский. – М. : Наука, 1973. – 416 с.
- [3]. Кисляков, А. Г. Пассивная миллиметровая радиолокация / А. Г. Кисляков, М. Б. Шварцман // Зарубежная радиоэлектроника. – 1999. – № 4. – С. 3–18.
- [4]. Белоглазов, И.Н. Корреляционно-экстремальные системы / И.Н. Белоглазов, В.П. Тарасенко. – М. : Советское радио, 1974. – 392 с.
- [5]. Башаринов, А.Е. Радиоизлучение Земли как планеты / А.Е. Башаринов, А. С. Гурвич, С. Т. Егоров. – М. : Наука, 1974. – 188 с.
- [6]. Бакулев, П.А. Радионавигационные системы / П.А. Бакулев. – М.: Радиотехника, 2011. – 272 с.
- [7]. Yujiri, L. Passive Millimeter-Wave Imaging / L. Yujiri, M. Shoucri, P. Moffa // IEEE Microwave Magazine. – 2003. – Vol. 4, No. 3. – P. 39–50.
- [8]. ООО «МВЭЙВ» – Производитель сверхвысокочастотной микроэлектроники [Электронный ресурс] URL: <https://www.emwave.ru> (дата обращения: 10.03.2026).

СТЕНД ПРОВЕРКИ ДЛЯ ТУРБИДИМЕТРА

Обеспечение достоверности контроля мутности жидкостей является актуальной задачей для предприятий водоподготовки, пищевой промышленности и экологического мониторинга. Турбидиметры, как средства измерения, в процессе эксплуатации подвержены влиянию различных деструктивных факторов: загрязнение оптики, дрейф характеристик источников излучения, девиация свойств приемников. Для поддержания их в работоспособном состоянии необходимо проведение регулярных проверок с использованием образцовых сред или специализированного оборудования [1].

Анализ доступных на рынке решений показывает, что большинство существующих стендов для проверки мутномеров представляют собой либо стационарные лабораторные комплексы, работающие с фиксированными значениями мутности (на основе стандартных образцов формазина), либо требуют ручного приготовления суспензий. Такой подход имеет ряд недостатков: трудоемкость, невозможность оценить динамические характеристики прибора (линейность, гистерезис) в автоматическом режиме адаптации для работы в условиях ограниченного пространства или при питании от бортовой сети транспортных средств (например, +27 В).

В связи с этим, актуальной научно-технической задачей является разработка компактного стенда, который позволял бы автоматизировать процесс проверки турбидиметров путем формирования суспензий с программно-управляемым изменением концентрации. Целью данной работы является формирование концепции и обоснование структурной схемы такого стенда, отвечающего современным требованиям к мобильности, точности и удобству эксплуатации.

Для достижения поставленной цели необходимо реализовать устройство, удовлетворяющее следующим функциональным и техническим требованиям:

1. Формирование в рабочей жидкости суспензий загрязнителя по линейному закону. Данное требование является основным для проверки линейности передаточной характеристики исследуемого турбидиметра. Закон дозирования должен быть управляемым для возможности реализации различных сценариев испытаний (нарастание, спад, циклы).

2. Поддержание гомогенности среды в течение всего цикла измерений. Для исключения осаждения крупных частиц и обеспечения репрезентативности пробы в зоне контроля необходимо непрерывное перемешивание жидкости в рабочей емкости.

3. Реализация интуитивно понятного человеко-машинного интерфейса. Управление режимами работы стенда (запуск/остановка цикла, задание скорости изменения концентрации) должно осуществляться с помощью тактовых кнопок и энкодеров, а визуализация параметров – на текстовом жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ).

4. Конструкция стенда должна предусматривать его работоспособность при подключении к источнику постоянного напряжения +27 В, что характерно для автомобильного и специального транспорта, а также для многих промышленных щитов питания.

Ключевой дилеммой при проектировании подобных систем является необходимость контроля реальной концентрации суспензии в каждый момент времени. Открытая система управления (задал скорость дозатора – получил предполагаемую мутность) обладает существенным недостатком: она не учитывает возможные флуктуации, вызванные изменением вязкости жидкости, комкованием реагента или нестабильностью работы самого дозатора. Внедрение эталонного датчика мутности позволяет замкнуть контур управления и обеспечить высокую точность реализации заданного закона изменения загрязнения за счет обратной связи.

Однако простое добавление второго датчика в измерительную зону может привести к негативным последствиям. Любое тело, погруженное в поток, создает зоны турбулентности и затенения [2]. Если проверяемый и эталонный датчики будут расположены в непосредственной близости, их показания могут искажаться из-за взаимного влияния на гидродинамику и распределение частиц в световом пучке электромагнитных волн. Кроме того, эталонный датчик сам по себе является прецизионным прибором, который необходимо беречь от постоянного контакта с абразивной суспензией для сохранения его калибровки.

В разрабатываемой структурной схеме предлагается реализовать конструктивно-сменный узел эталонного датчика. Данный подход подразумевает наличие в гидравлической системе стенда двух идентичных посадочных мест. Первое место предназначено для установки испытуемого прибора. Второе место, гидравлически связанное с общим объемом, но разнесенное в пространстве для исключения взаимных помех, используется для установки эталонного датчика исключительно на этапе калибровки и аттестации самого стенда. В рабочем режиме (при проведении рядовых проверок) это место закрывается специальной аэродинамической заглушкой, имитирующей отсутствие препятствия, что позволяет на этапе пуска наладки снять точную характеристику «сигнал дозатора – реальная мутность» и в дальнейшем использовать полученные данные для формирования суспензий с высокой точностью без риска повреждения дорогостоящего эталонного оборудования.

В соответствии со сформулированными требованиями и принятыми техническими решениями была разработана структурная схема стенда, которая отражает взаимодействие всех его функциональных узлов (рисунок 1). Центральным звеном устройства является микроконтроллерный модуль, построенный на базе современного 8- или 32-разрядного микроконтроллера (МК). Выбор данного элементного базиса обусловлен необходимостью гибкого управления периферией, обработки сигналов с органов управления и формирования управляющих воздействий на исполнительные механизмы.

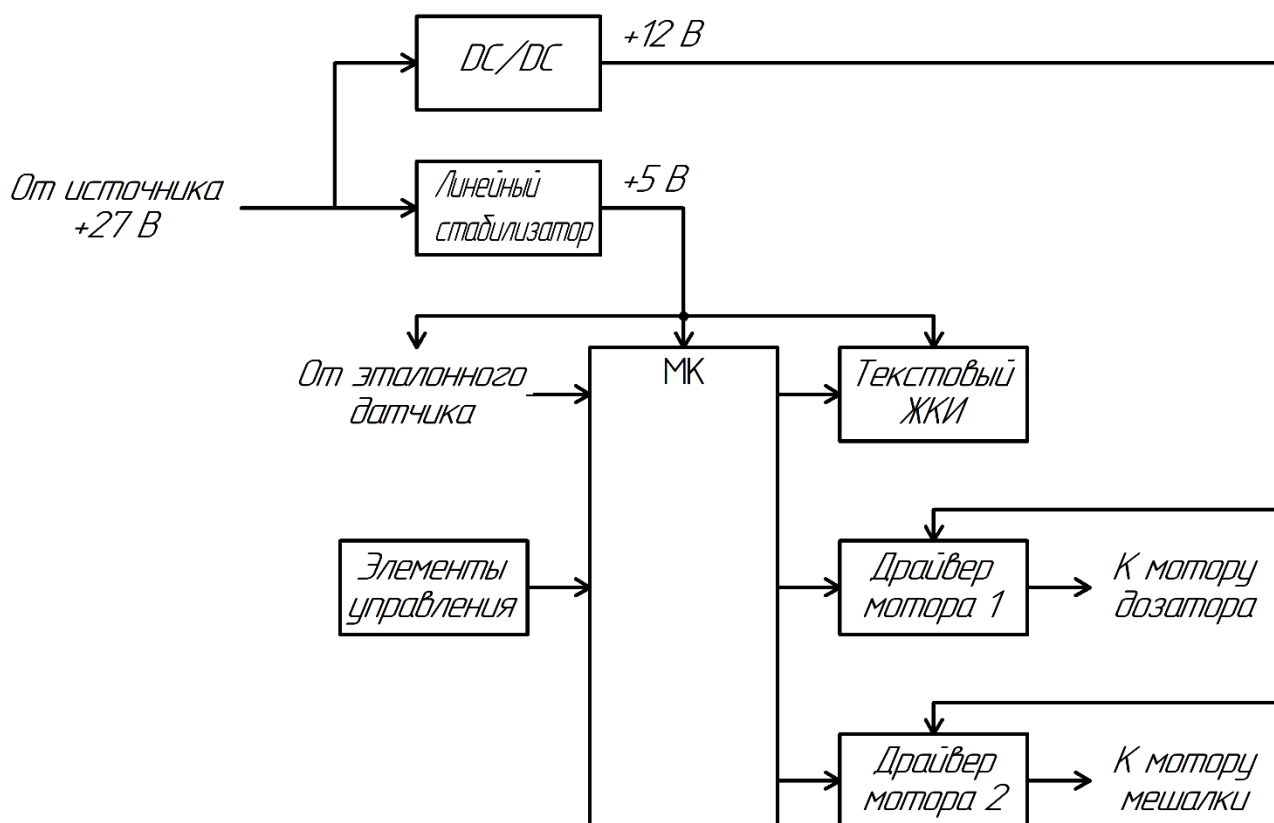


Рисунок 1 – Структурная организация стенда проверки для турбидиметра

Микроконтроллер выполняет опрос элементов управления, к которым относятся тактовые кнопки и вращающийся энкодер. Данный интерфейс позволяет оператору перемещаться по иерархическому меню, задавать целевые параметры испытаний (длительность цикла, максимальную концентрацию) и инициировать пуск или остановку процесса. Информация о текущем состоянии стенда (заданная и текущая мутность, скорость дозатора, время до окончания цикла) выводится на текстовый ЖКИ, подключенный непосредственно к выводам микроконтроллера.

Для формирования питающих напряжений, необходимых для работы различных компонентов схемы, входное напряжение +27 В подается на два параллельно включенных преобразователя. Первый представляет собой DC/DC преобразователь понижающего типа, формирующий стабилизированное напряжение +12 В. Данное напряжение используется для питания силовой части схемы – электродвигателей дозатора и мешалки. Второй преобразователь выполнен по схеме линейного стабилизатора, который выдает напряжение +5 В. Выбор линейного стабилизатора для этого канала обусловлен необходимостью получения минимальных пульсаций для питания чувствительной аналоговой и цифровой части: микроконтроллера, эталонного датчика и текстового ЖКИ.

Управление исполнительными механизмами осуществляется через специализированные драйверы моторов. Микроконтроллер генерирует сигналы управления (например, ШИМ-сигнал для регулировки скорости или логические уровни для задания направления вращения), которые поступают на вход первого и второго драйверов. Первый драйвер отвечает за работу мотора дозатора.

Дозатор представляет собой прецизионный перистальтический насос или шнековое устройство, которое по командам с МК дозирует концентрированную суспензию (например, каолиновую взвесь) в бак с чистой водой. Изменяя скорость вращения мотора дозатора по линейному закону, микроконтроллер добивается соответствующего линейного изменения мутности среды. Второй драйвер управляет мотором мешалки. В отличие от дозатора, мешалка может работать в более простом режиме: либо постоянно включена, либо вращается с фиксированной скоростью для обеспечения равномерного распределения частиц по всему объему бака.

В результате проведенной работы была разработана и обоснована структурная схема стенда для проверки турбидиметров, ориентированного на эксплуатацию в условиях ограниченных ресурсов и при питании от источника постоянного напряжения +27 В. Предложенное техническое решение включает в себя гидравлический тракт с управляемым дозатором и мешалкой, а также микроконтроллерную систему управления с удобным интерфейсом на основе кнопок, энкодера и ЖКИ-дисплея. Отдельное внимание в работе уделено вопросу метрологического обеспечения. Предложена конфигурация со сменным эталонным датчиком, которая позволяет производить калибровку стенда без риска повреждения эталонного оборудования и без деструктивного влияния на гидродинамику в зоне контроля испытуемого прибора. Дальнейшие направления исследований будут связаны с детальной проработкой электрической принципиальной схемы, выбором конкретной элементной базы и разработкой алгоритмического обеспечения для реализации различных профилей изменения мутности.

Литература

- [1]. Повышение эффективности функционирования систем управления процессами водоподготовки / Н. М. Олиферович, Д. А. Гринюк, И. Г. Сухорукова, И. О. Оробей // Труды БГТУ. Серия 3. Физико-математические науки и информатика. – 2024. – № 2. – С. 70-79.
- [2]. Устройство для измерения параметров морской воды в прибрежной зоне / Д. С. Агеев, D. S. Ageev, В. О. Полубоярцев [и др.] // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. – 2023. – № 6. – С. 128.
- [3]. Пузырёв, И. П. Микроконтроллеры: учебное пособие / И. П. Пузырёв, А. И. Одинец, К. В. Семенов. – Омск: ОмГТУ, 2022. – 116 с.

МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПАРКОВКИ

Современные мегаполисы и крупные города сталкиваются с беспрецедентным ростом автомобилизации населения, что влечет за собой целый комплекс инфраструктурных проблем. Транспортные заторы, дефицит свободного пространства и нерациональное использование городских территорий стали привычными атрибутами повседневной жизни. По данным многочисленных исследований [1], значительная доля трафика в центральных районах городов формируется не транзитным транспортом, а водителями, находящимися в процессе поиска свободного парковочного места. Этот процесс, на первый взгляд кажущийся неизбежным злом, на самом деле представляет собой колоссальный резерв для повышения эффективности транспортной системы в целом. Хаотичное перемещение автомобилей в поисках места для стоянки создает дополнительные помехи основному потоку, провоцирует аварийные ситуации и увеличивает время в пути для всех участников движения без исключения. Решение проблемы видится не столько в расширении парковочного пространства, сколько в интеллектуализации процессов управления им.

Проблематика существующей организации парковочного пространства носит системный характер и не исчерпывается исключительно неудобствами для водителей. С точки зрения городского планирования и экономики, неэффективное использование парковочных ресурсов приводит к прямым убыткам: парковочные места простаивают пустыми в одних зонах, пока водители безуспешно ищут место в других, перегруженных. Владельцы коммерческой недвижимости (экономические субъекты торгово-развлекательной направленности, бизнес-центры) теряют клиентов, которые отказываются от посещения из-за сложностей с парковкой. Управляющие компании жилых комплексов сталкиваются с конфликтами между жильцами из-за ограниченного количества машино-мест. Кроме того, существующие системы, как правило, ориентированы на констатацию факта занятости или свободы места, но не предлагают инструментов для активного управления доступом, резервирования или дифференциации доступа для различных категорий пользователей.

Наиболее распространенным и исторически сложившимся подходом является организация парковок со шлагбаумом на въезде и выезде без какого-либо контроля внутри периметра. Водитель получает билет на въезде и оплачивает время пребывания при выезде. Данный подход фиксирует лишь факт въезда и выезда автомобиля, но не предоставляет информации о том, где именно внутри парковки имеются свободные места. Водитель вынужден самостоятельно курсировать по рядам в поисках свободного «окна», что создает заторы внутри

самого паркинга и повышает расход топлива. Более продвинутым решением являются системы с датчиками присутствия над каждым местом, которые собирают информацию на локальный контроллер и выводят данные на табло при въезде, указывая количество свободных мест на этаже или в секторе. Такие системы уже частично решают задачу навигации, однако они, как правило, являются чисто информационными и не позволяют управлять доступом к конкретному месту. Водитель, увидев, что на этаже есть места, все равно вынужден искать их самостоятельно. Наконец, существуют мобильные приложения, позволяющие бронировать места на частных парковках, однако они часто привязаны к конкретному оператору и не интегрированы с физическими устройствами контроля доступа на месте, что приводит к коллизиям, когда на одно забронированное место претендуют несколько водителей или его занимает тот, кто не пользовался приложением.

Проведенный анализ показывает, что ключевым недостатком большинства существующих решений является их фрагментарность: информационные системы существуют отдельно от систем контроля доступа, а системы бронирования не интегрированы с датчиками присутствия. Это обуславливает актуальность разработки комплексного подхода, основанного на создании сети интеллектуальных устройств, каждое из которых управляет отдельным парковочным местом, но объединенных в единую систему с централизованным сервером и клиентским интерфейсом. Целью настоящего исследования является описание метода организации такого комплекса автоматизированной парковки, базирующегося на совокупности автономных устройств управления парковочным местом, структура и принцип работы которых были рассмотрены в работе «Устройство управления парковочным местом» [2]. В данной статье основное внимание уделяется сетевым взаимодействиям, логике централизованного управления и преимуществам, которые дает такой системный подход.

Предлагаемый метод организации комплекса автоматизированной парковки базируется на архитектуре «клиент-сервер» с использованием проводных или беспроводных каналов связи. Физическим базисом системы выступает совокупность устройств управления парковочным местом, каждое из которых является интеллектуальным агентом, обладающим собственным микроконтроллером, набором датчиков и исполнительных механизмов. Такое устройство способно автономно определять наличие автомобиля на месте с помощью ультразвукового дальномера, управлять подъемом и опусканием шлагбаума (или иного запирающего механизма) посредством сервопривода, идентифицировать конкретный автомобиль по RFID-метке, а также индизировать статус места с помощью светодиодных индикаторов красного и зеленого цвета [2]. Ключевым дополнением, превращающим отдельное устройство в элемент единой системы, является наличие у него интерфейса связи с центральным сервером.

Организация информационного обмена может быть реализована различными способами в зависимости от масштабов парковки и требуемой

пропускной способности. Для крупных многоуровневых паркингов наиболее целесообразным представляется использование проводной сети Ethernet, построенной по топологии «звезда» или «общая шина» с коммутацией. Каждое устройство управления парковочным местом подключается к ближайшему сетевому коммутатору, которые, в свою очередь, объединяются и подключаются к центральному серверу. Альтернативой, особенно для открытых парковок или уже существующих объектов, где прокладка кабеля затруднена, может выступать беспроводная сеть на базе протоколов Wi-Fi или ZigBee. В этом случае каждое устройство оснащается соответствующим радиомодулем, а сбор данных осуществляется через беспроводные шлюзы. Однако беспроводной подход предъявляет повышенные требования к энергоснабжению устройств и защите радиоканала от помех [3].

Центральный сервер выполняет функции диспетчера и базы данных. Он получает от отдельных устройств асинхронные уведомления, аккумулируя информацию о текущем статусе каждого парковочного места: свободно, занято, зарезервировано, неисправно. На основе этих данных сервер формирует карту занятости парковки в реальном времени. Второй ключевой функцией сервера является обработка запросов от пользователей, поступающих через веб-интерфейс или мобильное приложение. Пользователь может забронировать свободное место на определенное время. При получении запроса сервер изменяет статус выбранного места на «зарезервировано» в своей базе данных и передает команду соответствующему устройству управления изменить режим индикации (например, перевести светодиод в режим мигания красным). По прибытии на парковку водитель подносит RFID-метку (которая может быть выполнена в виде брелока, карты или наклейки на стекло) к считывателю устройства. Устройство идентифицирует метку, сверяет ее идентификатор с базой данных, разрешенных для данного места (которая может быть частично или полностью синхронизирована с сервером) и, в случае успеха, подает команду на открытие шлагбаума. После заезда автомобиля ультразвуковой датчик фиксирует его присутствие, и устройство отправляет на сервер обновленный статус «занято».

Можно отметить ряд сравнительных преимуществ предлагаемого метода организации сети. Во-первых, достигается полная прозрачность парковочного пространства. В отличие от систем, лишь подсчитывающих въезжающие и выезжающие машины, предлагаемое решение знает точное состояние каждого места в любой момент времени. Это позволяет направлять водителя непосредственно к свободному месту, а не в сектор, где они «теоретически должны быть». Во-вторых, реализуется функция гарантированного бронирования. Пользователь может быть уверен, что по приезду его место будет свободно и недоступно для других, поскольку шлагбаум не откроется постороннему автомобилю, не прошедшему идентификацию. В-третьих, система обеспечивает высокий уровень безопасности и контроля доступа. RFID-идентификация позволяет создать белые списки для резидентов (жильцов дома, арендаторов офиса) и ограничить доступ для посторонних в определенные часы.

В-четвертых, открываются широкие возможности для аналитики и оптимизации. Сервер накапливает данные о загрузке парковки в различные дни и часы, о средней продолжительности стоянки, о частоте использования мест конкретными пользователями. Эти данные могут быть использованы для гибкого ценообразования, планирования расширения парковки или оптимизации маршрутов движения внутри нее.

Целесообразность реализации предлагаемого метода подтверждается также его масштабируемостью и модульностью. Выход из строя одного устройства управления парковочным местом не приводит к коллапсу всей системы – перестает функционировать лишь одно место, тогда как остальные продолжают работу в штатном режиме. Расширение парковки сводится к установке новых устройств и их регистрации на центральном сервере, не требуя перестройки всей инфраструктуры. Кроме того, использование открытых протоколов обмена данными (например, TCP/IP поверх Ethernet) позволяет интегрировать разработанный комплекс с внешними системами, такими как городские навигационные сервисы, системы оплаты или биллинговые платформы.

Синхронизация данных между сервером и оконечными устройствами в условиях возможных сбоев связи может быть достигнута с использованием гибридного подхода: в штатном режиме устройство работает под управлением сервера, получая от него команды на смену статуса и списки авторизованных RFID-меток. Однако каждое устройство должно обладать энергонезависимой памятью, хранящей актуальную копию списка резидентов и параметров резервирования на ближайшие несколько часов. В случае потери связи с сервером устройство переходит в автономный режим, продолжая идентификацию автомобилей по сохраненным спискам и фиксируя все события (въезды, выезды, попытки доступа) в локальном журнале.

Таким образом, предлагаемый метод организации комплекса автоматизированной парковки на основе сети интеллектуальных устройств управления отдельными местами позволяет преодолеть недостатки существующих фрагментарных решений. Централизованный сбор данных с каждого места, возможность удаленного бронирования и адресного управления доступом на основе RFID-идентификации создают принципиально новый уровень сервиса для водителей и эффективности для операторов парковок.

Литература

- [1]. Построение городской транспортной системы на базе интеллектуальных технологий / Е. М. Волкова, Е. М. Volkova, В. М. Колесова, V. M. Kolesova // Азиатско-тихоокеанский регион: экономика, политика, право. – 2021. – № 1. – С. 38-52.
- [2]. Михайлова В.А. Устройство управления парковочным местом // В.А. Михайлова, рук. М.А. Амелина. Сборник XXII Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика» 23-24 апреля 2025 – Смоленск Издательство «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, т.2. – 2025. 145-147 с.
- [3]. Баланов, А. Н. Цифровые платформы и системы: учебное пособие для вузов / А. Н. Баланов. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 452 с.

МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ КАРТ МЕСТНОСТИ

Фотограмметрия – это наука, изучающая способы для определения форм, размеров, положения в пространстве, изменение с течением времени изучаемого объекта при помощи фотографических изображений [1, 2].

Получение характеристик изучаемого объекта происходит при помощи одного или нескольких изображений, снятых с различных точек в пространстве. В случае, если при изучении объекта используется одно изображение, то данный метод называется фотограмметрическим.

Одним из разделов фотограмметрии является фототопография, занимающаяся созданием карт и планов местности в цифровом виде [3]. Различают наземную фототопографическую и аэрофототопографическую съемку. Наземная фототопографическая съемка используется в высокогорной и горной, преимущественно открытой местности со сложными формами рельефа и, в особых случаях, в равнинных районах для инженерных изысканий. На сравнительно небольших участках данный метод может быть использован как самостоятельный метод съемки, а при картографировании больших площадей используется в сочетании с другими методами съемок.

Для проведения аэрофотосъемки используется аэрофотоаппарат (АФА) [4]. АФА представляет из себя сложную систему, позволяющую снимать в условиях вибрации, толчков и перегрузок. Применяемые АФА классифицируют по назначению, принципу действия, типу используемых фотоматериалов и величине фокусного расстояния. Так же АФА подразделяют на цифровые и аналоговые. В цифровых используется ПЗС матрица для считывания полученной информации, в то время как аналоговые могут быть кадровыми, щелевыми или панорамными.

Исходные изображения, полученные с помощью аэрофотосъемки и наземной фототопографической съемки подлежат оцифровке и обработке [3].

Основными видами обработки изображений является оптимизация яркости, цветокоррекция и цифровая фильтрация, после чего полученные изображения (снимки) могут пройти через такие этапы, как реставрацию, оптимизацию и извлечение данных. Основной целью подобной обработки является исправление ошибок, полученных как при съемке, так и при оцифровке изображения местности.

Целью исследования статьи является изучение методов цифровой обработки изображения местности с целью удаления с изображения таких эффектов, как смазывание и шум.

Для исследования возьмем изображение горы Эльбрус, сфотографированного с горы Чегета, и изображение горы Эльбрус, сделанное с космической орбиты Земли (рис. 1).

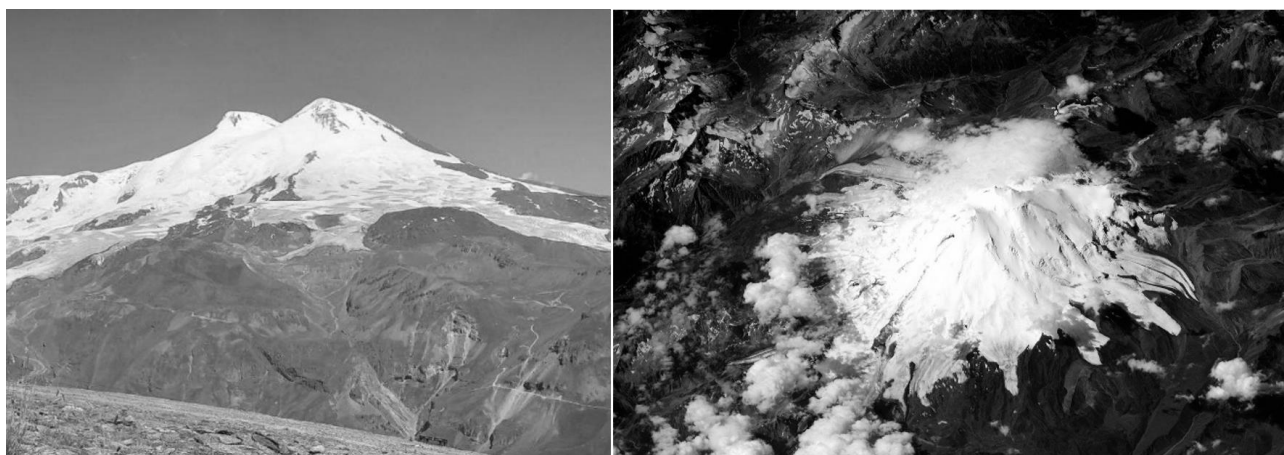


Рисунок 1 – Вид на Эльбрус

Преобразование обоих изображений будет выполнено в программе MATLAB R2019a. Для этого были написаны две программы. Первая программа позволит создать имитацию размытия снимка в движении (рис. 2), а вторая – для имитации расфокусировки (рис. 3) [5].

```

Untitled2.m  +
1 - clc
2 - clear
3 - %I = im2double(imread('cameraman.tif'));%загрузка картинки
4 - I = im2double(imread('D:\B.jpg'));%загрузка картинки
5 - PSF1 = fspecial('motion',25,15);%смазывание
6 - Blurred=imfilter(I, PSF1, 'conv', 'circular');%функция свертки ядра и изображения
7 - noise_mean = 0;%подмешиваем шум
8 - noise_var = 0.001;
9 - blurred_noisy = imnoise(Blurred,'gaussian',noise_mean, noise_var);
10 - figure(1);imshow(Blurred);title('Blurred and noise')%отображение
  
```

Рисунок 2 – Программа для имитации размытия снимка в движении

```

Untitled2.m  +
1 - clc
2 - clear
3 - %I = im2double(imread('cameraman.tif'));%загрузка картинки
4 - I = im2double(imread('D:\A.jpg'));%загрузка картинки
5 - PSF1 = fspecial('disk',25);%смазывание
6 - Blurred=imfilter(I, PSF1, 'conv', 'circular');%функция свертки ядра и изображения
7 - noise_mean = 0;%подмешиваем шум
8 - noise_var = 0.001;
9 - blurred_noisy = imnoise(Blurred,'gaussian',noise_mean, noise_var);
10 - figure(1);imshow(Blurred);title('Blurred and noise')%отображение
  
```

Рисунок 3 –. Программа для имитации расфокусировки изображения

В результате преобразования изображения с имитацией размытия в движении мы получаем следующее нечеткое изображение (рис. 4). Однако в случае, если преобразовать по второй программе, мы получили еще менее четкое изображение (рис. 5).

В результате вышеописанных преобразований можно сделать вывод, что при работе с картами местности такое искажение как размытие не создает больших трудностей для определения объекта на фото. В случае, если изображение было снято с расфокусировкой, сложнее определить объект на фото. Наиболее показательным будет правая половина рисунка 5, снятая с космической орбиты. На данной половине сложнее определить количество пиков горы, также на ней сложнее визуально определить, что это гора, в отличие от левой половины изображения, снятого с поверхности Земли.

Однако при работе с картами местности не всегда есть возможность переснять неудачные снимки. В подобных ситуациях необходимо исправить подобные ошибки. Для этого мы к первым двум программам прибавим следующий код (рис. 6).

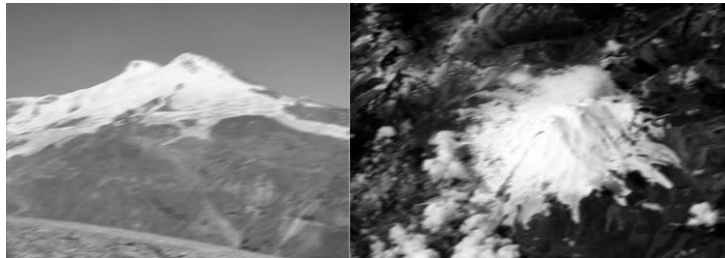


Рисунок 4 – Вид на Эльбрус с имитацией размытия в движении

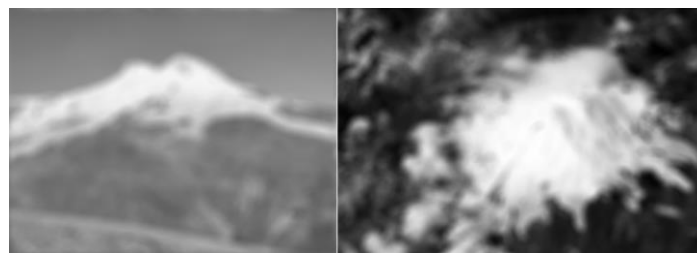


Рисунок 5 – Вид на Эльбрус с имитацией расфокусировки изображения

```

Untitled2.m* x +
9 - estimated_nsr = (noise_var / var(I(:)));%отношение сигнал и шума
10 - wnr3 = deconvwnr(Blurred, PSF1, estimated_nsr);
11 - figure(5), imshow(wnr3);title('Wiener method');
12 - Tix=deconvreg(blurred_noisy,PSF1);
13 - figure(6), imshow(Tix);title('Tikhonovs image');
14 - SD=deconvblind(blurred_noisy,PSF1,10);
15 - figure(7), imshow(SD);title('Images Blind Deconvolution');
16 - LR=deconvlucy(blurred_noisy,PSF1,10);
17 - figure(8), imshow(LR);title('images of Lucy-Richardson');
18 - cond(PSF1)

```

Рисунок 6 – Программа для исправления искажений в изображении

Данный код позволяет восстановить изображения следующими способами:

1. Метод Винера – данный метод позволяет рассматривать полученные изображение и шум как случайные процессы и находит коэффициент f' для неискаженного изображения f для того, чтобы среднеквадратическое отклонение этих величин получилось минимальным.

2. Метод Тихонова – цель данного метода заключается в формулировке изображения в матричном виде с последующим решением соответствующей задачи оптимизации.

3. Метод слепой деконволюции – данный метод позволяет восстанавливать изображения благодаря приближенному вычислению функции точки рассеяния с последующей обратной сверткой сигналов.

4. Метод Люси-Ричардсона – метод, в котором предполагается, что наблюдаемое изображение сформировано под воздействием пуассоновского шума.

Результаты восстановления исходного изображения представлены на рис. 7 и рис. 8.

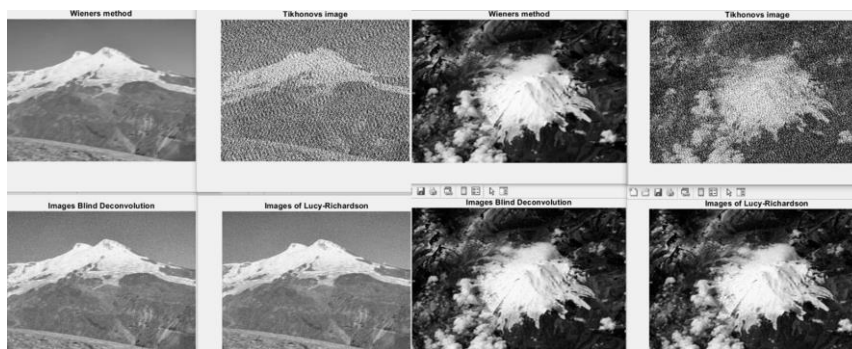


Рисунок 7 – Восстановление изображения после применения размытия

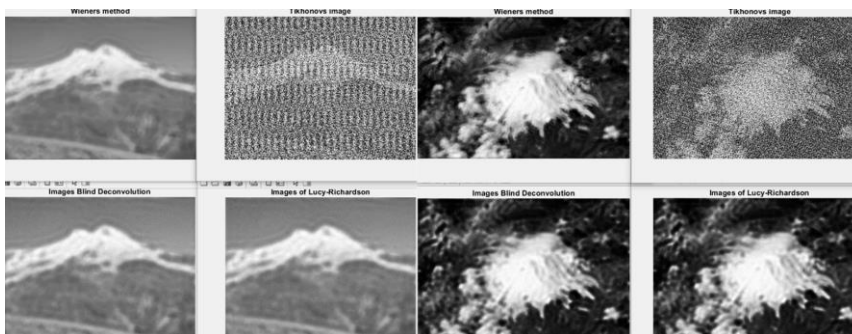


Рисунок 8 – Восстановление изображения после применения расфокусировки

После применения восстановления изображения метод Винера является лучшим из представленных и хорошо восстанавливает изображение как после размытия, так и после расфокусировки.

Метод Тихонова смог справиться только с эффектом размытия и по сравнению с другими методами восстанавливает изображение хуже всех.

Метод слепой деконволюции и метод Люси-Ричардсона позволяют примерно в равной степени хорошо восстановить исходное изображение, пусть и с большей зернистостью изображения.

В результате проведенного исследования наименьшее искажение изображения достигается с помощью размытия в движении, а лучшим методом восстановления изображения является метод Виннера. В ходе исследования не удалось найти метод, способный полностью удалить такие эффекты как смазывание и шум. В дальнейшем планируется более детально подойти к вопросу обработки и восстановления изображений в фотограмметрии.

Литература

- [1]. Тюкленкова Е.П., Фотограмметрия и дистанционное зондирование. Учебное пособие. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 112 с.
- [2]. Карманов А.Г., Фотограмметрия. Учебное пособие. – Санкт-Петербург, 2012. – 171с.
- [3]. Краснопевцев Б.В., Фотограмметрия. Учебное пособие. – Москва, 2008. – 160 с.
- [4]. Орбинский В.С., Основы аэрофотогеодезии. Учебное пособие. – Владимир, 2005. – 72с.
- [5]. Ежова К.В., Моделирование и обработка изображений. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2011. – 93с.

СРАВНЕНИЕ ПРОТОКОЛОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

Современные микропроцессорные системы представляют собой сложные комплексы, в которых множество компонентов – датчики, контроллеры, исполнительные устройства и модули памяти – должны эффективно взаимодействовать друг с другом. Основой этого взаимодействия служат протоколы передачи данных, среди которых доминирующее положение занимают последовательные интерфейсы. В отличие от параллельной связи, требующей большого количества проводников, последовательные протоколы обеспечивают обмен информацией с минимальным числом сигнальных линий, что критически важно при проектировании компактных и экономичных устройств.

Актуальность данного исследования обусловлена многообразием существующих протоколов и отсутствием универсального решения, подходящего для всех задач. Инженеру необходимо учитывать множество факторов: требуемую скорость передачи, расстояние между устройствами, допустимую сложность схемотехники, энергопотребление и стоимость реализации. Ошибочный выбор интерфейса может привести к нестабильной работе системы, избыточным аппаратным затратам или невозможности масштабирования.

Целью данной работы является системный анализ и сравнение наиболее распространенных протоколов последовательной связи – UART, I2C и SPI, а также рассмотрение специализированных интерфейсов CAN и 1-Wire для определения оптимальных областей их применения в микропроцессорных системах.

1. Общая характеристика исследуемых протоколов

1.1 UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)

UART является одним из старейших и наиболее простых протоколов последовательной связи. Его ключевая особенность – асинхронный режим работы, при котором передатчик и приемник не используют общий тактовый сигнал. Синхронизация обеспечивается предварительным согласованием скорости передачи (бодрейта) и специальной структурой кадра.

Каждый кадр данных начинается со стартового бита, который сигнализирует приемнику о начале передачи. За ним следуют 5-9 бит данных (обычно 8), опциональный бит четности для обнаружения ошибок и один или два стоповых бита, обозначающих завершение кадра. Аппаратная реализация UART требует всего двух линий: TX (передача) и RX (прием), что обеспечивает полнодуплексный режим связи, но ограничивает топологию исключительно соединением «точка-точка».

1.2 I2C (Inter-Integrated Circuit)

Протокол I2C, разработанный компанией Philips, предназначен для соединения интегральных схем на печатной плате и использует всего две двунаправленные линии: последовательных данных (SDA) и синхронизации (SCL). Это синхронный протокол с полудуплексным режимом передачи, работающий по принципу "ведущий-ведомый".

Уникальной особенностью I2C является аппаратная адресация устройств. Каждое подключаемое устройство имеет уникальный 7- или 10-битный адрес, что позволяет размещать на одной шине до 127 устройств. Протокол включает механизмы арбитража для разрешения коллизий при одновременной передаче от нескольких ведущих устройств и подтверждения приема (ACK/NACK) для контроля целостности данных.

1.3 SPI (Serial Peripheral Interface)

SPI, изначально разработанный компанией Motorola, представляет собой синхронный протокол, обеспечивающий максимальную скорость передачи среди рассматриваемых интерфейсов. Для организации связи используются четыре сигнальные линии: SCLK (тактовый сигнал от ведущего), MOSI (выход ведущего, вход ведомого), MISO (вход ведущего, выход ведомого) и SS (выбор ведомого).

Отсутствие встроенной адресации компенсируется использованием индивидуальных линий выбора для каждого подключаемого устройства, что при большом количестве периферии увеличивает требуемое количество выводов микроконтроллера. Полнодуплексный режим позволяет одновременно передавать и принимать данные, что особенно ценно для приложений реального времени.

1.4 Специализированные протоколы

CAN (Controller Area Network) разработан для автомобильной промышленности и отличается высокой надежностью в условиях электромагнитных помех. Дифференциальная передача сигнала по двум линиям (CAN_H и CAN_L) обеспечивает высокую помехоустойчивость, а встроенные механизмы обнаружения и коррекции ошибок делают этот протокол незаменимым для критически важных приложений.

1-Wire – уникальный протокол, позволяющий осуществлять связь и питание устройств по единственному проводнику. Технология паразитного питания особенно востребована в системах, где подвод дополнительного питания затруднен, однако ограниченный выбор совместимых устройств сужает область применения.

2. Сравнительный анализ характеристик

2.1 Система критериев оценки

Для объективного сравнения протоколов необходимо выделить ключевые параметры, определяющие их применимость в различных условиях. Основными критериями выступают: скорость передачи данных, количество необходимых сигнальных линий, режим связи (дуплексность), максимальное расстояние передачи, помехоустойчивость, аппаратная сложность и энергоэффективность.

2.2 Сравнительный анализ характеристик протоколов

Для объективного сравнения протоколов необходимо рассмотреть их ключевые параметры, определяющие применимость в различных условиях.

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) использует две сигнальные линии (TX и RX) и поддерживает полнодуплексный режим передачи. Протокол работает асинхронно, что исключает необходимость в отдельной линии тактового сигнала, однако ограничивает топологию соединением «точка-точка». Типичная скорость передачи составляет до 115,2 кбит/с, но может достигать 5 Мбит/с в оптимальных условиях. При использовании преобразователей уровня (RS-232) дальность связи может достигать 15 метров. Адресация аппаратно не поддерживается, а помехоустойчивость оценивается как низкая.

I2C (Inter-Integrated Circuit) функционирует на двух линиях (SDA и SCL) в полудуплексном режиме. Синхронная передача данных обеспечивается тактовым сигналом ведущего устройства. Протокол поддерживает многоточечную топологию с аппаратной 7- или 10-битной адресацией, что позволяет подключать до 127 устройств на одну шину. Скорость варьируется от 100 кбит/с в стандартном режиме до 3,4 Мбит/с в высокоскоростном. Основное ограничение – работа в пределах печатной платы (менее 1 метра) из-за чувствительности к паразитной емкости.

SPI (Serial Peripheral Interface) требует четырех сигнальных линий (SCLK, MOSI, MISO, SS) и обеспечивает полнодуплексную синхронную передачу. Это самый быстрый из рассматриваемых протоколов: типичная скорость достигает 50 Мбит/с, а в современных реализациях может превышать 100 Мбит/с. Адресация реализуется аппаратно через индивидуальные линии выбора ведомых (SS), что при большом количестве устройств увеличивает требуемое количество выводов микроконтроллера. Дальность связи ограничена внутрисхемными соединениями [1, 2].

CAN (Controller Area Network) использует две линии, организованные как дифференциальная пара (витая проводка), что обеспечивает полудуплексный режим и исключительно высокую помехоустойчивость. Асинхронная передача данных поддерживает аппаратную адресацию (11- или 29-битные идентификаторы). Скорость передачи может достигать 1 Мбит/с (до 8 Мбит/с в версии CAN FD), при этом максимальная дальность связи составляет до 1000 метров благодаря дифференциальной передаче сигнала.

2.3 Анализ полученных данных

Анализ таблицы позволяет выявить четкую специализацию каждого протокола. SPI является безусловным лидером по скорости передачи, что делает его оптимальным выбором для высокоскоростных периферийных устройств: Flash-памяти, LCD-дисплеев, аудиокодексов и быстродействующих АЦП. Однако платой за производительность является большее количество соединений и ограниченная масштабируемость – добавление каждого нового устройства требует дополнительной линии выбора.

I2C демонстрирует оптимальный баланс между функциональностью и аппаратными затратами. Возможность подключения множества устройств всего

по двум проводам неоценима при разработке компактных устройств с большим количеством датчиков. Согласно исследованиям, этот протокол наиболее эффективен для систем сбора данных и конфигурации периферии, где не требуется максимальное быстродействие. Ограничением является чувствительность к длине шины – увеличение длины приводит к росту паразитной емкости и снижению допустимой скорости.

UART, несмотря на архаичность, сохраняет актуальность благодаря простоте и универсальности. Он незаменим для отладки микроконтроллерных систем, взаимодействия с Bluetooth- и GPS-модулями, а также для организации связи на относительно большие расстояния при использовании преобразователей уровня (RS-232, RS-485). Критическим недостатком является ограничение «точка-точка», исключающее построение разветвленных сетей.

CAN занимает нишу ответственных промышленных и автомобильных применений. Сочетание дифференциальной передачи и развитых механизмов контроля ошибок обеспечивает работоспособность в условиях сильных электромагнитных помех, недостижимую для других рассмотренных протоколов.

3. Рекомендации по выбору протокола

На основе проведенного анализа можно сформулировать практические рекомендации по выбору интерфейса в зависимости от решаемой задачи.

Для внутрисистемного соединения приоритетными являются I2C и SPI. Если требуется подключить несколько датчиков при жестких ограничениях на количество выводов микроконтроллера, оптимален I2C. Если же необходимо обеспечить высокоскоростной обмен с устройствами памяти или дисплеями, выбор должен быть сделан в пользу SPI.

При разработке автономных и портативных устройств с батарейным питанием важно учитывать энергопотребление. I2C позволяет переводить устройства в энергосберегающий режим и имеет меньший ток потребления благодаря полудуплексной работе, тогда как SPI с его непрерывной тактовой синхронизацией менее эффективен с точки зрения энергопотребления.

Для межмодульных соединений внутри одного устройства или шкафа управления (расстояния до нескольких метров) предпочтительно использование UART с дифференциальными приемопередатчиками RS-485 или специализированных протоколов типа CAN, обладающих высокой помехоустойчивостью.

Отладочные и сервисные интерфейсы – традиционная область применения UART. Почти все микроконтроллеры имеют встроенные модули UART, а отладочные платы оснащаются USB-UART преобразователями, что обеспечивает удобное подключение к персональному компьютеру.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что в современной микропроцессорной технике не существует единого универсального протокола последовательной связи. Каждый из рассмотренных интерфейсов занимает свою нишу, определяемую сочетанием скорости, сложности и надежности.

UART незаменим для отладки и простой связи благодаря простоте реализации. I2C оптимален при работе с множеством периферийных устройств на одной плате за счет минимального числа соединений. SPI обеспечивает максимальную скорость обмена с высокопроизводительными компонентами, а CAN гарантирует надежную работу в условиях сильных электромагнитных помех.

Современные тенденции в области Интернета вещей и промышленной автоматизации требуют комбинированного подхода, предполагающего одновременное использование нескольких интерфейсов в рамках одной системы. Понимание сильных и слабых сторон каждого протокола является необходимым условием для создания эффективных и надежных электронных устройств.

Литература

- [1].RISC-V. Regents of the University of California. Архивировано из оригинала 19 февраля 2016 года – 220 с.
- [2].Поляков А.К. Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры на ПЛИС: учебное пособие / А.К. Поляков. - М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 220 с.
- [3].Аверченков О.Е Схемотехника: аппаратура и программы. – М.: ДМК Пресс, 2012.– 588 с.

*А.А. Музыка, студ.; рук. М.С. Ковалева, асс.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СВЕТОФОР ДЛЯ ГОНОК ДРОНОВ

Стремительное развитие технологий беспилотных авиационных систем за последние годы привело к появлению принципиально новых направлений не только в промышленности, но и в спортивной сфере. Одним из наиболее динамично развивающихся технических видов спорта стали гонки дронов (беспилотных воздушных судов). Данная дисциплина представляет собой пролет по трассе с препятствиями на дронах с установленной системой вида от первого лица (FPV), получая видеосигнал с бортовой камеры, пилот управляет летательным аппаратом, находясь на земле [1]. Скорости прохождения трассы на дронах классов 200 мм и 330 мм могут достигать 200 км/ч, что предъявляет повышенные требования к навыкам пилота и к четкости организации соревновательного процесса. В таких условиях критическое значение приобретает каждый элемент технического оснащения, включая стартовое оборудование, которое должно обеспечивать однозначную видимость сигнала для всех участников одновременно.

Несмотря на растущую популярность соревнований гонок дронов различного уровня, в настоящее время специализированные стартовые устройства отсутствуют в открытой продаже. Существующие решения, используемые организаторами на сегодняшний день, представляют собой качественные самодельные разработки, создаваемые энтузиастами под конкретные задачи. Такие устройства, как правило, изготавливаются в

единичных экземплярах, их схемы и конструктивные решения не стандартизированы и зачастую не публикуются в открытом доступе. Это создает определенный барьер для развития данного вида спорта. Таким образом, актуальность данной работы заключается в необходимости создания доступного для повторения прототипа специализированного стартового устройства, которое могло бы быть воспроизведено любым организатором соревнований по гонкам дронов.

В качестве излучающих элементов применены *RGB*-матрицы 8×8 на адресных светодиодах *WS2812B*. Выбор данного типа светодиодов обусловлен несколькими факторами:

- каждый светодиод имеет встроенный контроллер, что позволяет управлять большим количеством пикселей по одной линии данных,
- данные светодиоды обеспечивают высокую яркость свечения, достаточную для использования как в помещении, так и на открытых площадках в условиях дневного освещения,
- светодиоды *WS2812B* имеют широкий угол обзора (порядка $120-140$ градусов), что гарантирует видимость сигнала пилотам.

Шесть матриц 8×8 устанавливаются вплотную друг к другу, образуя единое поле размерностью 8 пикселей по высоте и 48 пикселей по ширине. Такая форма выбрана исходя из условий восприятия пилотов гонок дронов. Вытянутый по горизонтали прямоугольник лучше различим в *FPV*-камерах с широкоугольными объективами, не перекрывает обзор трассы и удобно устанавливается над стартовыми воротами.

Управление устройством осуществляется на базе 32-битного микроконтроллера *STM32*. Выбор данного семейства обусловлен необходимостью точного соблюдения временных интервалов (погрешность не более нескольких миллисекунд) и наличия аппаратных таймеров для формирования случайной задержки. Для инициализации старта используется кнопка, подключенная к одной из входных линий контроллера.

Питание устройства осуществляется от напряжения 230 В сети переменного тока, что позволяет подключать светофор к любой розетке на месте проведения соревнований без необходимости использования аккумуляторов или других автономных источников.

Для преобразования сетевого напряжения в постоянное напряжение 5 В , необходимое для питания микроконтроллера и светодиодных матриц, применяется импульсный блок питания. Выбор импульсного источника обусловлен его высоким КПД (порядка $80-85\%$) и малыми массогабаритными показателями по сравнению с трансформаторными решениями.

При расчете требуемой мощности блока питания необходимо учитывать реальные режимы работы устройства. Хотя каждый светодиод *WS2812B* при тестировании на максимальной яркости белого свечения может потреблять до 60 мА [2], что для 384 светодиодов дает теоретический максимум около 23 А , в реальных условиях эксплуатации такой режим не используется. Светофор работает только в желтом и зеленом цветах, причем для надежного

переводит все светодиоды в выключенное состояние, ожидая команды судьи. Процесс запуска гонки инициируется однократным нажатием на кнопку «Старт», после чего начинается выполнение цикла предстартовой сигнализации.

На первом этапе мгновенно зажигаются желтым цветом две центральные матрицы (третья и четвертая в линейке), формируя центральную область размером 8×16 пикселей, что служит для пилотов индикацией активации процедуры старта.

Спустя одну секунду зажигаются примыкающие к центральным вторая и пятая матрицы, расширяя зону свечения до четырех матриц (8×32 пикселя). Еще через одну секунду зажигаются крайние первая и шестая матрицы, и все табло размером 8×48 пикселей полностью загорается желтым, сигнализируя о состоянии полной готовности.

Ключевой особенностью разработанного алгоритма является введение случайной задержки перед включением зеленого сигнала: после того как зажглась последняя матрица, микроконтроллер генерирует случайную задержку в интервале от 0,5 до 3,5 секунд и запускает таймер, в течение которого все табло продолжает гореть желтым. По истечении сформированного случайного интервала микроконтроллер мгновенно переключает цвет свечения всех 384 светодиодов с желтого на зеленый, что является для пилотов безусловным сигналом к старту гонки. Использование случайной задержки исключает возможность прогнозирования момента старта и синхронизации по таймеру, что обеспечивает равные условия для всех участников.

В результате выполнения работы разработан прототип светофора для гонок дронов на базе микроконтроллера *STM32* и светодиодных матриц *WS2812B*. Предложенная конструкция представляет собой табло размером 8×48 пикселей, обеспечивающее хорошую видимость сигнала в условиях соревнований. Реализованный алгоритм с последовательным зажиганием желтых сегментов и случайной задержкой перед включением зеленого позволяет исключить синхронный старт пилотов по таймеру, что повышает спортивную составляющую гонок. Устройство питается от сети 230 В через импульсный блок питания мощностью 100 Вт, что достаточно для реальных режимов работы. Дальнейшее развитие проекта может быть направлено на интеграцию с системами хронометража и создание беспроводного пульта управления.

Литература

- [1]. Федерация гонок дронов России. [электронный ресурс] URL: <https://fgdr.ru/> (дата обращения: 10.03.2026)
- [2]. WS2812B Datasheet and Specifications [электронный ресурс] URL: <https://amperkot.ru/static/3236/uploads/datasheets/WS2812B-LED-datasheet.pdf?ysclid=mmrlvaq54n199535916> (дата обращения: 13.03.2026)

СРАВНЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СОВЕТСКИХ ОБЪЕКТИВОВ

Одним из ключевых параметров, определяющих качество фотографического объектива, является его разрешающая способность – способность передавать раздельно мелкие детали изображения. Оценка разрешающей способности оптической системы производится посредством определения ее частотно-контрастной характеристики, либо путем визуальной регистрации предельной частоты штриховой миры, при которой сохраняется раздельное восприятие элементов тест-объекта. Реальное состояние объективов второй половины XX века зачастую не соответствует их заводским паспортным данным из-за необратимых изменений, накопленных за десятилетия эксплуатации: деградация просветляющих покрытий, микродефекты склейки линз, загрязнения внутренних поверхностей.

В данной работе проводится инструментальная оценка и сравнительный анализ разрешающей способности трех моделей советских объективов: Индустар-26М, Индустар-61Л/3-МС и Гелиос-44М. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проведен обзор технических характеристик исследуемых объективов, выполнена настройка оптической скамьи ОСК-2 и проведены измерения разрешающей способности с использованием светофильтров.

К объективам начального периода массового производства относится «Индустар - 26М» (рис. 1), выпускавшийся Харьковским заводом ФЭД с 1955 года для дальномерных фотоаппаратов. Оптическая схема объектива выполнена по типу «Тессар» (4 компонента в 3 группах) и оснащена однослойным просветляющим покрытием. Согласно паспортным данным [1], фокусное расстояние составляет 52,4 мм, а максимальное относительное отверстие – 1:2,8. Конструкция диафрагмы включает 10 лепестков.

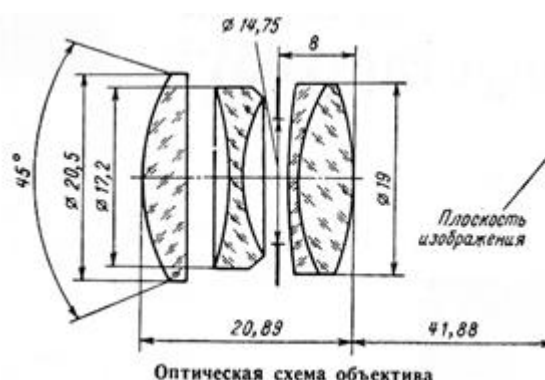


Рисунок 1 – Объектив «Индустар - 26М»

«Индустар-61 Л/З-МС» (рис. 2) представляет собой объектив для однообъективных зеркальных фотоаппаратов с резьбовым соединением М42×1, серийное производство которого осуществлялось на Лыткаринском заводе оптического стекла (ЛЗОС) в 1970–1990-х годах. Оптическая схема выполнена по типу четырехлинзового трехгруппового анастигмата «Тессар». Ключевой особенностью модификации с индексом «Л» является применение в положительных компонентах лантанового сверхтяжелого крона марки СТК-6, обладающего повышенным коэффициентом преломления. Фокусное расстояние объектива составляет 50 мм, относительное отверстие – 1:2,8, угол поля зрения – 46°. Согласно паспортным данным, разрешающая способность достигает 44-45 линий/мм в центре поля изображения и 27 - 30 линий/мм на краю. Конструктивными особенностями модели являются утопленное расположение передней линзы, шестилепестковая ирисовая диафрагма, резьба под светофильтр диаметром 49 мм, минимальная дистанция фокусировки 0,3 м. Индекс «МС» указывает на наличие многослойного просветляющего покрытия.

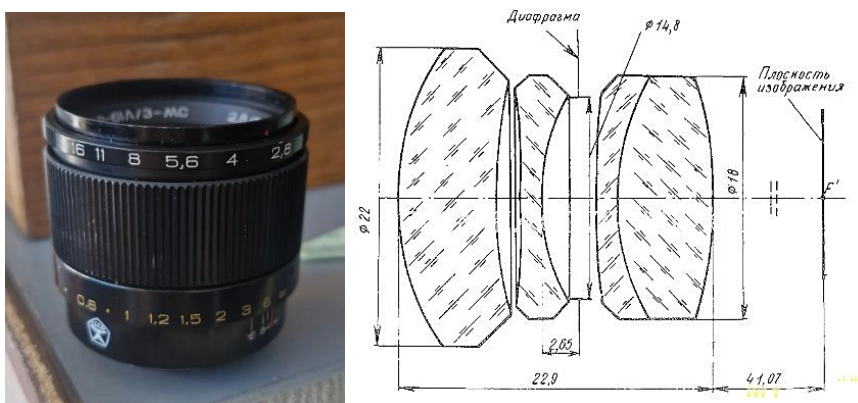


Рисунок 2 – Объектив «Индустар-61 Л/З - МС»

«Гелиос - 44М» относится к классу светосильных объективов для зеркальных фотоаппаратов с резьбовым соединением М42×1. Их производство осуществлялось на Красногорском механическом заводе (КМЗ) с 1972 года. Данная модель (рис. 3) является модификацией объектива «Гелиос - 44М», разработанного на основе немецкого «*Carl Zeiss Jena Biotar 2/58*» [2] и первоначально носившего наименование «БТК» (БиоТар Красногорский). Оптическая схема выполнена по типу шестилинзового четырехгруппового анастигмата. Фокусное расстояние составляет 58 мм, относительное отверстие – 1:2, угол поля зрения – 40°28'. Согласно техническим условиям, разрешающая способность объектива составляет 38 линий/мм в центре поля изображения и 19 линий/мм на краю. Конструкция ирисовой диафрагмы [3] включает восемь лепестков. К недостаткам оптической системы относится низкая устойчивость к паразитным засветкам при контровом и боковом освещении вследствие недостаточного чернения внутренних поверхностей оправы.

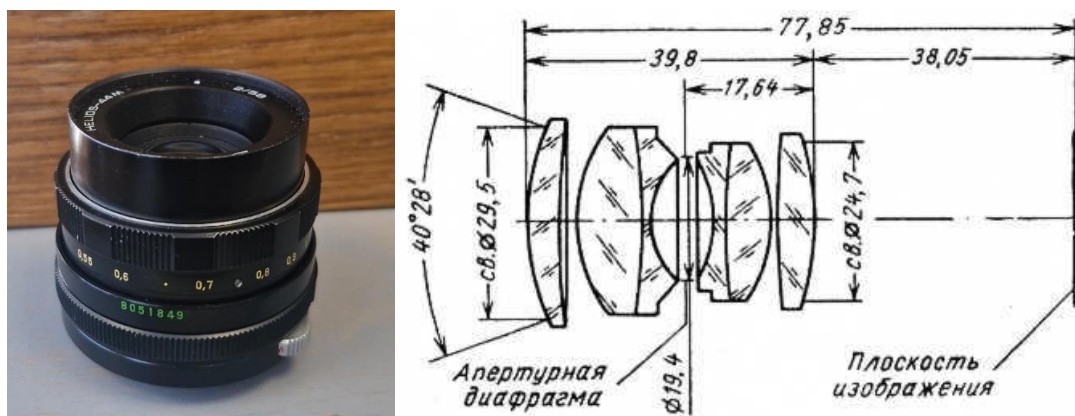


Рисунок 3 – Объектив «Гелиос - 44М»

Оптическая скамья ОСК - 2 (рис. 4) представляет собой универсальный измерительный стенд, предназначенный для исследования оптических систем, а также отдельных оптических компонентов и деталей. Установка находит применение при оценке качества изображения, определении разрешающей способности, измерении фокусных расстояний и положения кардинальных точек объективов.

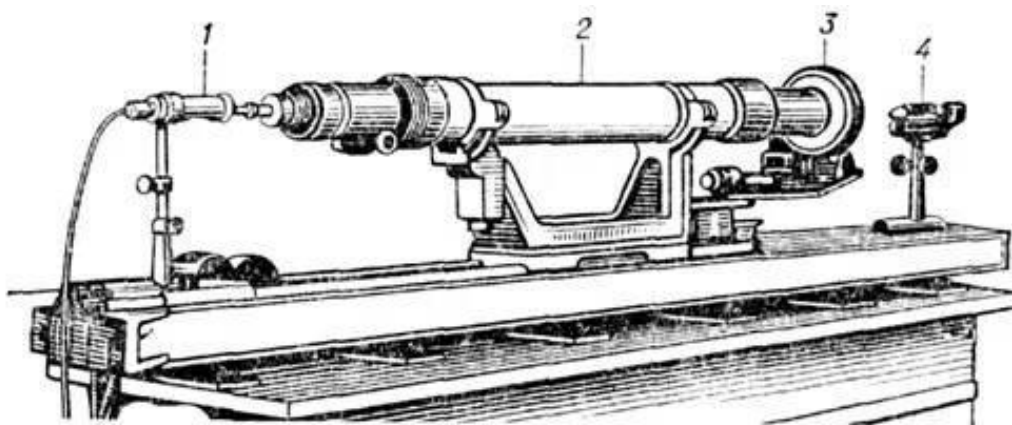


Рисунок 4 – Оптическая скамья ОСК - 2

Базовым узлом установки является коллиматор с длиннофокусным объективом ($f = 1600 \text{ мм}$), в фокальной плоскости которого устанавливаются сменные испытательные миры. Миры размещены в револьверной головке, закрепленной на тубусе коллиматора, что позволяет оперативно производить их смену поворотом головки. Вдоль оптической скамьи перемещается отсчетный микроскоп, используемый для рассматривания и измерений изображения. Оптическая схема установки включает в себя источник света, светофильтр, миры, объектив коллиматора, испытуемый объектив и микроскоп.

В процессе измерений разрешающей способности использовалась штриховая мира № 5 (табл. 1). Для оценки влияния спектрального состава излучения применялись синий, зелёный и красный светофильтры, а также измерения без фильтра. С целью минимизации случайной погрешности каждый объектив тестировался четырьмя независимыми операторами, результат фиксировался как среднее арифметическое их показаний. Результаты

эксперимента представлены в табл. 2-4. Была рассчитана [4] разрешающая способность каждого объектива в зависимости от светофильтра. Полученные значения так же занесены в табл. 2-4.

Таблица 1 – Исходные данные

№ мира	Размер базы мира b , мм
5	19,2

Таблица 2 – Экспериментальные значения для объектива Индустар - 26М

Объектив №1, мира №5		Номер оператора				Среднее значение	R , лин/мм
		№1	№2	№3	№4		
Светофильтр	Зелёный	12	12	10	11	11	23
	Красный	10	7	7	8	8	17
	Синий	9	8	8	9	9	19
	Без	10	9	9	10	10	21

На основе экспериментальных данных установлено, что данный объектив характеризуется максимальной разрешающей способностью в зеленой области спектра. Несмотря на длительный период эксплуатации, объектив в значительной степени сохранил свои исходные оптические характеристики.

Таблица 3 – Экспериментальные значения для объектива Индустар – 61 Л/З-МС

Объектив №2, мира №5		Номер оператора				Среднее значение	R , лин/мм
		№1	№2	№3	№4		
Светофильтр	Зелёный	13	11	11	11	12	27
	Красный	10	6	7	8	8	18
	Синий	10	12	9	12	11	25
	Без	9	11	11	12	11	25

Данный объектив демонстрирует максимальную разрешающую способность в зеленой области спектра, что коррелирует с показателями его предшественника. Высокие результаты обусловлены меньшим сроком эксплуатации и совершенствованной конструкцией объектива.

Таблица 4 – Экспериментальные значения для объектива Гелиос - 44М

Объектив №3, мира №5		Номер оператора				Среднее значение	R , лин/мм
		№1	№2	№3	№4		
Светофильтр	Зелёный	13	9	8	12	11	21
	Красный	10	11	10	9	10	19
	Синий	10	12	13	13	12	23
	Без	12	10	10	12	11	21

При анализе полученных данных, заметим, что объектив «Гелиос - 44М» демонстрирует аномальную разрешающую способность в синей области спектра. Это может быть обусловлено несколькими факторами. Так, к примеру,

объективы данной оптической схемы подвержены влиянию паразитных засветов. Другим фактором может быть длительный срок эксплуатации, также пришедший к возрастным изменениям объектива и его просветления.

Анализируя приведенные данные, заметим, что у двух из приведенных объективов наибольшая разрешающая способность наблюдается в зеленой области спектра. Это можно объяснить как принадлежностью к одному семейству, так и естественными изменениями. Так, объективы класса «Индустар» показывают наилучшие результаты в зеленой области спектра, что типично для Тессаров, поскольку они скорригированы для желто-зеленой области спектра. В то же время наблюдается хорошая разрешающая способность объектива «Гелиос - 44М» в синей области спектра. Несмотря на большой срок службы, полученные экспериментально данные отличаются от паспортных на небольшую величину, что может свидетельствовать о малой степени износа объективов.

В проведенном исследовании инструментально оценена разрешающая способность трех советских фотографических объективов – «Индустар - 26М», «Индустар – 61 Л/З - МС» и «Гелиос - 44М» – с использованием оптической скамьи ОСК - 2. Полученные результаты свидетельствуют о сохранении паспортных характеристик объективов даже после длительной эксплуатации: «Индустар - 26М» демонстрирует пиковую разрешающую способность 23 *лин/мм* в зеленой области спектра, «Индустар – 61 Л/З - МС» – 27 *лин/мм*, также в зеленом свете благодаря усовершенствованной конструкции, а «Гелиос- 44М» достигает 23 *лин/мм* в синей области.

Эволюция оптических схем отражает прогресс советской оптики второй половины XX века, подчеркивая влияние просветления и материалов на спектральную зависимость качества изображения с практическими рекомендациями по применению этих объективов в современных условиях. Несмотря на возраст объективов, исследование доказывает, что их использование возможно и в современных цифровых системах для проведения фотосъемки.

Литература

- [1]. Индустар-26м // ZENITcamera: сайт о фотоаппаратах КМЗ. – URL: <http://www.zenitcamera.com/archive/lenses/industar-26.html> (дата обращения: 06.03.2026)
- [2]. Объектив Гелиос-44М-4 58 mm f/ 2 // Lens-Club.Ru : независимый фотопроект. – URL: https://lens-club.ru/lenses/item/c_808.html (дата обращения: 06.03.2026)
- [3]. Абрамов Г. Этапы развития отечественного фотоаппаратостроения. Гелиос-44 / Г. Абрамов // Photohistory : сайт. – URL: <https://web.archive.org/web/20230207121336/http://photohistory.ru/1207248188431861.html> (дата обращения: 06.03.2026)
- [4]. Артюхина, Н. К. Теория и расчет оптических систем: учебник / Н. К. Артюхина. – Минск: БНТУ, 2020. – 257 с. – ISBN 978-985-583-478-7. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/248624> (Дата обращения: 06.03.2026)
- [5]. Волосов Д.С. Фотографическая оптика: учеб. пособие/ Д.С. Волосов. 2-е изд. – М.: Искусство, 1978. – 543 с.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Одним из актуальных направлений современной силовой электроники является разработка высоковольтных источников питания, отличающихся высокой стабильностью и плотностью мощности. В типовой структуре такого источника основная роль отводится высоковольтному импульсному трансформатору, поскольку он обеспечивает гальваническую развязку между первичной и вторичной сторонами, а также выполняет функцию повышения напряжения до уровня, необходимого для последующего умножения на схеме умножителя [1]. Качество его проектирования определяет надежность, КПД и массогабаритные показатели всего устройства в целом.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью анализа и систематизации конструктивных методов, позволяющих формировать эффективные и надежные трансформаторы для работы в составе высоковольтных источников питания. Основная проблема, с которой сталкиваются разработчики, заключается в противоречии между требованиями высоковольтной прочности (толстая изоляция, удаление обмоток) и необходимостью минимизации паразитных параметров (индуктивности рассеяния и межвитковых емкостей), негативно влияющих на работу преобразователя. Целью данной статьи является анализ специфических требований к конструкции высоковольтных импульсных трансформаторов и сравнительная оценка методов подавления паразитных эффектов, возникающих при их эксплуатации в составе высокочастотного источника питания.

Работа трансформатора в составе высоковольтного источника питания накладывает ряд специфических требований, отличающих его от обычных низковольтных импульсных трансформаторов. Прежде всего, это касается электрической прочности изоляции. Высокое напряжение на вторичной обмотке, которое может достигать десятков киловольт, создает риск пробоя не только между витками и слоями самой обмотки, но и между обмотками, а также между обмоткой и магнитопроводом, который обычно заземлен. Сложность проектирования изоляции при этом заключается в необходимости тщательного расчета электрических полей и выбора материалов с высокой диэлектрической прочностью [2].

Другим фактором является высокая частота преобразования, применение которой обусловлено тем, что переход на частоты даже в десятки и сотни кГц позволяет существенно уменьшить массогабаритные характеристики трансформатора, однако порождает проблему поверхностного эффекта и эффекта близости. Переменное магнитное поле вытесняет ток на поверхность проводника, увеличивая его активное сопротивление и, как следствие, потери мощности. С другой стороны, прямоугольная форма напряжения, формируемая

первичным инвертором (например, косым мостом), содержит широкий спектр гармоник, что приводит к усложнению анализа распределения напряжения по обмоткам и к необходимости учета волновых процессов. Фронты импульсов высокой крутизны могут приводить к возникновению перенапряжений на витках из-за неравномерного распределения падающего напряжения вдоль обмотки.

Для повышения надежности работы трансформатора при высоких напряжениях применяется ряд конструктивных приемов. Одним из наиболее эффективных методов является секционирование вторичной обмотки. Вместо намотки одной длинной катушки, обмотка разбивается на несколько последовательно соединенных секций, расположенных на каркасе изолированно друг от друга. Такое решение позволяет снизить максимальную разность потенциалов между соседними слоями внутри одной секции и уменьшить собственную емкость обмотки, так как емкости отдельных секций оказываются соединенными последовательно.

Другим эффективным конструктивным решением является каскадное расположение обмоток на сердечнике. Суть метода заключается в том, что первый слой вторичной обмотки, находящийся ближе всего к сердечнику, выполняется с электрическим потенциалом, близким к нулю. Каждый последующий слой или секция рассчитывается на более высокое напряжение, что достигается за счет увеличения толщины межслоевой и межсекционной изоляции. Достижимая эффективность решения заключается в минимизации риска пробоя на заземленный сердечник [3].

Не менее важным аспектом проектирования высоковольтных импульсных трансформаторов является выбор изоляционных материалов. В высоковольтных конструкциях используются специальные пленки на основе лавсана или фторопласта, обладающие высокой электрической прочностью и низким тангенсом угла диэлектрических потерь на высоких частотах. Для заполнения воздушных зазоров, в которых может возникнуть коронный разряд, применяется вакуумная пропитка обмоток специальными компаундами или лаками, что повышает общую надежность изоляции и отводит тепло от нагретых обмоток.

При выборе материала и геометрии магнитопровода также учитывается высокочастотный и высоковольтный характер работы трансформатора. Использование традиционной электротехнической стали в данном случае невозможно из-за колоссальных потерь на перемагничивание и вихревые токи. Основным материалом для сердечников импульсных трансформаторов являются ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса, например, марки N87 или 3C90, характеризующиеся низкими потерями вплоть до частот 500 кГц и выше. В некоторых случаях применяются сердечники из аморфного и нанокристаллического железа, которые обеспечивают более высокую индукцию насыщения. Форма магнитопровода при этом в большей степени влияет на удобство размещения высоковольтных обмоток, так наибольшее распространение получили Ш-образные и чашечные сердечники. Их конструкция обеспечивает большой объем окна для размещения массивной изоляции и секционированных катушек, а также упрощает процесс намотки по

сравнению с тороидальными сердечниками. Кроме того, в таких сердечниках проще организовать необходимые изоляционные промежутки.

Также при проектировании импульсных высоковольтных трансформаторов необходимо рассмотреть вопрос введения немагнитного зазора. Например, в двухтактных топологиях, теоретически подмагничивания сердечника постоянной составляющей тока не происходит. Однако на практике из-за неидентичности параметров ключей и управляющих сигналов возникает небольшая несимметрия, способная ввести сердечник в насыщение. Введение небольшого зазора увеличивает коэрцитивную силу и предотвращает насыщение при малых токах несимметрии.

Стоит отметить, что любой реальный трансформатор обладает паразитными параметрами, эффект которых в высоковольтных импульсных устройствах может многократно усиливаться. Наиболее значимыми являются индуктивность рассеяния и межвитковая (межобмоточная) емкость. Индуктивность рассеяния, обусловленная магнитными потоками, не замыкающимися через сердечник, ограничивает скорость нарастания тока в цепи. Однако главный деструктивный эффект заключается в том, что при запираании силовых ключей первичного инвертора энергия, запасенная в этой индуктивности, вызывает резонансные выбросы напряжения на стоках транзисторов, что может привести к их пробое. Для снижения индуктивности рассеяния применяется метод чередования обмоток, при котором первичная обмотка разделяется на две части, между которыми размещается вторичная, что усиливает магнитную связь, но также увеличивает межобмоточную емкость.

Межвитковая и межобмоточная емкости, в свою очередь, способствуют прохождению высокочастотных токов помех, что приводит к ухудшению электромагнитной совместимости и повышает риск образования резонанса с индуктивностью рассеяния на рабочей частоте. Для высоковольтного трансформатора характерна большая емкость из-за значительного количества витков и развитой изоляции. Эта емкость может образовать совместно с выходным каскадом (например, емкость умножителя напряжения) паразитный колебательный контур, что ухудшит форму выходного напряжения. Снижение емкости достигается тем же секционированием, а также использованием специальных видов намотки, например, с увеличенным шагом.

Как можно заметить, проектировщик сталкивается с необходимостью поиска компромисса между требованиями электрической прочности, минимизации индуктивности рассеяния и уменьшения паразитных емкостей. Для систематизации обозначенных взаимосвязей целесообразно представить сравнительный анализ конструктивных методов. Проведенный анализ позволяет свести основные конструктивные методы и их влияние на параметры трансформатора в сравнительную таблицу, представленную ниже.

Таблица 1 – Влияние конструктивных решений на паразитные параметры высоковольтного импульсного трансформатора

Проблема	Конструкт. метод	Влияние на целевой параметр	Недостаток	Применим. в ВИП
Высокая индуктивность рассеяния	Чередование первичной и вторичной обмоток	Значительное снижение индуктивн. рассеяния, уменьшение выбросов напр. на ключах	Рост межобмоточной емкости, увеличение синфазных помех	Рекомендуется при обязательном экранировании или применении мягкого переключения
Высокая собственная емкость вторичной обмотки	Разделение вторичной обмотки на последоват. секции	Снижение эквивалентной емкости обмотки, повышение частоты резонанса	Незначительное усложнение конструкции и намотки, рост индуктивности рассеяния	Обязателен для обеспечения работы на высокоомную нагрузку умножителя
Риск коронного разряда и межвиткового пробоя	Каскадное расположение обмоток и усиленная изоляция (пленки, компаунды)	Равномерное распределение потенциала, исключение пробоя на сердечник	Увеличение габаритов и веса, ухудшение теплоотвода, рост паразитной емкости	Важно для обеспечения длительной надежной работы
Насыщение сердечника и высокие потери в магнитопров.	Выбор прецизионных ферритов и введение немагнитного зазора	Снижение потерь в сердечнике, работа на высокой частоте, защита от насыщения при несимметрии	Увеличение тока намагничивания, рост индуктивности рассеяния	Зазор необходим для устойчивости косого моста к несимметрии

Таким образом, проектирование высоковольтного импульсного трансформатора для современных источников питания представляет собой сложную многокритериальную задачу. Большинство методов, направленных на улучшение одного параметра, приводят к ухудшению другого. Так, борьба с индуктивностью рассеяния методом чередования обмоток противоречит требованию малой межобмоточной емкости. Для высоковольтного источника питания, работающего на умножитель напряжения, оптимальным представляется применение секционированной вторичной обмотки для снижения собственной емкости и обеспечения высоковольтной прочности, а также введение немагнитного зазора для защиты от насыщения. Чередование обмоток применять возможно, но с использованием дополнительных экранов для снижения емкостной связи.

- [1]. Угловский, А.С. Разработка высоковольтного источника питания / А. С. Угловский, Н. Ю. Семеренко // Вестник АПК Верхневолжья. – 2024. – № 4. – С. 100-109.
- [2]. Строкин, Н. А. Активные элементы электроники и основы схемотехники: учебное пособие / Н. А. Строкин. – Иркутск: ИРНТУ, 2021. – 272 с.
- [3]. Применение универсального программного комплекса ONELAB при проектировании импульсного трансформатора высоковольтного источника питания / Д. В. Батищев, D. V. Batishchev, И. В. Васюков [и др.] // Известия вузов. Электромеханика. – 2023. – № 4. – С. 13-20.

*Д.В. Мялик, маг.; рук. С.А. Образцов, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СХЕМОТЕХНИКА УМНОЖИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

В современной силовой электронике одним из актуальных направлений является разработка высоковольтных источников питания, характеризующихся высокой стабильностью выходных параметров и минимальными массогабаритными показателями. В типовой структуре такого источника, включающей входной выпрямитель с корректором коэффициента мощности, преобразователь напряжения (например, по топологии косого моста) и высоковольтный импульсный трансформатор, в качестве выходного каскада применяется умножитель напряжения [1]. На этот узел возлагается выпрямление переменного напряжения, поступающего со вторичной обмотки трансформатора, и его кратное увеличение до требуемого уровня в десятки кВ.

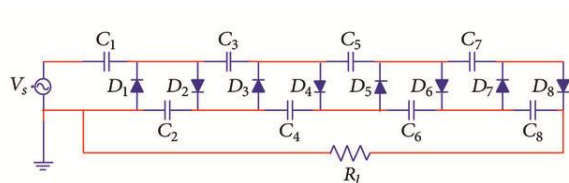
Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью анализа и систематизации существующих схемотехнических решений умножителей напряжения для определения наиболее оптимальной топологии, применимой в составе разрабатываемого высоковольтного источника питания. Основная проблема, с которой сталкиваются разработчики, заключается в том, что каждая из существующих схем обладает специфическими достоинствами и недостатками: различные уровни пульсаций выходного напряжения, неодинаковое падение напряжения под нагрузкой, разные требования к элементной базе и источнику питания. Целью данной статьи является классификация, анализ и сравнительная характеристика четырех основных топологий умножителей напряжения для обоснованного выбора оптимального схемотехнического решения.

В основе функционирования умножителей напряжения лежит каскадное соединение диодно-конденсаторных ячеек. Конденсаторы заряжаются от источника переменного напряжения в различные полупериоды через соответствующие диоды, а по отношению к нагрузке они оказываются включенными последовательно, благодаря чему их напряжения (накопленный за полупериод заряд) суммируются [2]. В идеальном случае, без учета нагрузки, выходное напряжение умножителя определяется выражением $U_{\text{вых}} = 2 \times n \times U_{\text{вх}}$, где n представляет собой число каскадов умножения, а $U_{\text{вх}}$ – амплитудное значение входного переменного напряжения. При подключении нагрузки

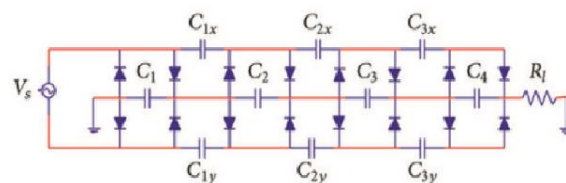
возникают падение выходного напряжения и пульсации, величина которых растет с увеличением числа каскадов пропорционально кубу этого числа, что накладывает ограничения на практическую реализацию многокаскадных умножителей.

Рассмотрим основные топологии умножителей напряжения (рис. 1), выбранные для сравнительного анализа [3].

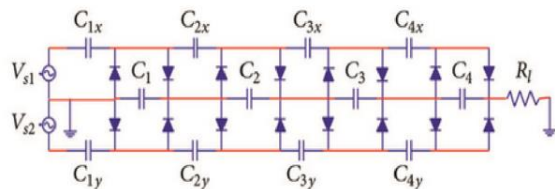
Базовый умножитель Кокрофта-Уолтона представляет собой классическую несимметричную схему умножения второго рода. В данной схеме конденсатор первого каскада заряжается до амплитудного значения входного напряжения, а все последующие конденсаторы – до удвоенного напряжения. Выходное напряжение снимается с последнего конденсатора верхнего плеча. Основным достоинством схемы является минимальное количество элементов и возможность наращивания каскадов без увеличения напряжения на компонентах (кроме первого конденсатора). Однако существенным недостатком выступают значительные пульсации выходного напряжения, частота которых совпадает с частотой питающего напряжения, а амплитуда растет пропорционально квадрату числа каскадов.



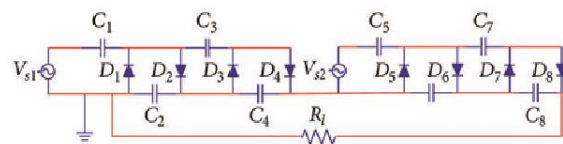
Базовый умножитель напряжения Кокрофта - Уолтона



Гибридный симметричный умножитель напряжения



Симметричный умножитель напряжения (2 каскада)



Последовательный умножитель напряжения

Рисунок 1 – Основные топологии умножителей напряжения

Симметричный умножитель напряжения построен по двухтактному принципу и фактически представляет собой два несимметричных умножителя, включенных встречно и работающих на общую нагрузку. В этой схеме конденсаторы заряжаются в оба полупериода входного напряжения, что приводит к удвоению частоты пульсаций выходного напряжения, благодаря чему амплитуда пульсаций существенно ниже по сравнению с несимметричной схемой, а их частота равна удвоенной частоте питания (то есть, упрощает фильтрацию выходного сигнала). Кроме того, в симметричной схеме напряжение ни на одном из конденсаторов не превышает удвоенного входного напряжения независимо от числа каскадов, что является преимуществом при проектировании высоковольтных устройств. Основным недостатком данной топологии является необходимость наличия двух источников переменного

напряжения либо трансформатора с отводом от средней точки вторичной обмотки.

Гибридный симметричный умножитель напряжения (HSVM) представляет собой дальнейшее развитие симметричной топологии. Схема сочетает в себе мостовой выпрямитель на входе и симметричный умножитель на выходе, что позволяет объединить достоинства обеих топологий. Благодаря использованию входного моста отпадает необходимость в трансформаторе с отводом от средней точки – достаточно обычной однофазной вторичной обмотки. При этом сохраняются основные преимущества симметричной схемы: удвоенная частота пульсаций и низкая их амплитуда [4]. Другим достоинством топологии является экономия двух высоковольтных конденсаторов по сравнению с классическим симметричным умножителем, что важно при ограниченных массогабаритных требованиях. Однако требуется большее число диодов (добавляются два диода во входном мосте) и несколько более сложная конфигурация схемы.

Последовательный умножитель напряжения (SCVM) представляет собой модификацию классической схемы Кокрофта-Уолтона, в которой все каскады соединены последовательно по выходу. В отличие от базовой схемы, где умноженное напряжение снимается с последнего конденсатора, в SCVM выходное напряжение формируется путем последовательного суммирования напряжений всех каскадов. Такая конфигурация позволяет более равномерно распределить напряжение между конденсаторами и диодами, однако требует более тщательного согласования параметров элементов. Важной особенностью топологии является возможность реализации большого числа каскадов с сохранением приемлемого уровня пульсаций, что обусловило её применимость для получения сверхвысоких напряжений (сотни кВ и выше). Недостатком топологии является более сложный анализ переходных процессов и необходимость учета взаимного влияния каскадов друг на друга.

Для систематизации полученной информации выполнен сравнительный анализ рассмотренных топологий (таб. 1) [5].

Каждая из рассмотренных схем имеет свою область применения:

- базовый умножитель Кокрофта-Уолтона оптимален для простых маломощных устройств, где требования к пульсациям не являются завышенными;
- симметричный умножитель предпочтителен при наличии трансформатора с отводом от средней точки и жестких требованиях к стабильности выходного напряжения;
- гибридная топология наилучшим образом подходит для случаев, когда предъявляются повышенные требования к массогабаритным показателям и/или требуется минимальное число высоковольтных конденсаторов;
- последовательную топологию целесообразно применять для получения сверхвысоких напряжений (свыше 100 кВ) при большом числе каскадов.

Таким образом, для высоковольтного источника питания, построенного по схеме косого моста с повышающим трансформатором, наиболее

предпочтительной представляется топология гибридного симметричного умножителя. Данный выбор обусловлен рядом факторов:

- гибридная топология умножителя напряжения работает от обычного однофазного источника (вторичной обмотки трансформатора без отвода);
- топология обеспечивает низкий уровень пульсаций выходного напряжения благодаря удвоенной частоте, что важно при питании прецизионных высоковольтных нагрузок;
- экономия двух высоковольтных конденсаторов позволяет улучшить массогабаритные показатели всего устройства без ухудшения его электрических характеристик.

Таблица 1 – Сравнительный анализ топологий умножителей напряжений

Параметр сравнения	Базовый Кокрофта-Уолтона	Симметричный	HSVM	SCVM
Количество диодов на каскад	2	2	2 + 2 (входной мост)	2
Количество конденсаторов на каскад	2	2	2 (экономия на входе)	2
Напряжение на компонентах	На C1 – $U_{вх}$, на остальных – $2U_{вх}$	Равномерное, не более $2U_{вх}$	Равномерное, не более $2U_{вх}$	Равномерное по всем каскадам
Частота пульсаций	f	2f	2f	f
Амплитуда пульсаций	Высокая ($\sim n^2$)	Низкая ($\sim n$)	Низкая ($\sim n$)	Средняя
Требования к источнику	Однофазный	Двухфазный или отвод от средней точки	Однофазный	Однофазный
Сложность реализации	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
Основные преимущества	Простота, минимальное число элементов	Малые пульсации, равномерность напряжений	Малые пульсации, экономия конденсаторов	Равномерное распределение напряжений
Основные недостатки	Высокие пульсации, неравномерность напряжений	Требование к источнику с отводом	Увеличенное число диодов	Сложность расчета и согласования

При проектировании конкретного умножителя необходимо также учитывать рекомендации по выбору компонентов: применение ультрабыстрых диодов с малым временем восстановления и высокочастотных конденсаторов с соответствующим запасом по напряжению позволит обеспечить эффективность работы источника питания в целом.

Литература

- [1]. Сажнев, А. М. Электропитание радиоэлектронных средств: учебное пособие / А. М. Сажнев, Л. Г. Рогулина. – Новосибирск: НГТУ, 2023. – 242 с.
- [2]. Шамсиев, Б. Г. Основы преобразовательной техники: учебное пособие / Б. Г. Шамсиев. – Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2023. – 135 с.

- [3]. Шешунова, Е.В. Расчёт высоковольтного источника питания для электротехнологических установок / Е. В. Шешунова, В. В. Шмигель, А. С. Угловский // Вестник АПК Верхневолжья. – 2022. – № 1. – С. 77-85.
- [4]. Алгоритм расчета высоковольтного резонансного источника питания для технологических установок электронно-лучевой сварки / И. В. Васюков, I. V. Vasyukov, A. A. Гуммель [и др.] // Известия вузов. Электромеханика. – 2022. – № 4. – С. 15-24.
- [5]. Моделирование распределения электрического поля в умножителе высоковольтного резонансного источника питания для технологических установок электронно-лучевой сварки / Д. В. Батищев, D. V. Batishchev, A. A. Гуммель [и др.] // Известия вузов. Электромеханика. – 2023. – № 2. – С. 3-10.

*И.В. Никитин, маг.; рук. С.П. Астахов, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СТЕНД КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Запорная арматура является элементом трубопроводных систем: от нефтегазовой отрасли до жилищно-коммунального хозяйства. От качества ее изготовления и правильности функционирования зависит не только бесперебойность транспортировки среды, но и безопасность эксплуатации объектов. В связи с этим контроль параметров готовых изделий на этапе предъявительских испытаний является одной из ключевых процедур для экономических субъектов, организационно-хозяйственная деятельность которых связана с производством специального трубопроводного оборудования. Каждое изделие перед отгрузкой проходит проверку герметичности, работоспособности привода и соответствия заявленным гидравлическим характеристикам [1].

Проблематика существующих методов контроля заключается в их недостаточной автоматизации и, как следствие, высокой трудоемкости и влиянии человеческого фактора. На многих экономических субъектах до сих пор применяются ручные или полуавтоматические стенды. При этом оператор, как правило, полностью контролирует процессы нагнетания давления и фиксирует результаты. Такой подход не позволяет обеспечить высокую повторяемость испытаний и точность регистрации динамических характеристик (например, времени срабатывания или расхода через уплотнения). Помимо этого, исключается возможность объективного документирования результатов в электронном виде для последующего анализа и формирования паспортов изделий.

Актуальность разработки специализированного стенда контроля параметров запорной арматуры с электронным управлением обусловлена необходимостью автоматизации процесса испытаний. При этом для многих экономических субъектов промышленной направленности в рамках реализуемой организационно-хозяйственной деятельности необходима интеграция испытательного оборудования в единую информационную сеть для обеспечения прослеживаемости результатов измерений и автоматизации документооборота. Цель настоящей работы заключается в разработке структурной схемы автоматизированного стенда, позволяющего проводить испытания запорной

арматуры в автоматическом режиме с регистрацией ключевых параметров и возможностью удаленного управления и мониторинга по стандартным промышленным интерфейсам связи.

В соответствии с потребностями производства и современными требованиями к испытательному оборудованию были сформулированы следующие функциональные и технические характеристики предлагаемого стенда [2]:

- автоматическое управление насосным оборудованием для нагнетания давления в гидравлической или пневматической системе испытательного контура;

- подача управляющих сигналов на исполнительный механизм проверяемой запорной арматуры для ее открытия и закрытия в соответствии с циклограммой испытаний;

- регистрация давления в контролируемых точках системы;

- измерение расхода жидкости через испытуемое изделие (например, для оценки внутренних перетечек или определения пропускной способности);

- реализация функций ТСП-сервера для организации удаленного доступа к стенду по интерфейсу Ethernet, что позволяет запускать испытания, контролировать их последовательность и выгружать результаты с автоматизированных рабочих мест операторов или из системы качества предприятия;

- обеспечение питания стенда от стандартной однофазной сети переменного тока напряжением 230 В.

Обозначенным техническим и функциональным требованиям удовлетворяет стенд контроля параметров запорной арматуры с электронным управлением, представленный структурной схемой (рисунок 1).

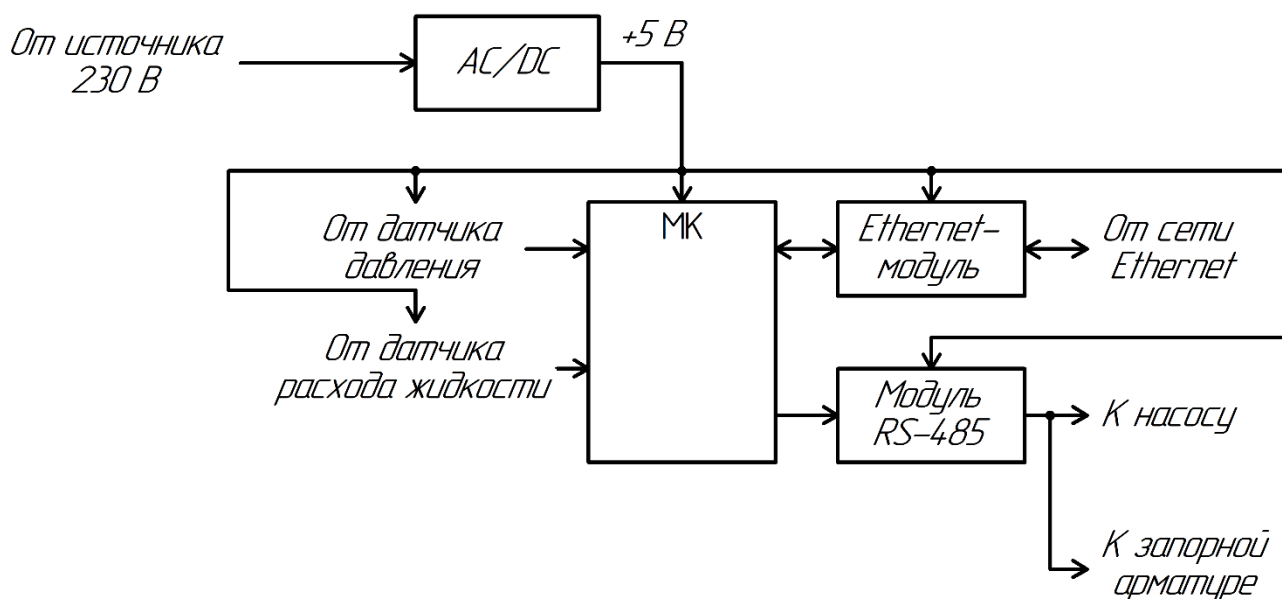


Рисунок 1 – Структурная схема стенда контроля параметров запорной арматуры с электронным управлением

Микроконтроллер выполняет функции сбора и первичной обработки данных с измерительных преобразователей. Сигнал от датчика давления (зачастую аналоговый в диапазоне от 0 до 5 В), подается на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП), встроенного в микроконтроллер. В программном обеспечении микроконтроллера при этом реализуются алгоритмы по масштабированию полученного цифрового кода в физические единицы давления (Паскали, бары или кгс/см²) с учетом индивидуальной калибровочной характеристики датчика. Для повышения помехоустойчивости аналоговая линия связи должна быть экранирована, а в цепи питания датчика предусмотрены фильтрующие конденсаторы.

Регистрация расхода жидкости осуществляется с помощью датчика, формирующего импульсный выходной сигнал. Частота следования импульсов пропорциональны объемному расходу или суммарному объему прошедшей среды [3]. В микроконтроллере для обработки импульсного сигнала задействуется модуль счетчика внешних событий или вход внешнего прерывания. При этом программно реализуется подсчет количества импульсов за фиксированный интервал времени, что позволяет косвенным образом (с учетом известного из паспортных данных коэффициента преобразования импульсов в литры) вычислить мгновенный расход, либо подсчет суммарного количества импульсов за цикл испытаний для определения интегральной утечки через затвор арматуры.

Преимуществом предлагаемого стенда является его интеграция в информационную сеть предприятия, что реализуется с помощью Ethernet-модуля. Данный модуль подключается к микроконтроллеру по одному из стандартных интерфейсов микропроцессорных взаимодействий (SPI или параллельному) и обеспечивает физический уровень для передачи данных по витой паре. В программном обеспечении микроконтроллера при этом разворачивается, как правило, библиотека LwIP для реализации TCP-сервера. Оператор или автоматизированная система управления предприятием может подключаться к этому серверу, отправлять команды на запуск того или иного цикла испытаний, запрашивать текущие значения давления и расхода, а также получать по окончании теста протокол с результатами в машиночитаемом формате (например, в виде JSON-строки), что полностью исключает необходимость ручного заполнения бумажных журналов и повышает достоверность выходного контроля.

Для управления исполнительными механизмами стенда выбран интерфейс RS-485. Интерфейс достаточно широко распространен на многих экономических субъектах промышленной направленности при применении средств производственной автоматизации. Основные преимущества заключаются в сравнительной помехоустойчивости и возможностью организации сети с длиной линии связи до нескольких сотен метров. Через модуль RS-485 микроконтроллер подключается к двум типам устройств. Первым является насос, обеспечивающий нагнетание давления в испытательном контуре. Как правило, современные насосные станции оснащаются частотными преобразователями или блоками

управления с интерфейсом RS-485 и поддержкой протокола Modbus RTU, что позволяет стенду не просто включить или выключить насос, но и плавно регулировать производительность, задавать целевое давление и отслеживать состояние насосного агрегата. Вторым устройством, управляемым по RS-485, является сама проверяемая запорная арматура. Многие современные модели шаровых кранов, задвижек и клапанов комплектуются электро- или пневмоприводами с поддержкой промышленных протоколов связи. Стенд, таким образом, может подавать команды на открытие и закрытие арматуры, а при наличии обратной связи – получать подтверждение о фактическом положении запорного элемента. Такой подход позволяет полностью автоматизировать цикл испытаний: стенд самостоятельно нагнетает давление до заданного уровня, перекрывает арматуру, выдерживает под давлением, регистрируя возможное падение давления (проверка герметичности затвора), затем открывает арматуру и измеряет расход при различных перепадах давления.

Поскольку основная электроника и датчики требуют низковольтного стабилизированного питания, на входе схемы установлен AC/DC преобразователь, формирующий постоянное напряжение +5 В. Выбор готового промышленного преобразователя обусловлен необходимостью обеспечения гальванической развязки между сетевым напряжением и низковольтной измерительной частью, что является обязательным условием безопасности при эксплуатации оборудования в условиях цеха или производственных помещений. Стабилизированное напряжение +5 В питает микроконтроллер, датчики давления и расхода жидкости, а также интерфейсные модули.

Таким образом, предложенная структурная схема стенда контроля параметров запорной арматуры в полной мере отвечает современным требованиям автоматизации испытаний. Использование микроконтроллера в качестве центрального элемента позволяет гибко реализовать алгоритмы управления и сбора данных. Интеграция Ethernet-модуля предоставляет возможности для удаленного управления и включения стенда в единую информационную систему предприятия, а интерфейс RS-485 обеспечивает взаимодействие с насосным оборудованием и проверяемой арматурой. Реализация данного стенда позволит предприятию-изготовителю трубопроводной арматуры повысить качество и достоверность выходного контроля, сократить влияние человеческого фактора и автоматизированно вести электронный архив результатов испытаний для каждого выпущенного изделия.

Литература

- [1]. Баяндин, В. В. Основные объекты и оборудование газонефтепроводов: учебное пособие / В. В. Баяндин. – Иркутск: ИРНИТУ, 2019. – 144 с.
- [2]. Крец, В. Г. Машины и оборудование газонефтепроводов: учебное пособие для вузов / В. Г. Крец, А. В. Рудаченко, В. А. Шмурыгин. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 376 с.
- [3]. Основы проектирования цехов и участков механообрабатывающих производств. Практикум: учебное пособие для вузов / В. Б. Богущкий, Д. Е. Сидоров, Ю. О. Стреляная, А. Ю. Тараховский. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 224 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ 3D-ПЕЧАТИ НА СВЕТОПРОПУСКАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

Технология 3D-печати пластиком в последние годы стала массово доступной благодаря снижению стоимости оборудования и материалов. Это открыло широкие возможности для малого бизнеса, инженеров-конструкторов и для частных пользователей по быстрому изготовлению деталей с сложной геометрией. Особый интерес представляет использование 3D-печати для создания корпусных элементов электронных устройств, в том числе содержащих оптические компоненты.

В промышленном производстве светопропускающие элементы изготавливаются методом литья под давлением из специальных оптических марок поликарбонатного или акрила. Данный способ экономически оправдан лишь при крупносерийном выпуске. При разработке же единичных прототипов или мелких партий затраты на изготовление делают такую технологию недоступной.

В связи с этим актуальной становится задача оценки возможности использования доступной 3D-печати для изготовления функциональных светопропускающих элементов.

Целью данной работы является экспериментальное определение зависимости светопропускающей способности образцов из прозрачного *PETG* от ориентации модели при печати и коэффициента заполнения. Задачи исследования:

- изготовить тестовые образцы с различными параметрами заполнения;
- провести фотометрические измерения;
- рассчитать коэффициенты поглощения;
- сформулировать практические рекомендации.

В качестве материала для исследования был выбран пластик *PETG* компании *ESUN*. Выбор обусловлен высокими показателями прочности, и качества печати.

Печать образцов осуществлялась на 3D-принтере *Bambu Lab P1S* (сопло 0.4 мм). Для всех образцов использовались базовые настройки: температура сопла 240°C, температура стола 80°C, скорость печати 40 мм/с.

Чтобы проверить можно ли использовать прозрачный пластик для этих целей было изготовлено 6 тестовых образцов в форме прямоугольного параллелепипеда с размерами: ширина 30, длина 50, высота 30 миллиметров. Образцы разделены на две группы:

- вертикальная ориентация: образцы напечатаны с ориентацией, при которой слои перпендикулярны направлению предполагаемого светового потока (свет проходит поперек слоев);

– горизонтальная ориентация: образцы напечатаны с ориентацией, при которой слои параллельны направлению светового потока (свет проходит вдоль слоев).

Внутри каждой группы варьировался коэффициент заполнения: 25%, 50% и 70%. Тип заполнения – сетка.

Измерение светопропускания проводилось методом сквозного светового потока. Схема экспериментальной установки включала:

- источник света – светодиодный фонарик с цветовой температурой 6500 к, зафиксированный в неподвижном положении;
- измерительный прибор – цифровой люксметр;
- образец размещался между источником и датчиком люксметра вплотную к ним, в темноте.

Первоначально был произведен замер фоновой освещенности без образца, которая составила 6000 лк. Далее последовательно измерялась освещенность после прохождения света через каждый из шести образцов.

Результаты измерений и расчетов представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты для образцов с вертикальной ориентацией слоев (перпендикулярно свету)

Коэффициент заполнения, %	Освещенность, лк	Коэффициент поглощения света, %
25	5400	10
50	4700	22
70	3500	42

Таблица 2 – Результаты для образцов с горизонтальной ориентацией слоев (параллельно свету)

Коэффициент заполнения, %	Освещенность, лк	Коэффициент поглощения света, %
25%	3700	38
50%	2600	57
70%	1300	78

Образцы вертикальной ориентации демонстрируют значительно более высокую светопропускающую способность по сравнению с образцами горизонтальной ориентации при всех значениях заполнения. Так, при заполнении 25% освещенность через вертикальный образец (5400 лк) почти в 1.5 раза выше, чем через горизонтальный (3700 лк). При заполнении 70% эта разница становится еще более контрастной: 3500 лк против 1300 лк (разница более чем в 2.7 раза). Данный результат объясняется физикой распространения света в слоистой среде: при движении вдоль слоев свет постоянно взаимодействует с протяженными межслойными границами, которые являются зонами микронеровностей и вызывают многократное рассеяние. При движении поперек

слоев свет пересекает границы быстро, а основную часть пути проходит внутри относительно однородного материала слоя.

Для обеих групп наблюдается закономерное снижение пропускания света с увеличением коэффициента заполнения. Это ожидаемый результат, поскольку большее количество материала в объеме образца создает больше препятствий для светового потока. Однако важно отметить, что в первом эксперименте падение пропускания с ростом заполнения происходит более плавно: от 10% поглощения при 25% заполнения до 42% при 70%. Во втором уже при 25% заполнения поглощение составляет 38%, достигая критических 78% при 70%, что делает такие образцы практически непрозрачными.

Результаты однозначно указывают, что для изготовления светопропускающих элементов методом 3D-печати необходимо ориентировать модель таким образом, чтобы световой поток проходил поперек слоев, а не вдоль них. Горизонтальная ориентация (слои вдоль света) является непригодной для оптических целей из-за слишком высокого уровня поглощения.

В ходе проведенного экспериментального исследования были получены следующие результаты:

Установлено, что ориентация слоев при 3D-печати является критическим фактором, определяющим светопропускающую способность изделия из прозрачного PETG. Прохождение света поперек слоев обеспечивает в 1.5-2.7 раза более высокую пропускную способность по сравнению с прохождением вдоль слоев.

Получены количественные значения коэффициента поглощения света для образцов с различным заполнением. Для вертикальной ориентации поглощение составляет 10% (заполнение 25%), 22% (заполнение 50%) и 42% (заполнение 70%). Для горизонтальной ориентации поглощение составляет 38%, 57% и 78% соответственно.

Выявлена обратная зависимость между коэффициентом заполнения и светопропусканием: увеличение заполнения приводит к росту поглощения света.

Для задач использования оптических в корпусах электронных устройств рекомендуется использовать вертикальную ориентацию печати (слои перпендикулярно направлению света). Оптимальным с точки зрения баланса между механической прочностью и светопропусканием является коэффициент заполнения 50%. Данный режим обеспечивает достаточную жесткость корпуса при сохранении приемлемого уровня освещенности (4700 лк, поглощение 22%).

Использование FDM-печати с прозрачным PETG может быть рекомендовано для изготовления функциональных прототипов оптических элементов в условиях малого бизнеса, стартапов и индивидуального конструирования, позволяя сократить временные и финансовые затраты по сравнению с заказом литьевых форм или механической обработкой.

Литература

[1]. Каталог пластика для 3D-печати. URL: <https://www.esun3d.com/ru/petg-product/> (дата обращения: 14.03.2026).

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ПРИСУТСТВИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА

Современное промышленное производство характеризуется высоким уровнем автоматизации технологических процессов, однако ключевым звеном, принимающим ответственные решения, по-прежнему остается человек-оператор. Обеспечение его безопасности и контроль за соблюдением технологической дисциплины являются приоритетными задачами для любого экономического субъекта промышленной направленности [1]. Травматизм на производстве, нередко приводящий к тяжелым последствиям, зачастую связан либо с нахождением человека в опасной зоне работающего оборудования, либо с допуском к управлению техникой посторонних лиц, не обладающих необходимой квалификацией. Помимо прямых рисков для здоровья, в настоящем исследовании рассматриваются и экономические аспекты, например, нерациональное использование энергоресурсов (работающее в отсутствие персонала освещение и станки) и сложность объективного контроля фактического времени пребывания сотрудников на рабочих местах. Данные факторы формируют запрос на использование интеллектуальных систем, способных автоматически идентифицировать оператора, контролировать его присутствие и на основе этой информации управлять работой вверенного ему оборудования.

Традиционные системы контроля и управления доступом (СКУД) ориентированы на контроль входа в производственное помещение или на территорию предприятия. Они успешно решают задачу идентификации личности при помощи карт доступа, биометрических данных или кодов, однако теряют свою функциональность после того, как дверь за представителем рабочего персонала закрылась. Система не отслеживает, находится ли оператор непосредственно у станка или покинул рабочее место, оставив оборудование включенным. С другой стороны, существующие системы безопасности, такие как датчики движения, используемые в охранной сигнализации, реагируют только на перемещение. Неподвижно сидящий за пультом оператор может быть воспринят такой системой как «отсутствующий», что приведет к ложному срабатыванию или, в случае обратной логики, к ошибочному отключению питания оборудования. Таким образом, ни одна из распространенных систем не решает комплексно задачу динамического контроля присутствия конкретного лица непосредственно на рабочей позиции в течение всей смены.

Для более глубокого понимания недостатков существующих подходов был выполнен обзор основных типов систем, которые потенциально могут быть использованы для решения поставленной задачи [2].

Классическим подходом является использование RFID-карт или

бесконтактных ключей, которые фиксируют только момент прикладывания (при входе в цех или производственное помещение). Система считает, что представитель рабочего персонала находится на рабочем месте всю смену, даже если он ушел. Также недостаток данного подхода заключается в том, что карту можно забыть, потерять или передать другому представителю рабочего персонала, отчего снижается достоверность идентификации.

Более продвинутый подход заключается в использовании систем видеоаналитики с применением нейронных сетей. Камеры способны распознавать его лицо, однако себестоимость является достаточно высокой (дорогое оборудование и большой поток данных для серверной обработки), что нецелесообразно для решения тривиальной задачи – включения станка.

Более компромиссный вариант заключается в использовании инфракрасных датчиков движения из-за их дешевизны. Однако имеется существенный недостаток, который заключается в отклике системы только при девиации теплового фона. Если представитель рабочего персонала замер (например, вглядывается в приборы), датчик перестает его видеть, что может вызвать ложное отключение оборудования.

На сегодняшний момент нет простого и недорогого способа непрерывно контролировать присутствие идентифицированного оператора на его рабочем месте. Это и определяет актуальность данной работы. Цель работы заключается в выборе методов и технологий, которые позволят создать систему автоматического контроля присутствия представителя рабочего персонала. Такая система должна повысить безопасность, трудовую дисциплину и дать возможность собирать объективную статистику для административного руководства экономического субъекта.

Датчик присутствия должен фиксировать человека в заданной зоне, даже если тот неподвижен. Этому требованию лучше всего удовлетворяет ультразвуковой дальномер. Принцип действия заключается в излучении импульса и приеме отраженного сигнала. Любой объект в пределах, как правило, 1–2 м, в том числе неподвижно сидящий представитель рабочего персонала, отражает ультразвуковую волну, и управляющий микроконтроллер определяет наличие человека у пульта по времени получения ответного отклика. Стоит отметить, что ультразвуковые датчики не чувствительны к тепловому фону и задымленности (в отличие от ИК) и не требуют сложной обработки сигнала (в отличие от видеокамер). При установке нескольких датчиков в одном помещении возможно их взаимное влияние, но обычно рабочие места расположены дальше эффективной дальности измерения, либо можно использовать разнесение по времени или частоте.

Для идентификации оператора необходимо выбрать беспроводную технологию. Рассмотрим RFID, Wi-Fi, ZigBee и Bluetooth. Bluetooth-модуль подходит лучше других по ряду причин [3]. Использование RFID-меток потребовало бы приобретения дополнительных карт или брелоков для каждого представителя рабочего персонала, а также установки считывателя на каждом рабочем месте, что увеличивает стоимость системы и создает неудобства для

оператора, вынужденного каждый раз прикладывать карту при возвращении на рабочее место. Технология Wi-Fi, при всей своей распространенности, характеризуется высоким энергопотреблением и сложностью аутентификации устройства в корпоративной сети, к тому же смартфон под управлением современных ОС может периодически менять свой MAC-адрес в целях конфиденциальности, что затрудняет его стабильную идентификацию.

Bluetooth-технология лишена этих недостатков. У любого современного смартфона есть Bluetooth-интерфейс – готовый идентификатор, который всегда при представителе рабочего персонала. MAC-адрес Bluetooth, в отличие от Wi-Fi, стабилен; его можно один раз зарегистрировать в системе (например, производственным мастером или администратором). Кроме того, в режиме BLE энергопотребление низкое, и работа модуля практически не разряжает аккумулятор телефона. Bluetooth-канал может пригодиться не только для идентификации представителя рабочего персонала. С его же помощью можно собирать статистику. Производственный мастер с планшетом или ноутбуком при обходе цеха может подключаться к устройству на рабочем месте и выгружать данные: время прихода и ухода оператора, периоды отсутствия, а также показания датчиков температуры, влажности и задымленности.

Питание оборудования включается только при выполнении трех условий одновременно: авторизованный смартфон находится в зоне Bluetooth, ультразвуковой датчик фиксирует присутствие человека, датчики задымленности и температуры не показывают аварийных значений. Микроконтроллер замыкает силовое реле (подает сетевое напряжение 230 В на станок, освещение или розетки). Если хотя бы одно условие перестает выполняться (оператор отошел или телефон вышел из зоны связи), питание отключается после короткой технологической задержки (не более 5 с).

Таким образом, традиционные системы (СКУД, видеонаблюдение, датчики движения) не подходят для непрерывного контроля присутствия оператора. Ультразвуковой датчик расстояния обнаруживает даже неподвижного человека. Для идентификации представителя рабочего персонала и беспроводного сбора статистических данных предлагается использование технологии Bluetooth. Предложенные решения могут лечь в основу устройства, которое позволит снизить травматизм, повысить энергоэффективность и объективно контролировать трудовую дисциплину.

Литература

- [1]. Автоматизация управленческих процессов производственной компанией / И. В. Смольков, I. V. Smolkov, А. Е. Спиридонов [и др.] // Проблемы экономики, финансов и управления производством. – 2024. – № 55. – С. 245-249.
- [2]. Рябов, С.Ю. Интеллектуальный подход к автоматизации технологических и производственных процессов / С. Ю. Рябов, Ю. В. Рябов // Программные продукты и системы. – 2021. – № 1. – С. 106-113.
- [3]. Пиньковецкая, Ю.С. Оценка уровня автоматизации производственных процессов на промышленных предприятиях в российских регионах / Ю. С. Пиньковецкая, I. S. Pinkovetskaia // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2022. – № 2. – С. 234-242.

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА РАБОЧЕГО МЕСТА В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

Современное промышленное производство предъявляет повышенные требования не только к эффективности технологических процессов, но и к безопасности условий труда представителей рабочего персонала. Травматизм на производстве, связанный с человеческим фактором, а также несанкционированный доступ к оборудованию остаются серьезными проблемами для экономических субъектов различных отраслей. Кроме того, актуальной задачей является контроль параметров производственной среды, влияние которых на здоровье представителей рабочего персонала зачастую носит накопительный характер. Существующие на рынке решения, как правило, решают лишь часть обозначенных проблем: системы контроля доступа (СКУД) управляют проходом в помещение, но не контролируют нахождение оператора непосредственно на рабочем месте, а автономные измерители микроклимата не интегрированы с системами управления оборудованием и не ведут архивацию данных для последующего анализа [1], что обуславливает актуальность разработки устройства, сочетающего функции идентификации, обнаружения присутствия и мониторинга условий труда.

Целью настоящей работы является описание структурной схемы устройства, предназначенного для комплексного контроля рабочего места оператора производственного помещения.

Особенностью предлагаемого подхода является смещение приоритета с пассивного мониторинга окружающей среды на активный контроль самого работника: его присутствия на штатном месте, его идентификацию и, как следствие, управление подачей питающего напряжения на технологическое оборудование. Мониторинг температуры, влажности и задымленности в данном контексте рассматривается как вторичный, но не менее важный фактор, позволяющий накапливать статистику для оценки условий труда [2].

Анализ потребностей малых и средних производственных предприятий, а также существующих технических решений позволяет сформулировать следующие функциональные и технические требования к предлагаемому устройству:

- автоматическое включение и отключение питания оборудования (освещение, станки) в зависимости от присутствия оператора на рабочем месте;
- идентификация оператора с использованием беспроводного канала связи для обеспечения персонализацию доступа (станок должен включаться только при обнаружении конкретного беспроводного маяка (например, смартфон), зарегистрированного в системе;
- обнаружение присутствия оператора с помощью ультразвукового датчика расстояния (надежность определения независимо от подвижности);

- мониторинг параметров производственной среды в рабочей зоне: температура в диапазоне от +5 до +50 °С, относительная влажность от 5 до 85 %, а также наличие дыма;
- светозвуковая сигнализация при выходе контролируемых параметров среды (в частности концентрация дыма) за установленные пределы для оперативного оповещения оператора об опасности;
- возможность сбора и передачи статистических данных о времени присутствия оператора и зарегистрированных параметрах среды ответственному лицу (мастеру, администратору);
- питание устройства от стандартной однофазной сети переменного тока напряжением 230 В.

Главным отличием предлагаемого устройства от простых систем климат-контроля является наличие узла обнаружения присутствия и идентификации работника. Для определения факта нахождения человека на рабочем месте предлагается использование ультразвукового датчика расстояния, применение которого предпочтительнее по сравнению с пассивными инфракрасными или доплеровскими датчиками, которые реагируют исключительно при движении. Работник, осуществляющий контроль за технологическим процессом, может длительное время находиться в неподвижном состоянии, изучая показания приборов. Ультразвуковой датчик, работающий по принципу эхолокации, позволяет фиксировать наличие объекта в заданной зоне (дальность до 1–2 м) независимо от его подвижности, формируя логический сигнал «оператор на месте» для управляющей микропроцессорной системы.

Для идентификации оператора и передачи статистических данных предлагается использование Bluetooth-модуль, сопряженного с микроконтроллером по интерфейсу UART. Выбор Bluetooth-интерфейса обусловлен его повсеместной распространенностью в современных мобильных устройствах. При этом по сравнению с Wi-Fi интерфейсов Bluetooth имеет важное преимущество – неизменность MAC-адреса. В качестве уникального идентификатора выступает смартфон оператора, MAC-адрес которого предварительно заносится в память устройства ответственным лицом (производственным мастером). Такой подход не требует приобретения дополнительных карт доступа или ключей, используя устройство, которое всегда находится при представителе рабочего персонала. Микроконтроллер периодически (раз в минуту) опрашивает Bluetooth-модуль, и при обнаружении в зоне действия устройства с авторизованным MAC-адресом и одновременном наличии сигнала от ультразвукового датчика присутствия формируется разрешающий сигнал на включение силовой нагрузки.

Управление питанием производственного оборудования (освещение, станок) осуществляется посредством блока электромагнитных реле [3]. Контакты реле включены в разрыв цепи питания оборудования, идущей от внешнего источника 230 В. Физическое замыкание цепи происходит только при выполнении двух условий: наличие авторизованного оператора на месте и отсутствие аварийных показаний датчиков среды. В противном случае цепь

разомкнута, что гарантирует невозможность запуска оборудования посторонним лицом или в опасных условиях.

Датчики измерения параметров среды включают в себя три измерительных преобразователя: датчик температуры, датчик влажности и датчик дыма (обнаружения продуктов горения). Данные датчики могут быть выполнены как в виде дискретных компонентов с аналоговым выходом (датчик дыма), так и в составе цифрового модуля с интерфейсом 1-Wire (датчики температуры и влажности). Микроконтроллер циклически опрашивает датчики, сравнивая полученные значения с пороговыми, заданными в энергонезависимой памяти. В случае превышения допустимых концентраций дыма или выхода температуры/влажности за пределы нормы ($\pm 20\%$ от нормальных условий), микроконтроллер активирует узел светозвуковой сигнализации, выполненный на основе светодиода и пьезоэлектрического излучателя, привлекая внимание оператора к потенциальной угрозе.

В соответствии с перечисленными требованиями была разработана структурная схема устройства, представленная на рисунке 1.

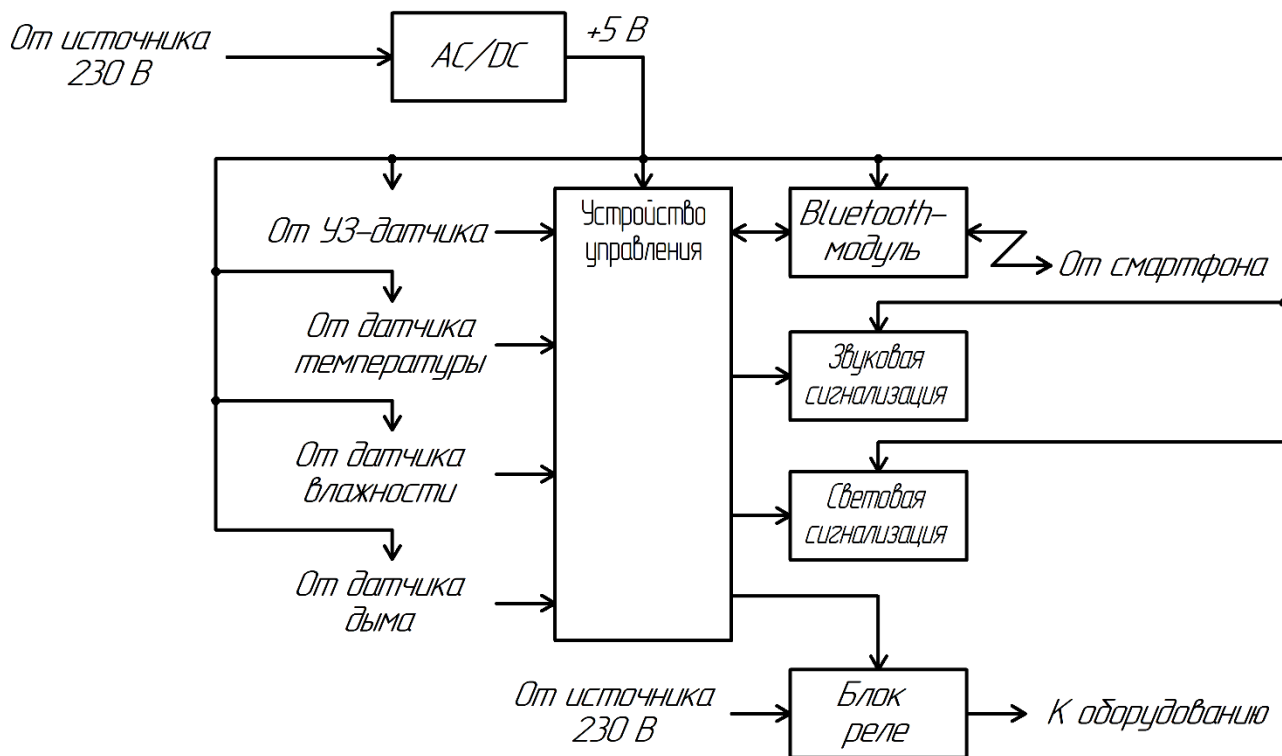


Рисунок 1 – Структурная схема устройства контроля и мониторинга рабочего места в производственном помещении

Центральным элементом схемы является микроконтроллер, выполняющий функции сбора данных с периферийных датчиков, обработки информации согласно заложенным алгоритмам, управления исполнительными устройствами и организации беспроводного обмена данными. Микроконтроллеры имеют достаточное количество портов ввода-вывода (не менее 12 шт.) для подключения

всех датчиков, аппаратной поддержки интерфейсов связи (UART для Bluetooth-модуля, аналоговых входов для датчиков).

Питание всех узлов устройства осуществляется от промышленной сети переменного тока напряжением 230 В. Поскольку электронные компоненты требуют низковольтного стабилизированного питания, на входе схемы установлен AC/DC преобразователь, формирующий постоянное напряжение +5 В. Данное напряжение используется для питания микроконтроллера, всех датчиков и Bluetooth-модуля. Выбор промышленного AC/DC преобразователя обусловлен требованиями электробезопасности и необходимости гальванической развязки низковольтной части устройства от опасного сетевого напряжения.

В штатном режиме устройство будет регистрировать отдельные события, фиксируя в своей памяти временные метки появления и отсутствия оператора, а также усредненные значения температуры, влажности и фоновой задымленности с заданной дискретностью (например, раз в час). Производственный мастер, используя планшет или ноутбук со специальным программным обеспечением, может запросить по Bluetooth накопленные данные. Данное решение позволяет формировать объективные отчеты об условиях труда конкретного представителя рабочего персонала и его фактическом времени нахождения на рабочем месте без использования сложных проводных сетей и дорогостоящих систем сбора данных.

Таким образом, предложенная структурная схема устройства контроля и мониторинга рабочего места позволяет комплексно подойти к вопросам производственной безопасности и дисциплины. Основное преимущество разработки заключается в приоритете контроля присутствия человеческого фактора: оборудование включается только при обнаружении авторизованного представителя рабочего персонала, что исключает риски, связанные с несанкционированным доступом и работой оборудования в отсутствие работника. Вторичный мониторинг параметров среды обеспечивает информационную базу для оценки условий труда, а возможность беспроводного сбора статистики делает устройство удобным инструментом для административно-технического персонала.

Литература

- [1]. Автоматизация управленческих процессов производственной компанией / И. В. Смольков, I. V. Smolkov, A. E. Спиридонов [и др.] // Проблемы экономики, финансов и управления производством. – 2024. – № 55. – С. 245-249.
- [2]. Рябов, С.Ю. Интеллектуальный подход к автоматизации технологических и производственных процессов / С. Ю. Рябов, Ю. В. Рябов // Программные продукты и системы. – 2021. – № 1. – С. 106-113.
- [3]. Пиньковецкая, Ю.С. Оценка уровня автоматизации производственных процессов на промышленных предприятиях в российских регионах / Ю. С. Пиньковецкая, I. S. Pinkovetskaia // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2022. – № 2. – С. 234-242.

РОЛЬ МАТЕРИАЛОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В ИМПЕДАНСЕ ПЕЧАТНОЙ СХЕМЫ

Печатные платы для высокоскоростных и высокочастотных устройств используют для передачи сигнала линии передачи с мелкими элементами. Для этих целей чаще всего используются микрополосковые, полосковые и заземленные копланарные волноводные линии передачи (GCPW). В идеале потери в этих линиях передачи должны быть минимальными, для чего требуется постоянный электрический импеданс без разрывов, значение которого максимально соответствует типу передаваемых сигналов. Отклонения от номинального импеданса цепи могут привести к увеличению вносимых потерь, обратных потерь, усилению излучения, ухудшению целостности сигнала (SI) и увеличению времени нарастания. На импеданс печатной платы может влиять ряд факторов, в том числе физические и электрические характеристики схемы и материала, из которого она изготовлена, но, если изучить эти факторы и лучше понять их влияние, то его можно свести к минимуму.

С высокоскоростными и высокочастотными линиями передачи на печатных платах связано несколько различных типов импеданса, в том числе волновое сопротивление, входное сопротивление, характеристическое сопротивление и частотно-зависимое сопротивление. Например, в радиочастотных и микроволновых схемах для обеспечения низких потерь обычно используется характеристическое сопротивление 50 Ом. Характеристическое сопротивление Z_0 цепи можно определить как отношение напряжения к силе тока для волны, распространяющейся в одном направлении без помех со стороны других волн в цепи. Математически это просто

$$Z_0 = V(x)/I(x),$$

где $V(x)$ – напряжение, а $I(x)$ – сила тока. Чтобы учесть влияние индуктивности (L) и емкости C, как того требуют высокочастотные/быстродействующие схемы, волновое сопротивление микрополосковой линии можно определить как квадратный корень из отношения индуктивности к емкости:

$$Z_0 = (L/C)^{0,5},$$

где C – функция от произведения диэлектрической проницаемости подложки схемы (Dk) и площади между сигнальной плоскостью и плоскостью заземления, деленной на толщину подложки, то есть $C = (Dk \times \text{площадь}) / \text{толщина}$. Чем толще подложка, тем меньше емкость и выше импеданс. Чем

меньше емкость, тем хуже поддерживается движение электронов, необходимое для протекания тока. Чем тоньше подложка или чем выше значение D_k , тем больше емкость и ниже импеданс, что способствует большему протеканию тока. Чем шире проводник, тем больше площадь и тем выше эффект.

Это соотношение импеданса, связывающее индуктивность и емкость, является без потерь и не зависит от частоты. Для учета многочисленных индуктивностей и емкостей в сложных цепях, таких как дифференциальные цепи, можно использовать более полное соотношение. Оно зависит от частоты и учитывает потери в проводниках и диэлектриках:

$$Z_0 = [(R + j\omega L)/(G + j\omega C)]^{0,5},$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота; G связано с диэлектрическими потерями; R связано с потерями в проводнике.

Индуктивность и емкость оказывают противоположное влияние на импеданс цепи. Увеличение индуктивности может привести к повышению импеданса, а увеличение емкости – к его снижению. Например, в системе с сопротивлением 50 Ом, где импеданс может колебаться от 45 до 55 Ом, снижение импеданса может быть вызвано увеличением емкости, а повышение – увеличением индуктивности.

Физические характеристики линий передачи могут влиять на емкость и импеданс, которые, в свою очередь, влияют на импеданс цепи. Чем уже проводники, тем больше индуктивность и выше импеданс. Чем шире проводники, тем больше емкость и ниже импеданс.

Резкие изменения импеданса или его различия создают проблемы для поддержания высокой производительности в высокоскоростных/высокочастотных цепях. Такие изменения могут происходить на любом участке линии передачи, например между коаксиальным разъемом и точкой подключения печатной платы. Изменение импеданса может привести к отражению радиочастотных/микроволновых сигналов или высокоскоростных цифровых сигналов обратно к источнику сигнала. Это приводит к снижению мощности, поступающей к нагрузке, а также к тому, что отраженная энергия препятствует прохождению энергии от источника к нагрузке.

Отслеживание Линий Электропередачи

В высокоскоростных/высокочастотных цепях идеальный сигнальный тракт имеет одинаковое сопротивление на всем протяжении, например 50 Ом, с минимальными потерями энергии на пути следования сигнала. В большинстве таких сигнальных трактов используются микрополосковые линии, полосковые линии и линии с распределенной обратной связью, которые могут быть интегрированы в сложные многослойные схемы. Для определения импеданса этих схемных структур существуют формулы в замкнутой форме, хотя более точные результаты обычно дает метод решения в поле.

Уравнение в замкнутой форме для определения импеданса, например, для микрополосковой линии, имеет следующий вид:

$$Z_0 = [87/(Dk + 1,41)^{0,5}] \{\ln[5,98H/(0,8W + T)]\},$$

где:

H – толщина диэлектрической подложки; W – ширина линии передачи; T – толщина медного слоя линии передачи.

Чтобы упростить расчеты, вы можете бесплатно скачать программное обеспечение для моделирования импеданса MWI-2017 от компании Rogers Corp. Центр технологической поддержки.

Расчеты для определения импеданса полосковых линий передачи аналогичны расчетам для микрополосковых линий:

$$Z_0 = [60/(Dk)^{0,5}] \{\ln [1.9B/(0.8W + T)]\}$$

где:

B – толщина диэлектрической подложки от заземляющей плоскости до заземляющей плоскости; T – толщина полоскового проводника; W – ширина полоскового проводника.

GCPW – это несколько более сложная конструкция, чем микрополосковая или полосковая линия, и для расчета ее импеданса требуются более сложные уравнения в замкнутой форме. Но опять же, бесплатное программное обеспечение MWI-2017 позволяет быстро и просто выполнить расчеты на основе проверенных уравнений в замкнутой форме.

Углубляясь в Различия

Физические характеристики высокоскоростных/высокочастотных цепей играют важную роль в определении импеданса печатной платы, поскольку различия в толщине подложки, толщине и ширине медных проводников приводят к различиям в импедансе таких цепей. Чтобы изучить влияние различий в этих параметрах, были изготовлены различные микрополосковые тестовые схемы.

В качестве базового образца использовалась подложка толщиной 20 мил с медным проводником толщиной 2 мил и шириной 43 мил (характерное сопротивление 50,07 Ом). У одной из других подложек была немного меньшая диэлектрическая проницаемость (Dk), у другой – медный проводник толщиной 1 мил, у третьей – подложка толщиной 18 мил, а у четвертой – проводник шириной 42 мил. Это позволило изучить, как изменения физических параметров влияют на сопротивление в каждом из случаев. Более тонкая подложка демонстрировала значительно более низкий импеданс, использование материала схемы с более низким Dk приводило к минимальной разнице в импедансе, более тонкий медный проводник обеспечивал лишь незначительно более низкий импеданс, а более узкий проводник также приводил лишь к незначительно более низкому импедансу.

Шероховатость поверхности медных проводников – еще один параметр печатной платы, который не всегда учитывается при анализе различных параметров схемы, влияющих на импеданс. Чем более гладкая поверхность медных проводников, тем меньше потери в проводнике по сравнению с проводниками с более шероховатой поверхностью. Но как это влияет на импеданс? Во-первых, шероховатая поверхность медных проводников замедляет скорость распространения волны по цепи. Более медленная волна воспринимается цепью как более высокое эффективное значение D_k , даже если значение D_k самого материала цепи не изменилось.

Как видно, на импеданс высокоскоростных/высокочастотных цепей может влиять ряд факторов, в том числе толщина подложки, толщина медного слоя, ширина проводника и коэффициент диэлектрической проницаемости. На импеданс печатной платы может влиять ряд дополнительных факторов. Например, поглощенная влага может снижать импеданс микрополосковых линий, поскольку вода обладает высоким коэффициентом диэлектрической проницаемости. Материалы для изготовления печатных плат с высоким влагопоглощением будут влиять на импеданс, особенно в условиях высокой относительной влажности (RH).

Литература

- [1]. Николаенко В.Г. Угрозы информационной безопасности в системах поддержки принятия решений // Достижения науки и образования. 2016. №№12 (13). С. 23-24.
- [2]. Вейцман В. М. Проектирование информационных систем : учебное пособие для вузов / В. М. Вейцман. 2-е изд., стер. СПб : Лань, 2022. 316 с. ISBN 978-5-8114-9982-3. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/208946> (дата обращения: 25.09.2023). Режим доступа: для авториз. пользователей.

*Ю.С. Петрова, маг.; рук. М.А. Амелина, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СПЕКТРА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ МНОГОФАЗНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ В СИСТЕМАХ ЦОС

В современных радиотехнических системах, например, радиолокационные станции (РЛС), спектральный анализ является фундаментальной операцией, лежащей в основе выделения полезной информации из принимаемых сигналов. Задачей спектрального анализа в цифровой обработке сигналов (ЦОС) является переход от временного представления сигнала к частотному, что позволяет идентифицировать наличие спектральных компонент, их амплитуды и взаимное расположение [1]. При этом от качества спектрального анализа зависит разрешающая способность цели по дальности и скорости (выделение слабого сигнала на фоне помех, разрешение двух близко-находящихся объектов). Основной метрикой качества данного анализа является его разрешающая способность, которая в дискретном представлении определяется количеством точек, описывающих заданную полосу частот.

Разрешающая способность обратно пропорциональна размеру преобразования: для фиксированной частоты дискретизации увеличение количества точек БПФ ведет к пропорциональному уменьшению ширины частотного бина. То есть, спектр, описанный 8192 дискретными отсчетами, предоставляет в восемь раз более детальную частотную картину по сравнению со спектром на 1024 точки. Цифровое представление спектра с высоким разрешением минимизирует ошибки интерполяции и эффект «растекания» спектра, обеспечивая достоверность последующих алгоритмов принятия решений.

Достижение высокой разрешающей способности спектра, начиная с размеров преобразования в тысячи точек (1024, 4096, 8192 и более), является ресурсоемкой задачей при работе с высокочастотными сигналами, имеющими частоту дискретизации от сотен мегагерц до нескольких гигагерц. Прямая реализация традиционного алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ) на требуемое большое количество точек приводит к фундаментальным аппаратным ограничениям. Архитектура классического конвейерного БПФ, даже оптимизированного для ПЛИС, при переходе к преобразованиям длины 8192 точек требует пропорционального увеличения объема используемой памяти буферизации, количества вычислительных блоков и сложности маршрутизации данных [2]. Что приводит к экспоненциальному росту потребления ресурсов программируемой логики, задержек в конвейере и, как следствие, к невозможности обеспечения обработки в реальном масштабе времени. Таким образом, возникает противоречие: с одной стороны, для решения прикладных задач необходима обработка данных в спектре с высокой разрешающей способностью, с другой – традиционные вычислительные структуры БПФ не могут быть эффективно масштабированы в рамках решения задачи для высокочастотных сигналов в условиях заданных временных и аппаратных ограничений.

Актуальность настоящего исследования обусловлена потребностью в преодолении обозначенного противоречия для целого ряда перспективных направлений. К ним относятся разработка компактных бортовых радиолокационных модулей с высокой разрешающей способностью, синтез систем спектрального мониторинга широкополосных частотных диапазонов, а также реализация приемных трактов для технологий связи 5G/6G, работающих с широкополосными сигналами. Существующие методы либо не обеспечивают требуемого быстродействия, либо приводят к неприемлемому увеличению габаритов, массы и энергопотребления аппаратуры. В связи с этим, целью данного исследования является разработка и обоснование способа получения спектра высокочастотных сигналов. Предлагаемый способ должен обеспечивать масштабируемость для преобразований большой длины.

В качестве методологической основы предлагаемого способа рассматривается использование многофазной архитектуры, которая представляет собой один из наиболее перспективных методов решения задачи многоточечного спектрального анализа в реальном масштабе времени. Данный

подход базируется на фундаментальном принципе декомпозиции сложной вычислительной процедуры на совокупность параллельно выполняемых и менее ресурсоемких операций. Ключевое отличие и новизна предлагаемого метода заключаются в предварительном структурировании входного сигнала, при котором последовательный высокоскоростной поток комплексных отсчетов (I , Q) с высокой частотой дискретизации целенаправленно разделяется на несколько параллельных каналов [3]. Каждый из этих каналов представляет собой одну из фаз исходного сигнала, формируемую путем демультиплексирования. Иными словами, вместо обработки единого потока на высокой тактовой частоте создается несколько параллельных потоков, работающих на существенно пониженной частоте, что кардинально снижает требования к быстродействию каждого вычислительного модуля. На практике количество таких фаз может быть выбрано как 2, 4, 8 или более в зависимости от требуемого баланса между разрешающей способностью итогового спектра, доступными аппаратными ресурсами и допустимой задержкой обработки (с учетом рабочей частотной полосы входного сигнала).

Структурная организация предлагаемого способа наглядно приведена на примере декомпозиции на четыре фазы для получения итогового спектра на 8192 точки (рис. 1).

Входной сигнал в виде четырех параллельных потоков комплексных отсчетов, представляющих собой последовательные фазы, поступает на первый блок обработки. Здесь осуществляется операция перемножения данных каждого канала с выбранной весовой функцией (окном), целью которой является снижение уровня боковых лепестков в формируемом спектре и минимизация эффектов, связанных с дискретизацией конечного фрагмента сигнала. Далее, каждый из четырех предварительно взвешенных сигналов независимо обрабатывается блоком БПФ первой ступени (на 2048 дискрет), что позволяет получить для каждой фазы предварительный частотный портрет, но с грубым разрешением, соответствующим размеру преобразования.

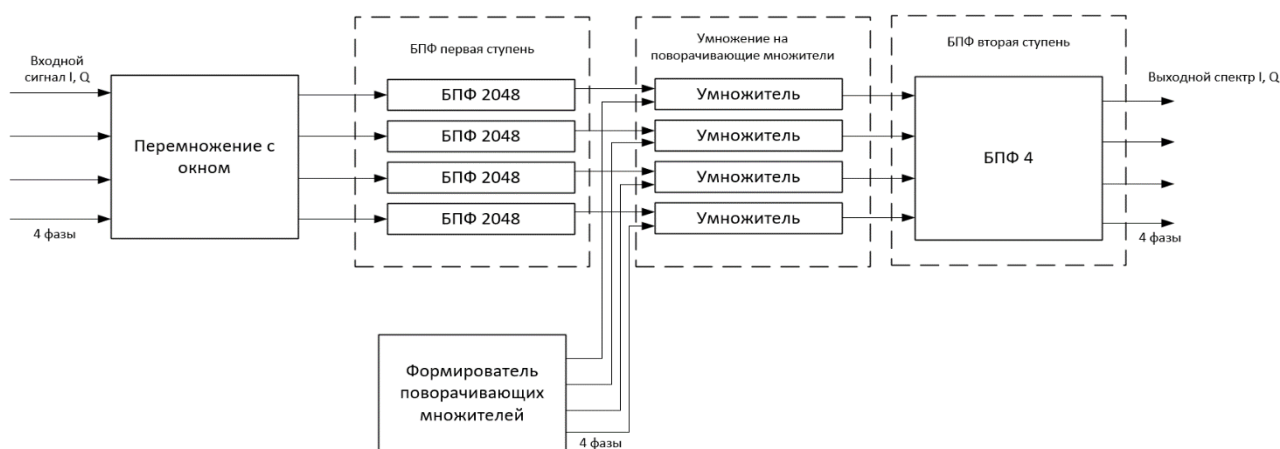


Рисунок 1 – Структурная организация предлагаемого способа на примере 4-х фазной декомпозиции спектра сигнала на 8192 дискрет

Для обеспечения корректности последующего объединения необходимо домножить результаты каждого из четырех БПФ первой ступени на комплексные поворачивающие множители. Каждый из множителей строго определяются индексом частотного бина и номером фазы, их функция заключается в математической компенсации сдвигов, внесенных процедурой первоначального разделения сигнала во временной области. Без выполнения данной операции последующее сложение спектров было бы некорректным.

Результаты умножения, представляющие собой четыре набора из 2048 комплексных отсчетов, организованных по фазам, подаются на финальный блок – вторую ступень преобразования, в которой происходит синтез итогового спектра высокого разрешения. Вычислительным ядром на этом этапе является БПФ на 4 точки, которое применяется не к последовательным частотным составляющим, а к набору из четырех значений, соответствующих одному и тому же частотному бину, но взятых из разных фаз. Иными словами, для каждого из 2048 частотных позиций независимо выполняется 4-точечное преобразование Фурье по набору отдельно взятых фаз. Данная операция математически эквивалентна интерполяции и уточнению спектральной оценки на данной частоте, увеличивая эффективность разрешения в четыре раза (по количеству фаз). На выходе блока второй ступени формируются четыре параллельных потока комплексных отсчетов, которые в совокупности и представляют собой единый спектр сигнала на 8192 точки, где каждая выходная фаза соответствует определенному сегменту этого полного спектра. Такая организация обеспечивает потоковый характер работы: при поступлении новых порций данных на вход система непрерывно выдает соответствующие сегменты спектра на выходе, что важно для работы в реальном времени.

Актуальность и практическая реализуемость описанного способа в современных условиях усиливается благодаря прогрессу в области микроэлектроники, в частности, появлению и широкому распространению высокоинтегрированных систем на кристалле (System-on-Chip). Например, платформы класса Zynq UltraScale+ RFSoc от компании AMD (ранее Xilinx) интегрируют на единой подложке высокоскоростные аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, программируемую логику (FPGA) и процессорные ядра (ARM). Важной аппаратной особенностью таких решений является наличие встроенных блоков цифровой понижающей конверсии (DDC), которые на аппаратном уровне выполняют операции гетеродинирования, фильтрации и, что наиболее существенно, децимации входного высокочастотного сигнала с формированием заданного количества параллельных каналов с пониженной частотой дискретизации. Самая ресурсоемкая задача формирования многофазных представлений из исходного высокоскоростного потока эффективно решается специализированными аппаратными модулями RFSoc, что освобождает ресурсы программируемой логики для реализации предложенного каскадного многофазного вычислительного ядра, подтверждая экономическую и техническую целесообразность описываемого метода. Наличие такой элементной базы

переводит предлагаемый способ из разряда теоретических концепций в плоскость реализуемых на практике решений для радиотехнических систем.

Предлагаемый способ, основанный на многофазной декомпозиции с последующей двухступенчатой обработкой, представляет собой методологически обоснованный и технически реализуемый ответ на вызовы, связанные с необходимостью многоточечного спектрального анализа высокочастотных сигналов. В основе способа лежит стратегия параллельной обработки предварительно сформированных фаз сигнала, что позволяет распределить вычислительную нагрузку и снизить рабочие частоты конвейерных блоков программируемой логики. Современная элементная база в виде радиочастотных систем на кристалле предоставляет готовые аппаратные средства для эффективной реализации начального этапа – формирования параллельных фаз, что снижает барьер для внедрения. Способ может быть использован при создании высокопроизводительных устройств спектрального анализа, отвечающих требованиям перспективных радиолокационных и измерительных систем, работающих с широкополосными сигналами.

Литература

- [1]. Попов, Д. И. Многофункциональные радиолокационные системы: учебное пособие / Д. И. Попов. – Рязань: РГРТУ, 2023. – 80 с.
- [2]. Степанов, А. Б. Цифровая обработка сигналов в радиотехнических системах: учебное пособие / А. Б. Степанов. – Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2021. – 42 с.
- [3]. Шульженко, А.Д. Архитектура распределенной системы цифровой обработки радиолокационных данных / А. Д. Шульженко // Вестник Российского нового университета. Серия Сложные системы модели, анализ и управление. – 2021. – № 4. – С. 196-207.

*А.В. Пучков, студ.; рук. В.А. Смолин, к.т.н.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИМИТАТОРА ОТРАЖЕННЫХ СИГНАЛОВ

Современное развитие радиолокационной техники можно охарактеризовать несколькими основными положениями. Во-первых, с общим развитием технологий переход от традиционных аналогов к цифровым активным фазированным антенным решеткам (ЦАФАР) за счет ряда преимуществ над первыми. Связано это в первую очередь с возросшими требованиями к помехозащищенности, увеличению разрешающей способности и точности определения угловых координат целей. Во-вторых, современная геополитическая обстановка и ряд военных конфликтов обозначили новый вызов для современной радиолокации – обнаружение БПЛА, которое затрудняется малыми размерами цели, высокой скоростью и мобильностью.

Производство радиолокационных систем (РЛС) и их активное внедрение как для гражданской авиации, так и для военной сферы, сталкивается с рядом

трудностей в условиях современного мира. Одной из таких проблем является непосредственно этап тестирования и отладки, когда требуется отработка алгоритмов работы РЛС в условиях, приближенных к реальным. Привлечение реальной авиационной техники становится либо практически невозможным, либо требует больших организационных усилий, что встречает в свою очередь проблему необходимости многократного повторения испытаний.

В качестве одного из решений этой проблемы выступают имитаторы сигналов, позволяющие в полигонных условиях воспроизводить приближенную к реальной обстановку. Особую актуальность на этом фоне приобретает разработка имитаторов, позволяющих не просто ретранслировать сигнал, но и гибко изменять его параметры, имитируя тем самым ложные радиолокационные цели под конкретные требования (делать цель больше или меньше, увеличивать или уменьшать удаленность цели, маскировать цель помехами и т.д.).

С этой целью была разработана функциональная схема многофункционального имитатора отраженных сигналов (рис. 1), который в соответствии с алгоритмами цифровой обработки сигналов на ПЛИС принимает на вход АЦП с выхода линейного тракта приемника сигнал, обрабатывает его в зависимости от параметров, которые оператор может задавать с помощью подключенной технической ЭВМ, и преобразованный сигнал передает через ЦАП на вход передатчика.

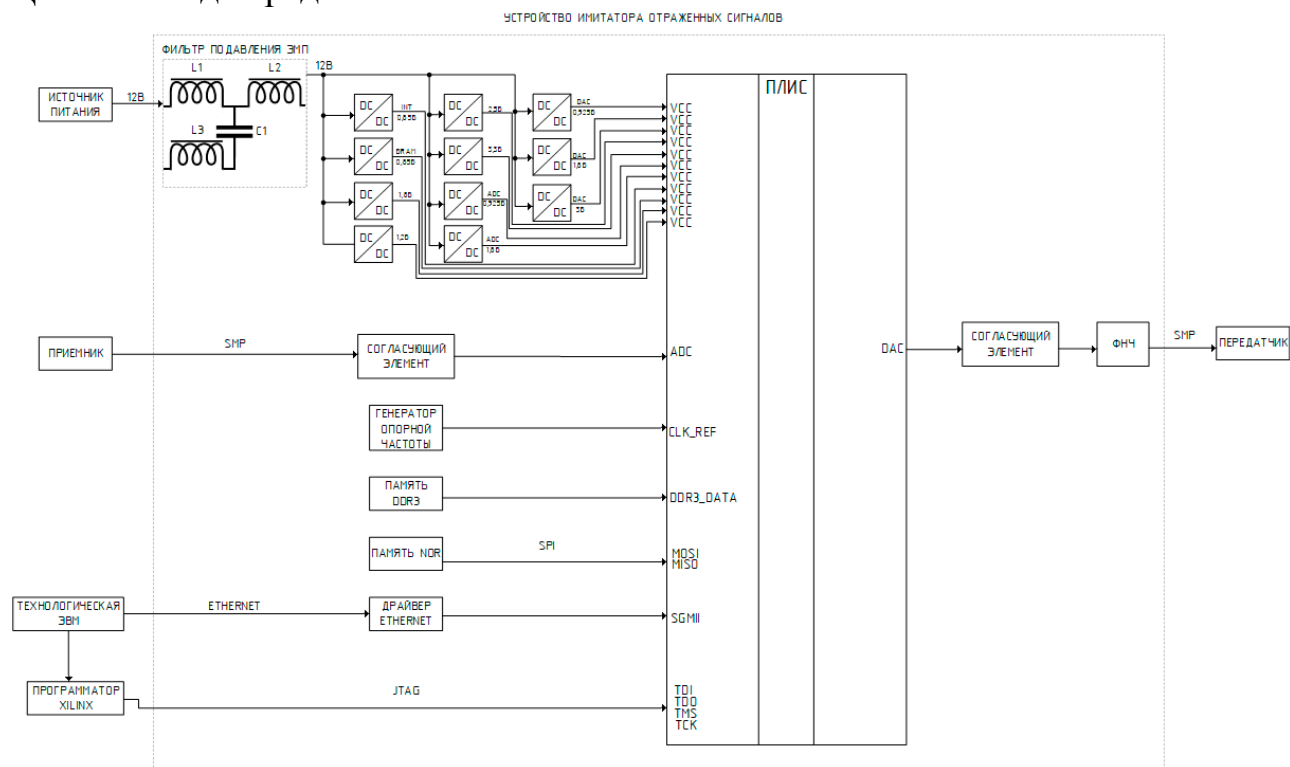


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства имитатора отраженных сигналов

Питание схемы обеспечивает внешний источник на 12 В. Данное входное напряжение преобразуется с помощью ряда понижающих *DC/DC* преобразователей в необходимые напряжения для работы установленных

компонентов. Например, 3,3 В для микросхем памяти и генератора опорной частоты. Для ПЛИС дополнительно требуется ряд напряжений: 3 В, 1,8 В, 1,2 В, 0,85 В, 0,925 В и другие.

Для подавления электромагнитных помех на входе устройства установлен соответствующий фильтр, эффективно работающий в диапазоне рабочих частот 50 кГц – 1 ГГц.

Разрабатываемое устройство не содержит в себе приемо-передающего модуля, а получает уже принятый и предварительно обработанный сигнал через коаксиальный кабель (*SMP*) на вход встроенного в ПЛИС АЦП. Обязательно между разъемом кабеля и ПЛИС наличие согласующего импедансы элемента.

ПЛИС в соответствии с установленными параметрами осуществляет цифровую обработку сигнала. В ходе обработки параметры самого сигнала изменяются таким образом, чтобы имитировать ложные цели. Например, устройство может внести «задержку», что имитирует такой параметр, как дальность цели; может внести изменения в амплитуду сигнала, что имитирует изменение ЭПР цели; может «размножить» сигнал, имитируя таким образом наличие нескольких целей или помех и т.д.

Для того, чтобы параметры обработки можно было изменять в режиме реального времени, предусмотрена возможность подключения технологической ЭВМ к разрабатываемому устройству с помощью Ethernet. Это распространенная технология, обеспечивающая стабильное подключение и необходимую скорость передачи данных. Для согласования уровней и преобразования сигналов с кабеля *Ethernet* в цифровые, которыми оперирует ПЛИС, в устройстве предусмотрен *RNU*-контроллер.

С целью конфигурации (переконфигурации), отладки и тестирования «прошивки» ПЛИС в устройстве предусмотрен разъем *JTAG*, к которому извне можно подключиться с технологической ЭВМ. Также данный разъем необходим, чтобы с его помощью через ПЛИС сохранить файл «прошивки» во *Flash*-память.

Измененный в ходе цифровой обработки сигнал через ЦАП передается на вход устройства-передатчика или модуля приемо-передачи, который переизлучает получившийся сигнал обратно. Также, как и для входной цепи, обязательно наличие согласующего элемента. Дополнительно установлен фильтр нижних частот, чтобы очистить выходной сигнал от высокочастотных шумов и флуктуаций.

В устройстве предусмотрено наличие двух видов памяти – *DDR3* и *NOR*. Для решения текущих задач используется оперативная память *DDR3*. Данная память энергозависима, что означает полную потерю данных после отключения питания. Память *NOR* же наоборот является постоянным запоминающим устройством необходимым для хранения данных, которые должны сохраняться и после отключения питания. Например, «прошивка» ПЛИС и/или образы (шаблоны) сигналов. Интерфейс взаимодействия *SPI*.

Для корректной работы ПЛИС необходим внешний источник опорной частоты 50 МГц. Уже внутри ПЛИС данная частота через *PLL* умножается до необходимых значений.

Таким образом, была разработана функциональная схема устройства многофункционального имитатора отраженных сигналов и рассмотрены её основные функциональные блоки.

В настоящий момент проводится работа над анализом схемотехнических решений и расчётом основных параметров схемы и её элементов, а также подбором компонентой базы. Рассматривается вопрос возможности использования радиоканального управления параметрами обработки наравне с *Ethernet* с целью минимизации экономических затрат, а также упрощения эксплуатации. После этого планируется разработка принципиальной схемы.

Литература

- [1]. ГОСТ 2.701-2008. – URL: <https://protect.gost.ru/> (дата обращения: 16.03.2024)
- [2]. Потехин Д.С., Тарасов И.Е. Разработка систем цифровой обработки сигналов на базе ПЛИС. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 248 с.
- [3]. Строгонов, А.В. Цифровая обработка сигналов в базисе программируемых логических интегральных схем: учебное пособие для вузов / А.В. Строгонов. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025 – 312 с.

*Д.А. Рупшис, маг.; рук. С.А. Климов, д.т.н., доц.
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленский филиал АО «НПК «ТРИСТАН»*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЕНСАЦИОННОГО СПОСОБА СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕСОВЫХ ФУНКЦИЙ ПО РЕАЛЬНЫМ ДАННЫМ

В настоящее время, селекция движущихся целей на фоне интенсивных пассивных помех остаётся одной из важнейших проблем радиолокационной техники. Пассивные помехи, возникающие при отражении зондирующего сигнала от подстилающих поверхностей и препятствий на них, метеообразований, облаков диполей, гидрометеоров и местных предметов могут на десятки децибел превышать уровень полезного сигнала. В этих условиях эффективность обнаружения малоразмерных и малозаметных низкоскоростных целей, в том числе беспилотных летательных аппаратов, определяются качеством работы систем СДЦ.

В современной радиолокации разработано множество методов селекции, движущихся целей [1-3]. Однако, в ряде работ показано, что наибольшая эффективность подавления пассивных помех достигается при использовании компенсационного способа [2, 3].

Сущность рассматриваемого способа базируется на подавлении пассивных помех (ПП) путем компенсации их сигналов на выходе системы частотных фильтров. Формирование данных фильтров происходит после когерентного накопления пачки принятых импульсов, реализуемого посредством алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ) [2, 3]. Процедура компенсации заключается в умножении спектральных составляющих помехи на предварительно рассчитанный весовой вектор. Значения элементов этого

вектора определяются частотными характеристиками фильтров на тех частотах, где предположительно присутствует помеха. В результате в спектре ПП образуются глубокие провалы (нули), причем подавление распространяется и на область боковых лепестков. В исходном варианте способа для взвешивания пачки импульсов перед БПФ применяется прямоугольная весовая функция.

Однако в литературе давно описан и успешно апробирован на практике альтернативный подход к снижению уровня боковых лепестков спектра сигналов (включая ПП). Он основан на взвешивании сигналов во временной области с использованием иных, непрямоугольных, весовых функций (ВФ) [1, 4].

В данной работе предлагается использование компенсационного способа СДЦ вместе с взвешиванием пачки импульсов весовой функцией Кайзера, которая имеет следующие характеристики: относительная энергия боковых лепестков (БЛ) – 0,09 %, уровень максимума БЛ – 30 дБ, нормированная ширина главного лепестка по уровню 3 дБ – 1,2, потери по отношению к прямоугольной ВФ – 3,02 дБ [4].

Оценка эффективности СДЦ производилась по реальным записям полётов беспилотных летательных аппаратов.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты выполнения СДЦ с взвешиванием в виде ВФ Кайзера и без взвешивания. Характеристики ПП и СДЦ в обоих случаях были одинаковыми. Для обнаружения цели, необходимо чтобы её сигнал превысил порог, уровень которого рассчитывается исходя из требований к качеству обнаружения. В данном случае использовался параметр обнаружения в виде вероятности ложной тревоги равной 10^{-6} . Ему соответствует порог с уровнем 14,5 дБ по отношению к шуму. Порог изображён на рисунках 1 и 2 пунктирной линией. В первом случае, показанном на рисунке 1 цель двигалась со скоростью 15 м/с, а во втором – 9 м/с.

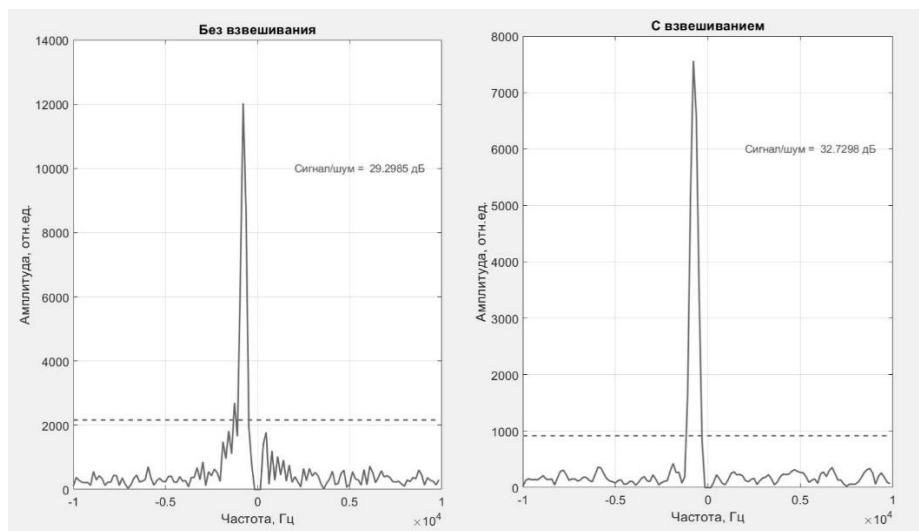


Рисунок 1 – Результат выполнения СДЦ со взвешиванием ВФ Кайзера (слева) и без взвешивания (справа)

Из рисунка 1 видно, что система СДЦ подавила маскирующую ПП и сигнал цели превысил порог обнаружения. При этом отношение сигнал/шум при выполнении СДЦ без взвешивания составило 29,3 дБ, а со взвешиванием – 32,7 дБ.

Таким образом, уровень подавления маскирующих ПП компенсационным способом селекции движущихся целей с использованием ВФ Кайзера повышается, что свидетельствует о его эффективности.

Связано это с тем, что благодаря взвешиванию, мощность сигналов ПП перераспределяется из боковых лепестков спектра в основной лепесток ВФ, и за счёт этого более эффективно подавляется компенсационной системой СДЦ.

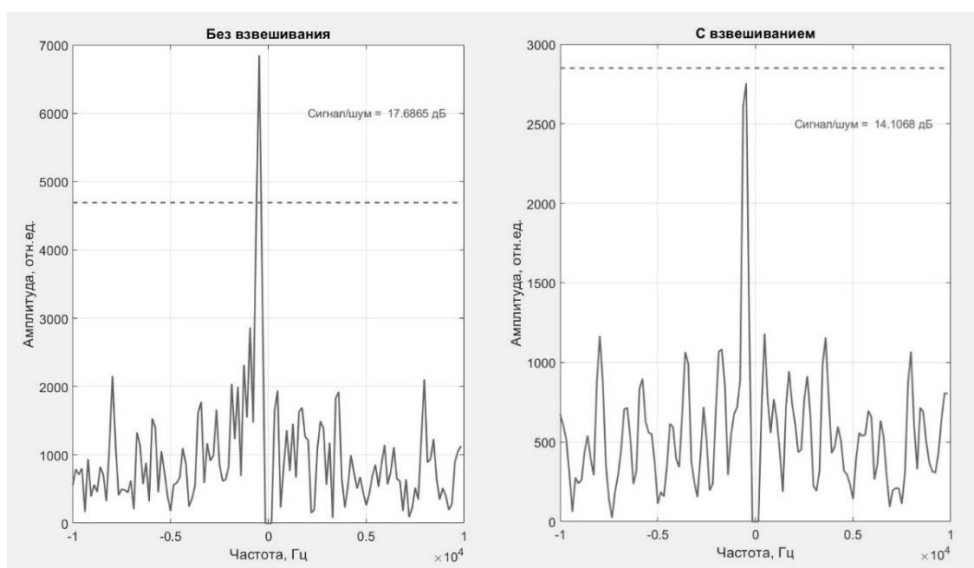


Рисунок 2 – Результат выполнения СДЦ со взвешиванием ВФ Кайзера (слева) и без взвешивания (справа)

Из рисунка 2 видно, что система СДЦ подавила маскирующую ПП, но сигнал цели превысил порог только в случае выполнения СДЦ без взвешивания.

Это показывает, что при использовании СДЦ с весовой функцией происходит увеличение минимальной скорости, с которой должна двигаться цель, необходимой для обнаружения радиолокационной станцией.

Причина этого заключается в следующем. При использовании ВФ главный лепесток доплеровских фильтров расширяется. Как следствие, это приводит к перекрытию спектра сигнала низкоскоростной цели с зоной режекции сигнала ПП, поскольку эта область также расширилась из-за ВФ. Особенно это сказывается для целей с низкой скоростью движения.

Литература

- [1]. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей / П.А. Бакулев, В.М. Степин. – М.: Радио и связь. – 1986. – 288 с.
- [2]. Абраменков В.В., Васильченко О.В., Муравский А.П. Обоснование подхода к построению системы СДЦ РЛС обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: техника и технологии. – 2019. – Т. – 12. – № 7. – С. 780–791.
- [3]. Патент РФ № 2820302. Способ селекции движущихся целей. МПК 13/524, 7/36 (приоритет от 02.12.2022 г.).
- [4]. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. / С. Л. Марпл-мл. – М.: Мир. – 1990. – 584 с.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ПОДАВЛЕНИЯ МАСКИРУЮЩИХ ПАССИВНЫХ ПОМЕХ

Выделение сигнала цели на фоне маскирующих пассивных помех различного происхождения (метеообразования, местные предметы, гидрометеоры, облака диполей) является одной из основных задач в радиолокации. Для её решения применяются радиолокационные станции (РЛС), оснащённые устройствами подавления маскирующих пассивных помех (ПП) или селекции движущихся целей (СДЦ) [1].

В современной радиолокации разработано множество устройств подавления, маскирующих ПП, с различными методами СДЦ. Основной принцип СДЦ базируется на эффекте Доплера [1]. Сигналы от неподвижных местных предметов или медленно движущихся образований (облаков диполей) не обладают доплеровской поправкой частот отражённого сигнала (ОС) и не меняют фазу сигнала от периода к периоду повторения. В то же время фаза сигнала, отраженного от движущейся цели, изменяется пропорционально ее радиальной скорости. Таким образом путём анализа фазы, частоты или амплитуды отражённого сигнала появляется возможность подавления ПП.

Но в настоящее время, из-за появления многочисленного количества малоразмерных и низкоскоростных воздушных объектов, в том числе беспилотных летательных аппаратов, требования к эффективности работы устройств подавления ПП значительно повышаются, поскольку мощность отражений от ПП существенно превосходит мощность сигналов от малоразмерных целей. При этом увеличение мощности зондирующего импульса не решает проблему подавления таких ПП [1]. Кроме того, поскольку полезный сигнал и ПП существуют одновременно, их разделение возможно только на основе частотных различий [1]. Однако ситуация осложняется тем, что ширина спектра ПП может достигать от единиц до десятков процентов от частоты следования зондирующих импульсов РЛС. Вследствие этого, спектры сигналов движущихся (особенно низкоскоростных) целей накладываются на спектр ПП, что диктует необходимость создания новых, более эффективных устройств подавления маскирующих ПП.

В ряде работ доказано, что высокая эффективность подавления маскирующих ПП достигается при использовании компенсационного способа СДЦ [2, 3]. Вместе с тем, ряд результатов моделирования и натурных экспериментов показывают, что потенциал указанного способа СДЦ может быть существенно повышен, если применить весовую обработку сигналов. Поэтому есть основание предполагать, что сочетание компенсационного способа СДЦ с весовой обработкой сигнала может оказаться полезным при разработке радиотехнических систем помехозащиты. Реализация такого подхода даст

существенные технические преимущества: рост коэффициентов подпомеховой видимости, возможность наблюдения низкоскоростных малоразмерных движущихся целей на фоне интенсивных ПП, повышение точности измерения радиальной скорости воздушной цели. В данной работе предлагается перспективный алгоритм работы устройства подавления маскирующих ПП, основанный на использовании компенсационного способа СДЦ совместно с взвешиванием пачки отражённых импульсов весовой функцией (ВФ). Алгоритм работы такого устройства представлен на рисунке 1.

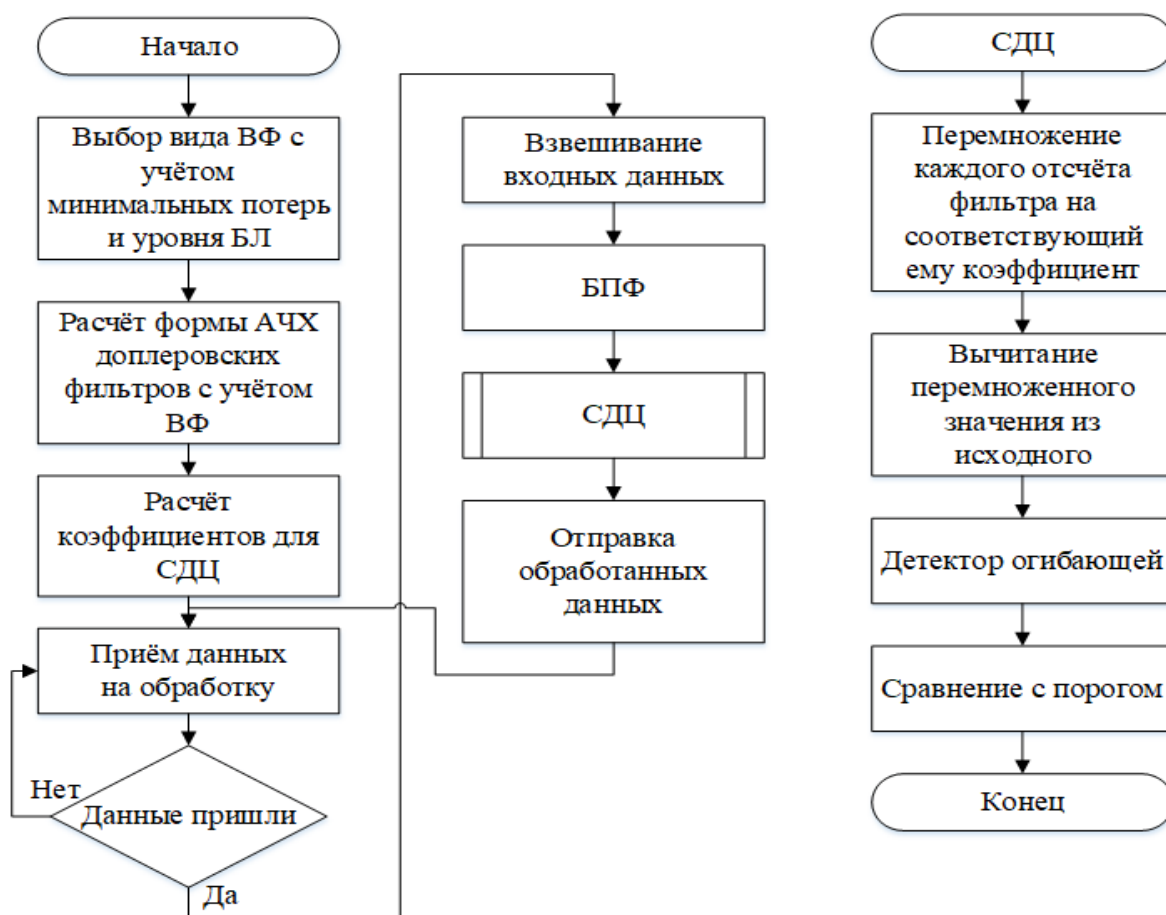


Рисунок 1 – Алгоритм работы устройства подавления маскирующих ПП компенсационным способом СДЦ со взвешиванием входных данных

После инициализации алгоритма происходит расчёт вектора коэффициентов для СДЦ. Значения элементов этого вектора определяются частотными характеристиками фильтров на тех частотах, где предположительно присутствует помеха. При расчёте коэффициентов учитывается форма АЧХ фильтра, полученная с помощью выбранного вида ВФ.

Далее устройство ожидает поступление данных на обработку. Принимаются квадратурные составляющие оцифрованных отсчётов сигнала. Данные организованы в матрицу «дальность – период повторения», где строки соответствуют дальностным каналам, а столбцы – номерам периодов зондирования (импульсам в пачке).

На следующем этапе производится взвешивание входного сигнала ВФ. Благодаря взвешиванию, мощность сигналов ПП перераспределяется из боковых лепестков (БЛ) спектра в основной лепесток ВФ, и за счёт этого более эффективно подавляется компенсационной системой СДЦ. Выбор ВФ влияет на качество подавления боковых лепестков спектра ПП, а также на расширение главного лепестка доплеровских фильтров.

После взвешивания входных данных для каждого строка дальности выполняется быстрое преобразование Фурье (БПФ), формирующее частотные фильтры, необходимые для выполнения компенсационного способа СДЦ.

Сущность компенсационного способа СДЦ базируется на подавлении ПП путём компенсации их сигналов на выходе частотных фильтров. Процедура компенсации заключается в умножении спектральных составляющих ПП на предварительно рассчитанный вектор коэффициентов для СДЦ. После умножения происходит формирование результирующего сигнала путём алгебраического суммирования (комбинации сложения и вычитания) входных данных и полученных при умножении значений. В результате, если входной сигнал принадлежит неподвижному объекту, то в его спектре образуются глубокие провалы (нули) и ПП подавляется. Рассмотренная последовательность действий распространяется и на область боковых лепестков ПП.

Далее, в блоках «Детектор огибающей» и «Сравнение с порогом», происходит выделение амплитуды сигнала и её сравнение с порогом. Уровень порога рассчитывается исходя из среднеквадратического отклонения шума и заданной вероятности ложной тревоги. Если амплитуда сигнала превышает порог, то принимается решение о наличии движущейся цели.

После выполнения СДЦ для каждого строка дальности, формируется массив данных, содержащий информацию о наличии цели и, если она имеется, её параметрах. Затем происходит отправка сформированного массива обработанных данных в систему автоматического сопровождения целей и возвращение к этапу ожидания поступления данных для обработки.

Таким образом, в работе описан перспективный алгоритм работы устройства подавления маскирующих ПП, основанный на использовании компенсационного способа СДЦ, совместно с взвешиванием пачки отражённых сигналов ВФ во временной области.

Литература

- [1]. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей / П.А. Бакулев, В.М. Степин. – М.: Радио и связь. – 1986. – 288 с.
- [2]. Абраменков В.В., Васильченко О.В., Муравский А.П. Обоснование подхода к построению системы СДЦ РЛС обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: техника и технологии. – 2019. – Т. – 12. – № 7. – С. 780–791.
- [3]. Патент РФ № 2820302. Способ селекции движущихся целей. МПК 13/524, 7/36 (приоритет от 02.12.2022 г.).

АКУСТИЧЕСКАЯ МИШЕНЬ ДЛЯ ПНЕВМАТИКИ, ПРИНЦИП РАБОТЫ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Современный спорт и развлекательная стрельба из пневматического оружия предъявляют повышенные требования к удобству и точности фиксации результатов. Традиционные бумажные мишени требуют физического осмотра после каждой серии выстрелов, что неудобно при тренировках. Электронные системы автоматической регистрации попаданий позволяют в реальном времени определять координаты точки удара пули и отображать результат на экране компьютера или иного устройства.

Наибольшее распространение в промышленных системах получили два физических метода обнаружения попадания: акустический и оптический (или комбинированный оптико-акустический). Промышленные решения подобного типа относятся преимущественно к продукции предприятий оборонно-промышленного комплекса и имеют высокую стоимость. В связи с этим разработка доступной электронной мишени на основе акустического метода является актуальной задачей.

Целью данной работы является теоретическое описание принципа работы акустической мишени, вывод математических соотношений для вычисления координат точки попадания, а также обзор элементной базы для реализации подобной системы.

Метод акустической локации основан на следующем физическом явлении. В момент удара пули о мишень (или о поверхность рядом с ней) возникает механический импульс, порождающий упругую волну, распространяющуюся в материале мишени и в воздухе. Пьезоэлектрические датчики (микрофоны или пьезоизлучатели, используемые в режиме приёма), закреплённые в нескольких точках мишени, регистрируют момент прихода этой волны.

Поскольку скорость распространения акустической волны в однородной среде постоянна, разность времён прихода сигнала к двум датчикам однозначно определяет разность расстояний от точки попадания до каждого из них. Геометрическое место точек, для которых разность расстояний до двух фокусов постоянна, является гиперболой. Таким образом, каждая пара датчиков задаёт одну гиперболу, на которой лежит точка попадания. Пересечение двух и более гипербол однозначно определяет координаты точки удара.

Этот принцип известен в литературе как метод *TDOA* (*Time Difference of Arrival* – разность времён прихода). Он широко применяется в системах геолокации, гидроакустике и сейсмологии.

Мишень представляет собой прямоугольную пластину.

На её поверхности (или по периметру) размещены четыре пьезоэлектрических датчика в точках *A*, *B*, *C*, *D* с известными координатами в плоскости мишени (рис. 1).

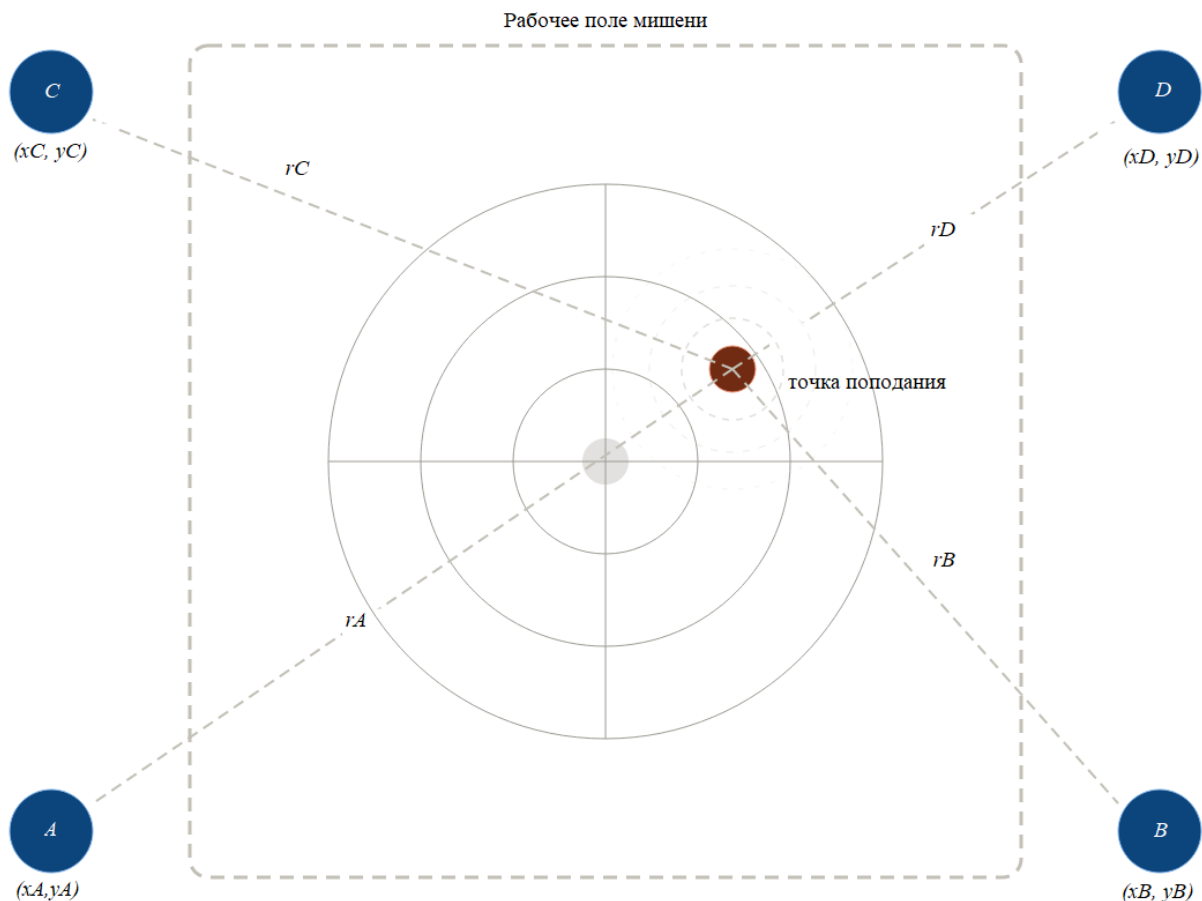


Рис. 1. Расположение акустических датчиков A, B, C, D и точка попадания M

Пусть точка попадания M имеет неизвестные координаты (x, y) . Обозначим расстояния от точки M до каждого датчика:

$$rA = \sqrt{(x - xA)^2 + (y - yA)^2}, \quad (1)$$

$$rB = \sqrt{(x - xB)^2 + (y - yB)^2}, \quad (2)$$

$$rC = \sqrt{(x - xC)^2 + (y - yC)^2}, \quad (3)$$

$$rD = \sqrt{(x - xD)^2 + (y - yD)^2}, \quad (4)$$

где $(xA, yA), (xB, yB), (xC, yC), (xD, yD)$ — координаты датчиков, известные заранее из конструкции мишени.

Пусть датчик A регистрирует приход волны первым (в момент t_0), датчики B, C, D — с задержками $\Delta t_{AB}, \Delta t_{AC}, \Delta t_{AD}$ соответственно.

Тогда:

$$rB - rA = v \Delta t_{AB}, \quad (5)$$

$$rC - rA = v \Delta t_{AC}, \quad (6)$$

$$rD - rA = v \Delta t_{AD}, \quad (7)$$

где v – скорость распространения акустической волны в материале мишени, м/с.

Каждое из уравнений (5) – (7) описывает гиперболу в плоскости мишени с фокусами в соответствующей паре датчиков.

Обозначим $d_{AB} = v \Delta t_{AB}$, $d_{AC} = v \Delta t_{AC}$, $d_{AD} = v \Delta t_{AD}$.

Раскрывая выражения для расстояний и подставляя в уравнение (5), получим:

$$\sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2} - \sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2} = d_{AB}. \quad (8)$$

Аналогичные уравнения записываются для пар (A, C) и (A, D).

Таким образом, задача сводится к решению системы двух (или трёх при избыточном числе датчиков) нелинейных уравнений вида (8) относительно неизвестных x и y .

Для упрощения вычислений применяют метод линеаризации. Возведём обе части уравнения (8) в квадрат после перегруппировки:

$$r_B = r_A + d_{AB}. \quad (9)$$

Тогда:

$$r_B^2 = (r_A + d_{AB})^2 = r_A^2 + 2r_A d_{AB} + d_{AB}^2. \quad (10)$$

Раскрывая r_A^2 и r_B^2 по формулам (1) и (2):

$$(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2 = (x - x_A)^2 + (y - y_A)^2 + 2r_A d_{AB} + d_{AB}^2. \quad (11)$$

Раскрывая скобки и сокращая x^2 и y^2 :

$$-2x_B x - 2y_B y + x_B^2 + y_B^2 = -2x_A x - 2y_A y + x_A^2 + y_A^2 + 2r_A d_{AB} + d_{AB}^2. \quad (12)$$

Переносим все члены в одну сторону:

$$2(x_A - x_B)x + 2(y_A - y_B)y - 2d_{AB}r_A = d_{AB}^2 + x_A^2 + y_A^2 - x_B^2 - y_B^2. \quad (13)$$

Уравнение (13) линейно относительно x , y и r_A .

Записав аналогичные выражения для пар (A, C) и (A, D), получим систему трёх линейных уравнений:

$$2(x_A - x_B)x + 2(y_A - y_B)y - 2d_{AB}r_A = k_{AB}. \quad (14)$$

$$2(x_A - x_C)x + 2(y_A - y_C)y - 2d_{AC}r_A = k_{AC}. \quad (15)$$

$$2(x_A - x_D)x + 2(y_A - y_D)y - 2d_{AD}r_A = k_{AD}. \quad (16)$$

где $k_{AB} = d_{AB}^2 + x_A^2 + y_A^2 - x_B^2 - y_B^2$, и аналогично для остальных пар.

Система (14) – (16) содержит три уравнения и три неизвестных (x , y , rA) и может быть решена методом Гаусса или матричным методом.

Систему (14) – (16) запишем в матричной форме:

$$Au = b, \quad (17)$$

где вектор неизвестных $u = [x, y, rA]^T$, матрица коэффициентов:

$$A = \begin{bmatrix} 2(xA - xB) & 2(yA - yB) & -2d_{AB} \\ 2(xA - xC) & 2(yA - yC) & -2d_{AC} \\ 2(xA - xD) & 2(yA - yD) & -2d_{AD} \end{bmatrix}, \quad (18)$$

вектор правых частей $b = [k_{AB}, k_{AC}, k_{AD}]^T$.

Решение:

$$u = A^{-1} b \quad (19)$$

Первые два компонента вектора u дают искомые координаты точки попадания (x , y). Третий компонент rA является вспомогательным и представляет расстояние от точки попадания до «опорного» датчика A , что может быть использовано для контроля достоверности результата.

Практическая реализация акустической мишени включает следующие основные функциональные узлы:

- в качестве акустических датчиков применяются пьезоэлектрические преобразователи (пьезоизлучатели), например, отечественный ЗП-3 или его аналоги. При ударе пули с кинетической энергией до 3 Дж такие датчики генерируют импульс напряжения амплитудой до 0,5 В, что достаточно для непосредственного подключения к логическому входу микроконтроллера через подстроечный резистор без дополнительного усилителя,

- для преобразования аналогового сигнала датчика в цифровой логический уровень используется компаратор.

Порог срабатывания задаётся делителем напряжения или подстроечным резистором.

Простейший вариант использования встроенных компараторов микроконтроллера или непосредственное подключение к цифровому входу при достаточной амплитуде сигнала.

Связь микроконтроллера с компьютером осуществляется, как правило, по интерфейсу *UART* через адаптер *USB–UART* (например, *CH340*, *CP2102*).

Питание схемы при этом может осуществляться непосредственно от *USB*-порта (напряжение 5 В).

Программное обеспечение. На стороне компьютера программное обеспечение принимает четыре временные метки (моменты срабатывания датчиков), вычисляет разности времён по формулам (5) – (7), решает систему уравнений (14) – (16) и отображает точку попадания на экране в виде визуализированной мишени.

При реализации акустической мишени необходимо учитывать ряд практических особенностей.

Если датчик расположен в углу мишени, то при попадании рядом с ним угол между направлением звуковой волны и прямой до следующего датчика может быть велик, что приводит к значительной погрешности.

Проблема решается выносом датчиков за пределы рабочего поля мишени, что уменьшает угловую погрешность до допустимых значений.

В работе рассмотрен принцип работы электронной акустической мишени для пневматического оружия, основанный на методе *TDOA*.

Показано, что задача определения координат точки попадания сводится к решению системы нелинейных уравнений, которая линеаризуется и может быть решена матричным методом (формула (19)).

Точность системы при разрешении таймера 1 мкс составляет порядка 2 мм, что достаточно для применения в спортивной и развлекательной стрельбе.

Описанная элементная база (пьезодатчики типа ЗП-3, микроконтроллер с аппаратными таймерами, интерфейс *USB-UART*) позволяет реализовать систему с минимальными аппаратными затратами.

Литература

[1]. Захаров В. Электронно-акустическая мишень // Радио. — 1979. — № 5. — С. 17–19.

[2]. Петрушев А. Мишень для пневматики с определением точки попадания [Электронный ресурс]. — URL: https://autobills.ru/articles.files/Electronic_target.html (дата обращения: 10.03.2026).

*М.А. Рыжиков, студ.; рук. В.А. Орехов, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СИГНАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ ДАЧНОГО ДОМА

В статье рассматривается вариант реализации сигнализации для дачного дома. Устройство способно взаимодействовать с различными видами датчиков, иметь несколько каналов их подключения, чтобы в случае выхода из строя датчиков, устройство можно было быстро продиагностировать и устранить причину неисправности. Устройство должно иметь возможность быстрой постановки на охрану, а также удобный, но надёжный от случайного нежелательного снятия, способ снятия с охраны.

В последние годы участились кражи и пожары в частных домах. Статистика подтверждает увеличение числа краж из дачных домов. По данным МВД, в 2025 году зарегистрировано свыше 195 тысяч преступлений, связанных с противоправным проникновением в частную собственность, что на 13% больше, чем годом ранее. Злоумышленники совершенствуют методы работы: используют радиоподаватели сигналов, тепловизоры, GPS-трекеры и анализ соцсетей для анализа и выбора целей. Это требует развития систем сигнализации с учётом новых угроз.

Современные устройства автономных сигнализаций часто используют беспроводные каналы связи с владельцем дома. Такие решения значительно увеличивают стоимость готового изделия. В условиях ограничений мобильного интернета эффективность таких систем снижается. Уведомления о состоянии сигнализации могут приходить с задержкой. Поэтому предлагается устройство, которое лишено таких недостатков и использует звуковое привлечение внимания окружающих. Разрабатываемое устройство будет актуально для плотной пригородной застройки, когда есть возможность привлечения внимания, при помощи подачи звуковых сигналов.

Новое устройство должно поддерживать работу с разными видами датчиков (датчик обнаружения дыма, датчик объёма, датчик разбития стекла), а также подключение звукового оповещателя для привлечения внимания соседей.

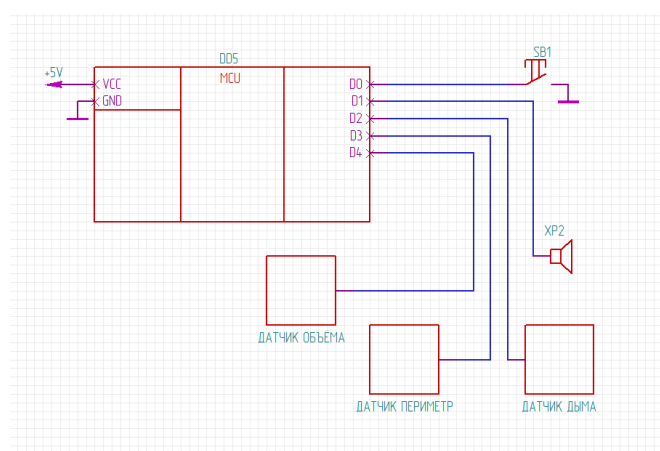


Рисунок 10 – Структурная схема

В предложенной схеме кнопка SB1 выполняет функцию снятия и постановки устройства на охрану, датчик дыма остаётся всегда включённым. Механизм постановки устройства на охрану реализован секретной комбинацией схожей с азбукой Морзе.

Датчики одного типа протокола связи могут соединяться последовательно или параллельно, делается это для того, чтобы сэкономить количество выводов на плате. Они существуют двух типов: постоянно замкнутые и постоянно разомкнутые. На плате реализовано подключение датчиков одного типа параллельно, с целью разнесения датчиков по разным комнатам, что позволяет избежать сбоя, если не работает один из датчиков.

Датчик разбития стекла реализован совместно с датчиком периметра, срабатывает на звук. При превышении допустимой нормы шума датчик размыкает цепь, и микроконтроллер даёт команду на звуковой оповещатель.

Датчик объёма срабатывает на ИК-свечение объектов: если в зону действия попадает излучающий в необходимом диапазоне объект, это становится поводом срабатывания сигнала тревоги для микроконтроллера. В схеме используется пассивный датчик, он только принимает сигнал и не подсвечивает объекты.

Датчик дыма также работает в нормально замкнутом режиме, то есть, когда нет никаких угроз, выводы датчика замкнуты. Его работа основана на

оптическом методе обнаружения задымления. Внутри датчика находится источник инфракрасного излучения и фотоприёмник. В спокойном состоянии на фотоприёмник излучение не попадает, при попадании дыма излучение преломляется и часть попадает на фотоприёмник, что и даёт сигнал на микроконтроллер.

Таким образом, предложенное устройство способно привлекать внимание окружающих и отпугивает злоумышленников громким звуком, а также круглосуточно следит за пожарной безопасностью. Пожарные датчики реагируют не только на открытый огонь, а также на тлеющий, когда появляется только дым, что может позволить привлечь внимание соседей и самостоятельно потушить очаг возгорания, либо своевременно вызвать пожарную бригаду.

Устройство имеет не высокую стоимость, обладает основными функциями, которые необходимы для слежения и привлечения внимания. Доступно подключения различных датчиков, которые интересуют заказчика. Подключение датчиков к разным шлейфам гарантирует резервирование каналов и быструю диагностику возможных сбоев.

Литература

- [1]. Козлюк, А. Г. Применение системы пожарной сигнализации для обеспечения безопасной эксплуатации многоквартирных домов / А. Г. Козлюк, М. В. Завалей // Наука и инновации в строительстве : Сборник докладов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры строительства и городского хозяйства, Белгород, 14 апреля – 14 2022 года. Том 1. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 222-225. – EDN LIZKGN.
- [2]. Типы датчиков в охранно-пожарной сигнализации / В. В. Ермаков, И. В. Гуляченко, Р. Ш. Кумалатов, А. Н. Степанько // Modern Science. – 2021. – № 11-2. – С. 292-294. – EDN WFPRVG.

*М. Г. Саркисян, студ.; рук. М. С. Ковалева, асс.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТЮНЕР

Электронный тюнер – устройство, предназначенное для определения и настройки частоты музыкальных инструментов (например, гитар, скрипок, фортепиано и т. д.). Он заменяет традиционные механические тюнеры, обеспечивая более точную и быструю настройку.

Основной функционал тюнера обеспечивает:

- измерение частоты входного сигнала (от настраиваемого музыкального инструмента),

- отображение названия ноты (например, «до», «ре» и т. д.),

- настройку по октавам (отображение октавы, в которой находится звук),

Разрабатываемый тюнер имеет следующую структурную схему (рис. 1) [1]:



Рисунок 1 – Структурная схема тюнера

Входными сигналами могут служить как акустический, так и цифровой сигнал. Они принимаются акустическим датчиком и входом для электронных инструментов соответственно. На дисплее будут расположены: звучащая нота и ее частота, отклонение от ноты в центах (один полутон – 100 центов). На рис .2 – пример реализации такого дисплея.



Рисунок 2 – Пример реализации дисплея

Также тюнер можно использовать в учебных и профессиональных целях. Для этого предусмотрены следующие дополнительные функции:

- Тюнинг по интервалам (кварта, квинта, септима и т.д.).

Определение интервала в контексте тюнера – это сравнение разницы между основными частотами для определения того, какой музыкальный интервал они образуют.

- Модуль внешней связи

Благодаря данному модулю можно управлять тюнером через мобильное приложение с расширенными функциями: настройка, запись, анализ, обучение, поддержка подключения к музыкальным системам, аудиоредакторам или обучающим приложениям, отображение информации на большом экране смартфона или планшета, что удобнее, чем маленький дисплей тюнера.

Разрабатываемый тюнер, в связи с этим имеет преимущества по ряду критериев по сравнению с обычными коммерческими тюнерами (Таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительная характеристика

Критерий	Разрабатываемый тюнер	Обычные коммерческие тюнеры
Распознавание интервалов	+	-
Возможность обработки и цифровых, и акустических сигналов	+	-
Поддержка USB	+	+
Поддержка Bluetooth	+	-
Поддержка пользовательских сценариев	+	+

Для того чтобы тюнер мог обрабатывать 8 октав звуков (от *ми* суб-контроктавы до *ми* пятой октавы) диапазон частот устройства должен быть таковым: 20 - 5300 Гц (Таблица 3).

Таблица 3 – Сводная таблица частот нот по октавам

Частота, Гц		Суб-контр- октава	Контр- октава	Большая октава	Малая октава	1.00 октава	2.00 октава	3.00 октава	4.00 октава	5.00 октава
До	C		32.70	65.41	130.82	261.63	523.25	1046.50	2093.00	4186.00
До-диез	C		34.65	69.30	138.59	277.18	554.36	1108.70	2217.40	4434.80
Ре	D		36.95	73.91	147.83	293.66	587.32	1174.60	2349.20	4698.40
Ре-диез	D		38.88	77.78	155.56	311.13	622.26	1244.50	2489.00	4978.00
Ми	E	20.61	41.21	82.41	164.81	329.63	659.26	1318.50	2637.00	5274.00
Фа	F	21.82	43.65	87.31	174.62	349.23	698.46	1396.90	2793.80	
Фа-диез	F	23.12	46.25	92.50	185.00	369.99	739.98	1480.00	2960.00	
Соль	G	24.50	49.00	98.00	196.00	392.00	784.00	1568.00	3136.00	
Соль-диез	G	25.95	51.90	103.80	207.00	415.30	830.60	1661.20	3332.40	
Ля	A	27.50	55.00	110.00	220.00	440.00	880.00	1720.00	3440.00	
Си-бемоль	B	29.13	58.26	116.54	233.08	466.16	932.32	1864.60	3729.20	
Си	H	30.87	61.74	123.48	246.96	493.88	987.75	1975.50	3951.00	

Функциональная схема тюнера показана на рисунке 3.

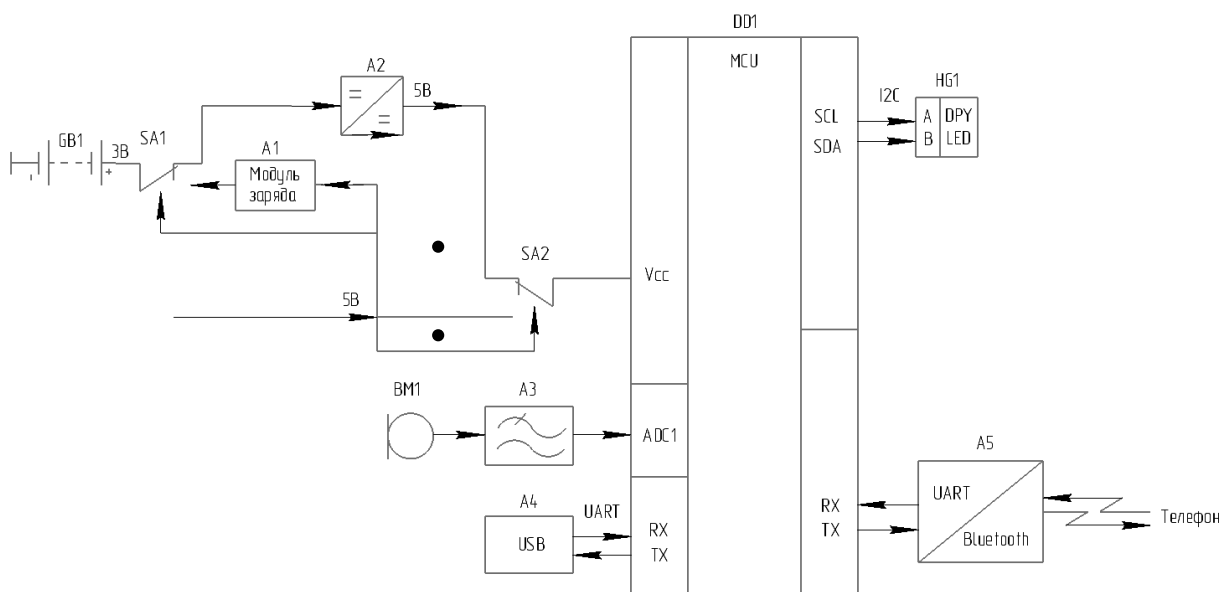


Рисунок 3 – Функциональная схема устройства

Питающее напряжение 3 В подается на устройство после нажатия кнопки включения от литиевой батареи GB1 (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

Основу блока управления составляет микроконтроллер ATmega 4809 со следующими техническими характеристиками [2], [3]:

- тактовая частота – 20 МГц;
- количество входов/выходов – 41;
- объем памяти программ – 48 КБ (48К × 16);
- тип памяти программ – *flash*;
- объем EEPROM – 256×8;
- объем RAM – 6 КБ × 8;
- наличие АЦП/ЦАП – 16×10b;
- встроенные интерфейсы – I2C, SPI, UART;
- напряжение питания – 1,8–5,5 В;
- рабочая температура – от -40 до +125°C;
- корпус – TQFP-48 (7×7);
- количество каналов ШИМ – 9;
- количество преобразователей A/D – 12.

Микроконтроллер DD1 получает сигналы от датчиков, анализирует их по заложенной программе и в зависимости от результата дает команду исполнительным механизмам.

Акустический сигнал от музыкальных инструментов принимается через микрофон BM1, сигнал от электронных инструментов – через USB-порт A4.

Входной сигнал, содержащий как полезный аудиосигнал, так и шумовые компоненты, подается на вход фильтра низких частот АЗ. Он пропускает низкочастотные компоненты сигнала, характерные для полезной информации, и подавляет высокочастотный шум. Таким образом, максимально точно определяется частота входного сигнала и, соответственно, нота/интервал. Аналогово-цифровой преобразователь, встроенный в микроконтроллер, позволит превратить звук в электрический сигнал.

Текущая нота или интервал, погрешность в центах отображается на LED-дисплее HG1. Передача данных по Bluetooth осуществляется с помощью модуля A5, подключенного по интерфейсу UART (последовательному порту).

Таким образом, в ходе работы были разработаны структурная и функциональная схемы электронного тюнера для музыкальных инструментов, описан принцип его работы.

Литература

- [1]. Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. ГОСТ 2.701-2008 – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=230906> (дата обращения: 22.02.2026). – Текст: электронный.
- [2]. Разновидности плат Arduino: полный обзор [сайт]. – URL: <https://mikrokontroller.ru/arduino-projects/raznovidnosti-plat-arduino-polnyj-obzor/?ysclid=mmf4ojvthm893937033> (дата обращения: 27.02.2026). – Текст: электронный.
- [3]. ATMEGA4809-AFR, Микроконтроллер megaAVR, 8-Бит, 20МГц, 48КБ Flash, 41 I/O [TQFP-48.] – URL: <https://www.chipdip.ru/product/atmega4809-afr-mikrokontroller-megaavr-8-bit-microchip-9001089772?ysclid=mmjaiz0h88266761631> (дата обращения: 22.02.2026). – Текст: электронный.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ И ВОЛНЫМ ФРОНТОМ СУБТЕРАГЕРЦОВЫХ ВОЛН

Терагерцовый диапазон (0,1-10 ТГц) представляет интерес для систем связи нового поколения, спектроскопии и методов неразрушающего контроля. Ключевая задача при разработке терагерцовых устройств – управление параметрами волны: фазой, амплитудой и поляризацией. Традиционные элементы (линзы, поляризаторы, фазовые пластинки) в этом диапазоне либо громоздки, либо сложны в изготовлении. Параметры и характеристики ограничены достижимыми физическими величинами, такими как коэффициент преломления, коэффициент диэлектрической проницаемости, материальных веществ.

Альтернативой выступают метаповерхности – двумерные структуры из субволновых резонаторов (метаатомов), позволяющие локально изменять характеристики волны на границе раздела сред. Толщина таких структур значительно меньше длины волны, что обеспечивает возможность создания компактных устройств. Общий вид типичной метаповерхности и её функциональные возможности представлены на Рисунок 1 – Схематическое представление метаповерхности и её функциональных возможностей.

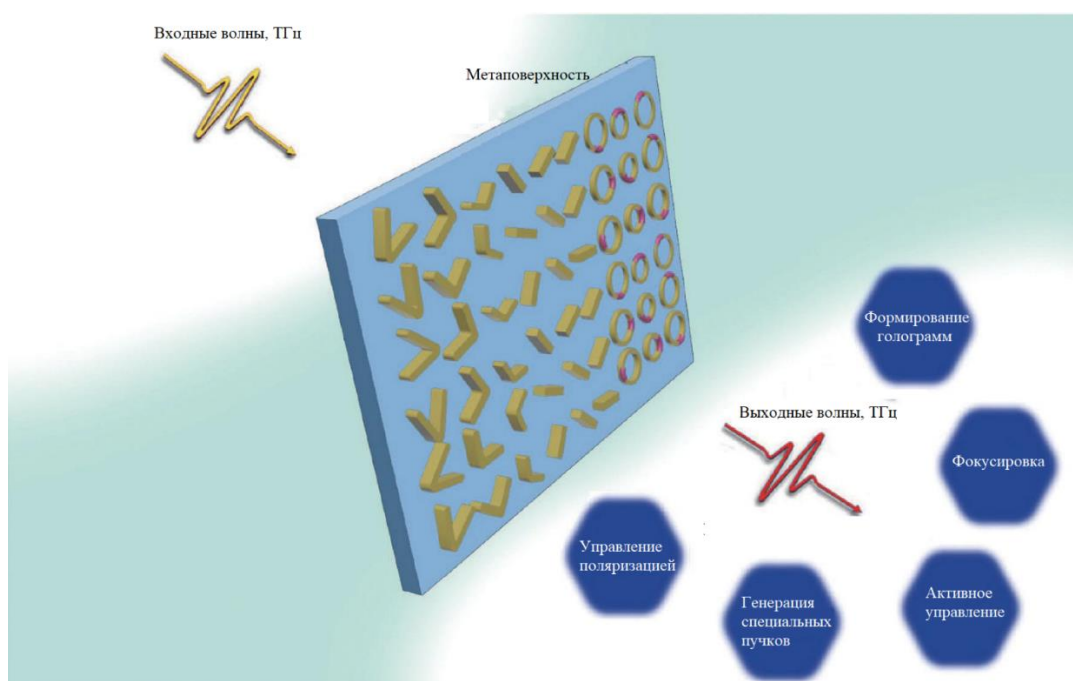


Рисунок 1 – Схематическое представление метаповерхности и её функциональных возможностей

Настоящая работа представляет собой сравнительный анализ. На основе анализа актуальных литературных источников в ней систематизированы основные подходы к управлению поляризацией и волновым фронтом субтерагерцовых волн с помощью метаповерхностей, а также рассмотрены современные тенденции развития активных и программируемых структур

Рассмотрение литературных данных показывает, что управление волновым фронтом с помощью метаповерхностей строится на двух базовых физических механизмах.

Первый механизм основан на резонансных свойствах метаатомов и используется преимущественно для управления волнами линейной поляризации. Изменяя геометрические параметры элементов (длину, ширину, форму, зазоры), можно получить требуемый фазовый сдвиг. Классическими примерами являются V-образные, С-образные и крестообразные резонаторы. Фазовый градиент, создаваемый набором таких элементов, подчиняется обобщённому закону Снеллиуса, что позволяет реализовывать отклоняющие элементы и линзы [1].

Второй механизм известен как геометрическая фаза или фаза Панчаратнама-Берри. Он реализуется поворотом идентичных анизотропных метаатомов. При падении волны с круговой поляризацией часть энергии переходит в противоположную круговую поляризацию и приобретает фазовый набег, равный удвоенному углу поворота элемента. Преимуществом данного подхода является широкополосность, поскольку фаза не зависит от частоты, а определяется только ориентацией элементов [2].

Примеры метаатомов, реализующих описанные подходы, представлены на Рисунок 2 – Примеры метаатомов для управления волновым фронтом: А) резонаторы криволинейной формы с изменяемой геометрией (резонансный подход); Б) стержневые резонаторы с изменяемой ориентацией (геометрическая фаза).

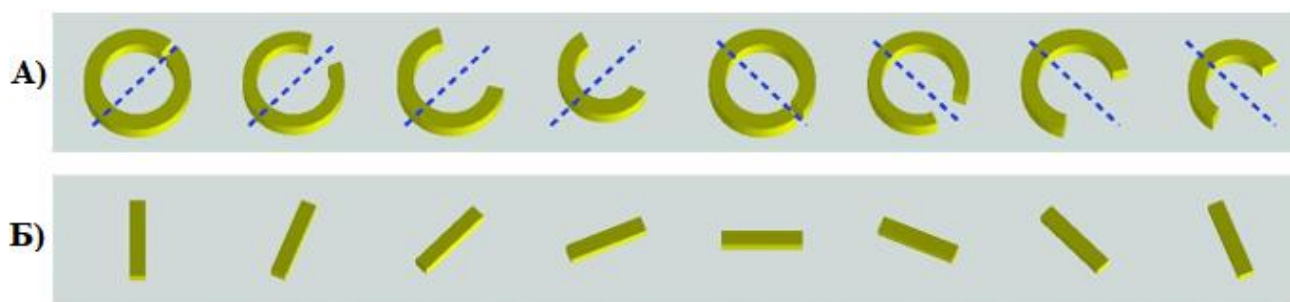


Рисунок 2 – Примеры метаатомов для управления волновым фронтом:

А) резонаторы криволинейной формы с изменяемой геометрией (резонансный подход); Б) стержневые резонаторы с изменяемой ориентацией (геометрическая фаза)

На основе описанных механизмов реализуются два основных класса поляризационных устройств.

Полуволновые пластинки, преобразующие линейную поляризацию в ортогональную, создаются на основе анизотропных метаатомов, обеспечивающих разность фаз 180° между ортогональными компонентами поля. Согласно анализу экспериментальных данных, эффективность преобразования выше 80% в диапазоне частот 0,73-1,8 ТГц.

Четвертьволновые пластинки, обеспечивающие преобразование линейной поляризации в круговую и обратно, требуют разности фаз 90° . Для их реализации используются структуры с нарушенной симметрией, такие как разомкнутые кольцевые резонаторы со смещёнными зазорами, а также многослойные конфигурации. Рассмотренные работы демонстрируют эффективность преобразования до 92% в полосе до 1,8 ТГц.

Метаповерхности позволяют формировать не только поляризацию, но и сложную пространственную структуру поля. Создание линейного фазового профиля даёт возможность отклонять пучок, параболического – фокусировать. Диэлектрические метаповерхности на основе кремния обеспечивают фокусировку с эффективностью до 60-70%.

Формирование фазового профиля вида $\exp(il\varphi)$, где φ – азимутальный угол, а l – топологический заряд, позволяет получать вихревые пучки, несущие орбитальный угловой момент. В источниках экспериментально подтверждена генерация пучков с зарядами $l = \pm 1, \pm 2$ с эффективностью до 65%.

Специальные фазовые маски, например аксикон, позволяют формировать бездифракционные пучки Бесселя, сохраняющие структуру на протяжении до 27λ и более, что перспективно для задач визуализации.

Анализ показывает, что современным трендом является переход от статических структур к устройствам с динамически перестраиваемыми функциями. Это достигается интеграцией метаповерхностей с материалами, чувствительными к внешним воздействиям. Диоксид ванадия (VO_2), испытывающий фазовый переход изолятор-металл при нагреве, позволяет переключать функцию устройства. Графен обеспечивает электрическую перестройку фазы и амплитуды за счёт изменения уровня Ферми под действием напряжения. Жидкие кристаллы и полупроводники также применяются для создания перестраиваемых устройств [3].

Отдельное направление представляют кодированные и программируемые метаповерхности, где фазовый отклик элемента описывается цифровыми битами (например, 0 или π для 1-битного случая). Комбинация битов в определённой последовательности позволяет управлять диаграммой рассеяния, а использование управляющих схем даёт возможность динамически изменять эту последовательность.

Рассмотренные устройства относятся к классу пассивных метаповерхностей с фиксированной геометрией элементов. Наряду с ними развиваются активные структуры, интегрированные с материалами, чувствительными к внешним воздействиям (VO_2 , графен, жидкие кристаллы), что позволяет реализовать динамическую перестройку параметров. Сравнение этих двух классов представлено в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнение пассивных и активных метаповерхностей

Параметр	Пассивные метаповерхности	Активные метаповерхности
Основа метода	Фиксированная геометрия метаатомов	Синтез с управляемыми материалами
Реализуемые функции	Одно-многофункциональные (частотное/поляризационное мультиплексирование)	Переключаемые функции, динамическая настройка параметров
Эффективность	До 80-92% (в диэлектрических структурах)	До 70-80% (с учётом потерь в управляющих материалах)
Быстродействие	Не применимо	От миллисекунд (тепловое управление) до наносекунд (электрическое управление)
Сложность изготовления	Средняя (литография)	Высокая (необходимость интеграции разнородных материалов)

По результатам выполненного сравнительного анализа можно сделать следующие выводы:

- резонансный подход целесообразно применять в задачах, требующих максимальной эффективности преобразования (до 92%) при работе с линейной поляризацией в ограниченной полосе частот;

- геометрическая фаза предпочтительна для широкополосных устройств, манипулирующих круговой поляризацией, обеспечивая частотную независимость фазового отклика;

- на основе обоих подходов реализуются как поляризационные устройства (полуволновые и четвертьволновые пластинки), так и элементы для формирования сложного волнового фронта (линзы, дефлекторы, вихревые и бесселевы пучки);

- диэлектрические метаповерхности на основе кремния демонстрируют лучшие характеристики по сравнению с металлическими аналогами благодаря меньшим потерям и более высокой добротности резонансов;

- перспективным направлением дальнейших исследований является интеграция метаповерхностей с материалами, чувствительными к внешним воздействиям (VO_2 , графен, жидкие кристаллы), что позволит перейти от статических структур к устройствам с динамической перестройкой параметров в реальном времени.

Литература

- [1]. Tian H.W., Shen H.Y., Zhang X.G., Li X., Jiang W.X., Cui T.J. Terahertz Metasurfaces: Toward Multifunctional and Programmable Wave Manipulation // *Frontiers in Physics*. 2020. Vol. 8. Article 584077. (Дата обращения 03.03.2026)
- [2]. Zang X., Yao B., Chen L., Xie J., Guo X., Balakin A.V., Shkurinov A.P., Zhuang S. Metasurfaces for manipulating terahertz waves // *Light: Advanced Manufacturing*. 2021. Vol. 2. P. 148-172. (Дата обращения 03.03.2026)

*Д.И. Семенков, студ.; рук. С.П. Астахов, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СЕНСОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Оперативный контроль состояния окружающей среды требует использования мобильных платформ, способных проводить измерения в различных точках пространства. Беспилотные воздушные суда (БВС) являются оптимальным решением благодаря гибкости применения, относительно низкой стоимости и возможности оснащения различным измерительным оборудованием. Однако эффективность мониторинга определяется в первую очередь не столько носителем, сколько установленными на нём сенсорами.

Настоящая работа представляет собой анализ и сравнение сенсорного оборудования, применяемого на БВС для задач экологического мониторинга. Рассматриваются типы сенсоров, их принципы действия, измеряемые параметры, достоинства и ограничения, а также аппаратные решения для сбора и обработки данных.

Полезная нагрузка БВС включает несколько взаимосвязанных подсистем, обеспечивающих сбор, первичную обработку и передачу данных. Обобщённая структура представлена на рис. 1.

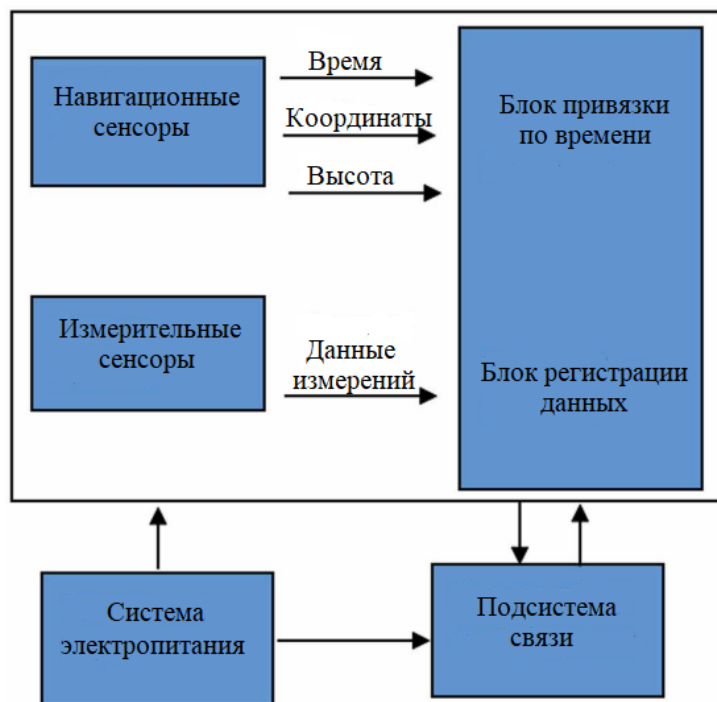


Рисунок 1 – Компоненты полезной нагрузки БВС

Сенсорное оборудование, устанавливаемое на БВС, можно разделить на несколько основных категорий в зависимости от физического принципа измерения и целевых параметров. Обобщённая характеристика представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнение основных типов сенсоров

Тип сенсора	Измеряемые параметры	Преимущества	Ограничения
Мультиспектральная камера	Индексы вегетации (<i>NDVI</i>), показатели растительности	Компактность, отработанные методики	Чувствительность к освещению
Гиперспектральная камера	Спектральные подписи загрязнений, состав воды и почвы	Высокая информативность	Высокая стоимость, большой объём данных
Лидар	Структура леса, рельеф, 3D-модели	Точность, проникновение сквозь кроны	Высокая стоимость, сложность обработки
Тепловизор	Тепловые аномалии, пожары, сбросы тёплой воды	Работа ночью, обнаружение скрытых очагов	Низкое разрешение, зависимость от погодных условий
Газоанализатор	Концентрации газов (CO_2 , CH_4 , SO_2)	Прямые замеры, высокая точность	Точечный забор проб, калибровка

Наибольший интерес для задач оперативного экологического контроля представляют газоанализаторы, позволяющие получать количественные данные о концентрациях загрязняющих веществ. В зависимости от принципа действия выделяют электрохимические, оптические (*NDIR*) и фотоионизационные (*PID*) датчики [3].

Электрохимические сенсоры (например, серия *Alphasense A4*) используются для измерения CO , NO_2 , SO_2 , O_3 . Принцип действия основан на изменении тока при окислении или восстановлении газа на электроде. Схема работы такого сенсора представлена на рис. 2.



Рисунок 2 – Принцип работы электрохимического газового сенсора

Оптические датчики на основе недисперсионного инфракрасного поглощения (*NDIR*) применяются для измерения CO_2 и метана. Они обладают высокой стабильностью и избирательностью, но более громоздки и энергозатратны.

Фотоионизационные детекторы (*PID*) используются для обнаружения летучих органических соединений (*VOC*) с чувствительностью до долей *ppb*. Принцип действия основан на ионизации молекул ультрафиолетовым излучением. *PID*-сенсоры незаменимы при мониторинге промышленных выбросов и утечек [4].

Для контроля загрязнения воздуха взвешенными частицами (*PM₁*, *PM_{2.5}*, *PM₁₀*) используются оптические счётчики частиц, например, *Alphasense OPC-N2* и *OPC-N3* [5]. Принцип действия основан на рассеянии лазерного излучения отдельными частицами, проходящими через измерительную камеру. По амплитуде и форме рассеянного импульса определяется размер частицы, по количеству импульсов – концентрация. Преимуществом таких датчиков является возможность измерения распределения частиц по размерам в реальном времени. Основные ограничения связаны с влиянием влажности и необходимостью защиты от попадания крупных загрязнений.

Сенсоры формируют аналоговые или цифровые сигналы, которые требуют согласования, оцифровки и предварительной обработки. Типовое решение для БВС малого класса – использование одноплатных компьютеров, таких как *Raspberry Pi*, в сочетании со специализированными интерфейсными платами [6].

Для электрохимических сенсоров *Alphasense* применяются аналоговые интерфейсные платы *AFE (Analog Front End)*, обеспечивающие стабилизацию напряжения смещения (например, 200 мВ для *NO*-сенсоров) и первичное усиление сигнала. Платы *AFE* включают терморезистор *pt1000* для температурной коррекции и поддерживают одновременное подключение до четырёх сенсоров различных типов [3].

Собранные данные могут передаваться на наземную станцию в реальном времени по радиоканалу либо сохраняться на бортовой накопитель для последующей обработки. Применение нейросетевых методов, в частности, *denoising autoencoder*, позволяет сжимать данные и восстанавливать пропущенные измерения при ограниченной пропускной способности канала связи [7].

Выбор конкретного типа сенсорного оборудования определяется задачами мониторинга и условиями проведения измерений. Для локального мониторинга промышленных зон оптимально сочетание электрохимических газоанализаторов и датчиков частиц. При картировании больших территорий целесообразно применение мультиспектральных или гиперспектральных камер. Для обнаружения источников загрязнения в труднодоступных местах необходимы лёгкие мультироторные БВС с компактными газоанализаторами.

Ключевыми ограничениями при интеграции сенсоров на БВС остаются масса полезной нагрузки и энергопотребление. Увеличение количества сенсоров

снижает время полёта, что требует компромисса между полнотой измерений и продолжительностью миссии.

В результате выполненного анализа можно сделать следующие выводы:

для задач экологического мониторинга с использованием БВС применяется широкий спектр сенсоров: мультиспектральные и гиперспектральные камеры, лидары, тепловизоры, газоанализаторы и датчики частиц;

газоаналитическое оборудование включает электрохимические сенсоры (CO , NO_2 , SO_2 , O_3), оптические $NDIR$ -сенсоры (CO_2 , CH_4) и фотоионизационные детекторы (VOC);

для измерения аэрозольного загрязнения наиболее эффективны оптические счётчики частиц, позволяющие получать распределение по размерам;

сбор и первичная обработка данных осуществляются с использованием одноплатных компьютеров и специализированных интерфейсных плат, таких как AFE для электрохимических сенсоров;

выбор сенсорной нагрузки определяется конкретными задачами и требует компромисса между полнотой измерений, массой и энергопотреблением.

Литература

- [1]. Majid M.I., Chen Y., Mahfooz O., Ahmed W. UAV-Based Smart Environmental Monitoring // *Advances and Applications of Metamaterials and Metasurfaces*. 2025. (Дата обращения: 10.03.26)
- [2]. Eskip Y.M., Eker E., Dolen M. A Comprehensive Review of UAV-Based Environmental Monitoring: Sensors, Platforms, and Applications // *Drones*. 2025. (Дата обращения 10.03.2026)
- [3]. Alphasense. CO-A4 Carbon Monoxide Sensor datasheet. 2019. URL: <http://www.alphasense.com> (Дата обращения 11.03.2026)
- [4]. Alphasense. Photo Ionisation Detector PID-AH2 datasheet. 2016. (Дата обращения 11.03.2026)

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТИПОВЫХ ВХОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ ОПТИЧЕСКИХ ГОЛОВОК САМОНАВЕДЕНИЯ

В основу принципа действия пассивных оптико-электронных следящих систем (ОЭСС), которыми являются оптические головки самонаведения (ОГСН), входящие в состав зенитных управляемых ракет (ЗУР), положено обязательное наличие энергетического контраста между излучениями находящихся в их полях зрения объекта, на который осуществляется наведение, и участка фона.

Тенденция последних лет, заключающаяся в масштабном применении малых беспилотных воздушных судов (БВС) [1, 2] с полной массой не более 30 кг, выявила ряд проблем функционирования известных ОГСН современных ЗУР, одной из которых является существенное изменение условий возникновения энергетического контраста достаточной величины между излучениями объекта и фона, обусловленное, 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.

Вследствие этого, малые величины энергетического контраста между собственным излучением малых БВС и излучением фона, являются причиной заметного снижения помехозащищённости известных ОГСН современных ЗУР основной рабочий спектральный диапазон которых, как правило находится в инфракрасном диапазоне оптической области спектра, что диктует необходимость совершенствования алгоритмов их функционирования, в основе которых находятся способы выделения информации об объекте, на который осуществляется наведение.

Типовыми входными воздействиями ОЭСС (в частности, ОГСН) являются формируемые ее оптической системой изображения картинной плоскости ограниченной области пространства в плоскости анализа изображения фотоприемной системы.

Объем оптической информации, поступающей на фотоприемную систему ОГСН зависит:

- качественно (т. е. выраженный в виде величины освещенности изображения объекта в плоскости анализа изображения) – от геометрических параметров оптической системы (площади входного зрачка) и ее спектрального коэффициента пропускания,¹ Поддержка исследований

- количественно (т. е. выраженный в виде потенциальной возможности формирования в плоскости анализа изображения заданного количества разрешаемых изображений типовых объектов,) – от угловой величины поля зрения оптической системы ОГСН.

При этом, в поле зрения оптической системы ОГСН одновременно наряду с объектом, на который осуществляется наведение, могут находиться другие (мешающие), объекты (они же внешние помехи), которые в зависимости от совокупности характеризующих их признаков могут быть отнесены к одному из классов мешающих воздействий, излучающих в оптическом диапазоне объектов: классу естественные фонов и фоновых помех и классу искусственных помех (рис. 1.) [3].

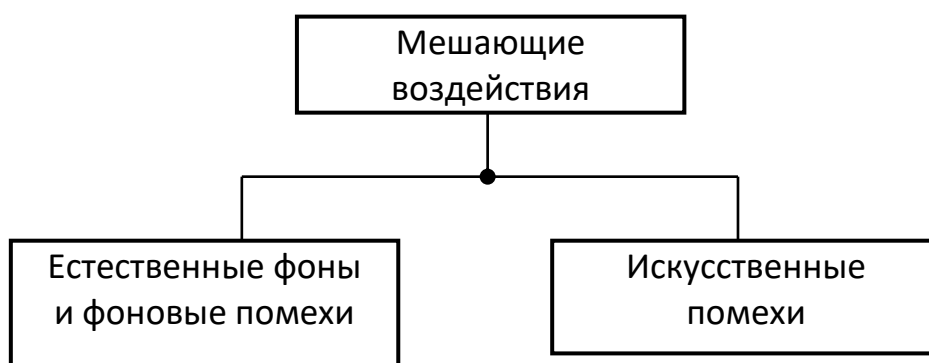


Рисунок 1 – Классификация мешающих воздействий

На практике, чаще всего, используется обобщенная классификация внешних помех, (рис. 2.), делящая мешающие объекты как по характеру их воздействия на фотоприемную систему ОГСН, так и по их отношению к результатам антропогенной деятельности [4].

Информация об объекте, на который осуществляется наведение, содержится в оптическом излучении в направлении фотоприемной системы ОГСН, которое характеризуется несколькими составляющими:

- собственным излучением двигательной установки объекта, на который осуществляется наведение,
- собственным излучением элементов планера (корпуса) объекта, на который осуществляется наведение,
- излучением от других объектов (фонов), переотражаемым элементами корпуса (планера) объекта, на который осуществляется наведение,
- излучением, эквивалентным излучению участка фона, экранируемого объектом, на который осуществляется наведение (как правило, оно учитывается с обратным знаком).

Таким образом, типовое входное воздействие в пассивной ОЭСС можно представить, как мгновенное двухмерное распределение освещенности (для видимого диапазона) или энергетической освещенности (для диапазона отличного от видимого) создаваемого оптической системой в плоскости анализа изображения (иногда используется термин «рельеф освещенности плоскости

анализа изображения»), представляющее совокупность неоднородностей, именуемых оптическим контрастом.



Рисунок 2 – Обобщенная классификация внешних помех

Литература

- [1]. ГОСТ Р 59517–2021. Беспилотные авиационные системы. Классификация и категоризация. – М., 2021.
- [2]. ГОСТ Р 57258–2016 Системы беспилотные авиационные. Термины и определения. – М., 2016.
- [3]. Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники. – М.: Сов. радио, 1978. – 400 с., ил.
- [4]. Лазарев Л. П. Оптико-электронные приборы наведения: Учебник для технических вузов. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 512 с., ил.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ ОПТИЧЕСКИХ ГОЛОВОК САМОНАВЕДЕНИЯ

Пространственная фильтрация в [1] определяется, как процесс использования в оптических системах анализаторов изображения, способствующих выделению информации по потокам излучения преимущественно от источников излучения определенной формы или угловых размеров.

Пространственная фильтрация в пассивных оптико-электронных следящих систем (ОЭСС), которыми являются оптические головки самонаведения (ОГСН), входящие в состав зенитных управляемых ракет (ЗУР), осуществляется в интересах определения пространственного положения объекта и измерения его текущих координат в каждый момент времени.

Возможность осуществления пространственной фильтрации, основывается на различии угловых (геометрических) размеров изображения объекта и изображений фоновых неоднородностей в плоскости анализа изображения, или, иными словами, на различии пространственно-частотных спектров источников полезных сигналов и фоновых помех [1].

Способы выделения пространственно-частотных признаков объектов, в общем случае, можно разделить на четыре большие группы [2]:

- оптико-механические (модуляционные);
- оптико-электронные;
- оптические;
- вычислительные.

Существенные ограничения на возможности пространственной фильтрации оказывает конечный размер элемента разрешения оптической системы, определяющийся величиной мгновенного поля зрения системы – 2β которая, в свою очередь, зависит от площади чувствительного слоя фотоприемника или площади маски приемника [1, 3]:

$$2\beta = \frac{S_{\text{пи}}}{f_0^2},$$

где $S_{\text{пи}}$ – площадь чувствительного слоя фотоприемника,
 f_0 – фокусное расстояние оптической системы.

Важнейшим свойством пространственной фильтрации является ее размерная селективность, т. е. способность системы по-разному реагировать на источники излучения различных угловых (геометрических) размеров.

Возможность выделения малоразмерного объекта на фоне, неоднородности энергетической яркости которого отличаются более крупными размерами, обуславливается относительным ослаблением сигнала при увеличении протяженности пространственного импульса входного воздействия.

Количественной характеристикой размерной селективности является одноименный коэффициент k_p , характеризующий среднее относительное подавление системой сигнала от протяженных источников излучения по сравнению с точечным источником излучения [1].

Коэффициент размерной селективности может быть представлен как величина отношения:

$$k_p = \frac{f_0(S_\phi)}{f_0(S_0)},$$

где $f_0(S_\phi)$ – сигнал на выходе приемника излучения от протяженного излучателя, площадь изображения которого больше площади элемента разрешения,

$f_0(S_0)$ – сигнал от точечного излучателя на выходе приемника.

В современных ОГСН пространственная фильтрация реализуется, в основном, за счет оптико-механических способов выделения пространственно-частотных признаков, главным образом для выполнения так называемой размерной селекции (логической размерной селекции), т. е. для селектирования малоразмерных объектов среди крупноразмерных. При этом, все источники излучения с размерами, меньшими некоторого выбранного порогового, классифицируются как искомый объект, а все источники с более крупными размерами как неоднородности фона [1].

В процессе логической размерной селекции принимают участие приемник излучения и анализатор изображения, рабочие площади которых, в общем случае, могут быть равны друг другу ($S_{\text{пи}} = S_{\text{аи}}$).

Анализатор изображения представляет собой, как правило, оптический фильтр, коэффициент пропускания которого изменяется во времени от 0 до 1 по некоторому закону, что позволяет осуществлять модуляцию принимаемого излучения (как правило, используются механические способы прерывания потока излучения вращающимися растрами-модуляторами или неподвижными, используемыми в системах с круговым переносом изображения (нутацией изображения)).

С помощью анализатора изображения формируется один или несколько элементов разрешения оптико-электронной системы пеленгации, величина площадей которых в общем случае должна удовлетворять условию:

$$S_0 < S_\Sigma < S_{\text{пи}},$$

где S_Σ – площадь элемента разрешения;

S_0 – площадь изображения точечного источника излучения.

Мгновенное поле зрения в этом случае будет определяться не площадью чувствительного слоя фотоприемника $S_{\text{пи}}$, а величиной:

$$S = \sum_{i=1}^n S_{\alpha_i},$$

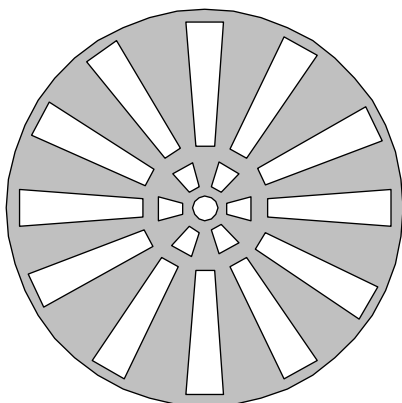
и составит величину:

$$2\beta = \frac{\sum_{i=1}^n S_{\alpha_i}}{f_0^2}.$$

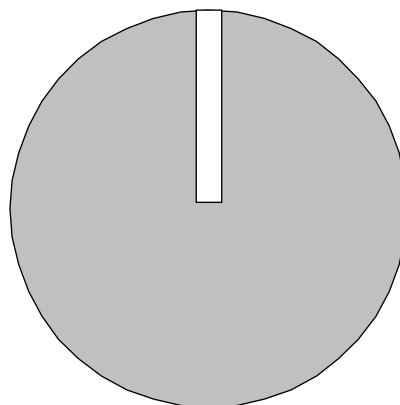
Особенности реализации пространственной фильтрации (размерной логической селекции) в современных ОГСН, могут быть показаны на примерах [4]:

- пространственной фильтрации, осуществляемой методом кругового переноса изображения по неподвижному растру-модулятору, реализующему частотную модуляцию принимаемого излучения;
- пространственной фильтрации, осуществляемой методом широтно-импульсной модуляции принимаемого излучения.

Конфигурация соответствующих растров-модуляторов (рис. 1), имеет общую особенность, заключающуюся том, что в радиальном направлении, размеры элементов разрешения растров существенно превосходят диаметр изображения точечного источника z_0 (на значительных дальностях объект, на который осуществляется наведение, принято аппроксимировать точечным источником).



неподвижный растр-модулятор
метода кругового переноса
изображения



вращающийся растр-модулятор
метода широтно-импульсной
модуляции изображения

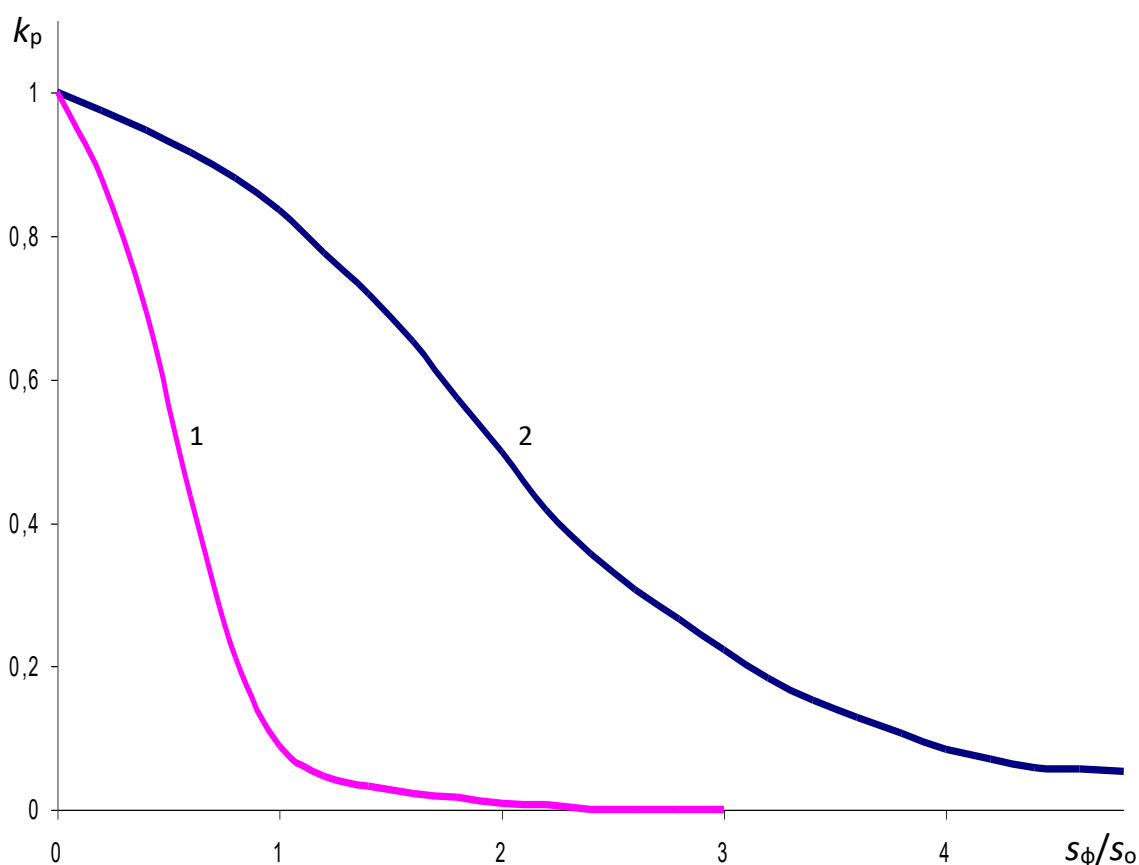
Рисунок 1 – Конфигурация растров-модуляторов

Кроме того, на практике, размеры элементов разрешения растров в тангенциальном направлении выбираются в 1,5-2,5 раза больше, чем z_0 [1, 3], что

обусловлено необходимостью учитывать изменения размеров изображения в зависимости от дальности до объекта, на который осуществляется наведение, возможные вибрации изображения и т. д.

Функции размерной селективности растров-модуляторов (рис. 1) имеют вид (рис. 2).

На практике, возможно возникновение ситуаций, при которых размеры изображения фоновой помехи оказываются сопоставимы с размерами элемента разрешения анализатора изображения, хотя и превосходят размеры изображения точечного источника излучения.



- 1 – Неподвижный растр-модулятор метода кругового переноса изображения
- 2 – Вращающийся растр-модулятор метода широтно-импульсной модуляции изображения

Рисунок 2 – Функции размерной селективности растров-модуляторов

В этом случае, мощность излучения данной фоновой помехи может превосходить (или быть равной) мощность излучения цели, т. е. выполняется условие:

$$f_0(S_\phi) \geq f_0(S_0),$$

при котором схема размерной логической селекции может оказаться неработоспособной.

Таким образом можно сделать вывод о том, что реализованные в современных ОГСН схемы логической размерной селекции, не обеспечивают достаточного уровня подавления сигналов от фоновых неоднородностей с незначительной протяженностью (размеры изображения которых сопоставимыми с размерами элемента разрешения).

Литература

- [1]. Левшин В. Л. Пространственная фильтрация в оптических системах пеленгации. –М.: Сов. Радио, 1971. – 200 с.
- [2]. Ю. П. Сафронов, Р. И. Эльман. Инфракрасные распознающие устройства. –М., Воениздат, 1976. –207 с.
- [3]. Левшин В. Л. Обработка информации в оптических системах пеленгации. –М.: Машиностроение, 1978. –168 с
- [4]. Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники. – М.: Сов.радио, 1978.- 400 с.

*Е.Р. Сосин, студ.; рук. М.С. Ковалёва, асс
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСТНИЧНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ В ЖИЛОМ ПОМЕЩЕНИИ

С развитием систем автоматизации управление лестничным освещением в жилой зоне перестало быть просто технической необходимостью и превратилось в полноценный инструмент для создания комфортной и безопасной среды. Если раньше основным требованием к подсветке ступеней была лишь видимость в темное время суток, то сегодня перед владельцами домов открываются широкие возможности для реализации различных световых сценариев.

В практике дизайна освещения на лестничных пролетах обычно используется два основных варианта расположения светодиодной ленты:

1. Монтаж ленты непрерывной линией вдоль всего лестничного марша (рис 1). В этом случае светодиодная лента крепится, как правило, на стену и тянется сплошной полосой на уровне ступеней. Такое решение хорошо освещает контур лестницы, но свет получается более общим.



Рисунок 1 – Монтаж светодиодной ленты непрерывной линией

2. Монтаж ленты на каждой ступени по отдельности (рис 2). В этом случае монтаж светодиодной ленты осуществляется в нижнюю часть под ступеньками. Размещение этого вида не только мягко освещает каждый шаг, исключая образование слепящих зон, но создает эффект «парящих» ступеней.

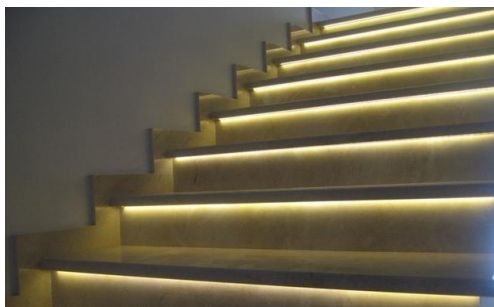


Рисунок 2 – Монтаж светодиодной ленты на каждой ступени по отдельности

Целью работы является разработка устройства управления лестничным освещением в жилом помещении. Учитывая вышесказанное было принято решение подсвечивать каждую ступень лестницы по отдельности. Данное устройство так же может быть внедрено в систему «умного» дома.

Перед рассмотрением принципа работы устройства управления лестничным освещением необходимо учитывать нормативные требования и свод правил. Главными регламентирующими документами выступает свод правил СП 52.13330.2016, который устанавливает правила проектирования освещения и СанПиН 1.2.3685-21, который ставит необходимые нормы для безопасного пользования лестничным пролетом

К основным нормативным требованиям относятся следующие:

1. Для разных участков дома устанавливают минимальные значения яркости: для вестибюлей, лифтовых холлов, поэтажных коридоров и лестничных площадок освещенность на уровне пола должна составлять не менее 30 люкс, тогда как непосредственно для ступеней лестниц этот показатель может быть ниже и составлять не менее 20 люкс.

2. Управление системой освещения в обязательном порядке должно быть дистанционным или автоматическим, но это требование предусматривается в зданиях высотой более 3 этажей, оно позволит в ночное время уменьшить величину светового потока до уровня эвакуационного освещения, обеспечивая тем самым значительную экономию электроэнергии.

3. Для установки освещения рекомендуется использовать светодиодные лампы, такие как COB-матрицы, LED-модули с цветовой температурой от 4000 до 5500 Кельвин. Это решение позволит находиться на лестнице с комфортом довольно долгое время [1].

4. При установке освещающих приборов предпочтение должно отдаваться моделям, которые способны противостоять механическим повреждениям. Также они должны иметь пылезащиту и влагозащиту классом защиты IP24, не ниже, что, несомненно, сохранит функциональность устройства при влажной уборке.

Функциональная схема устройства управления лестничным освещением представлена на рисунке (рис 3).

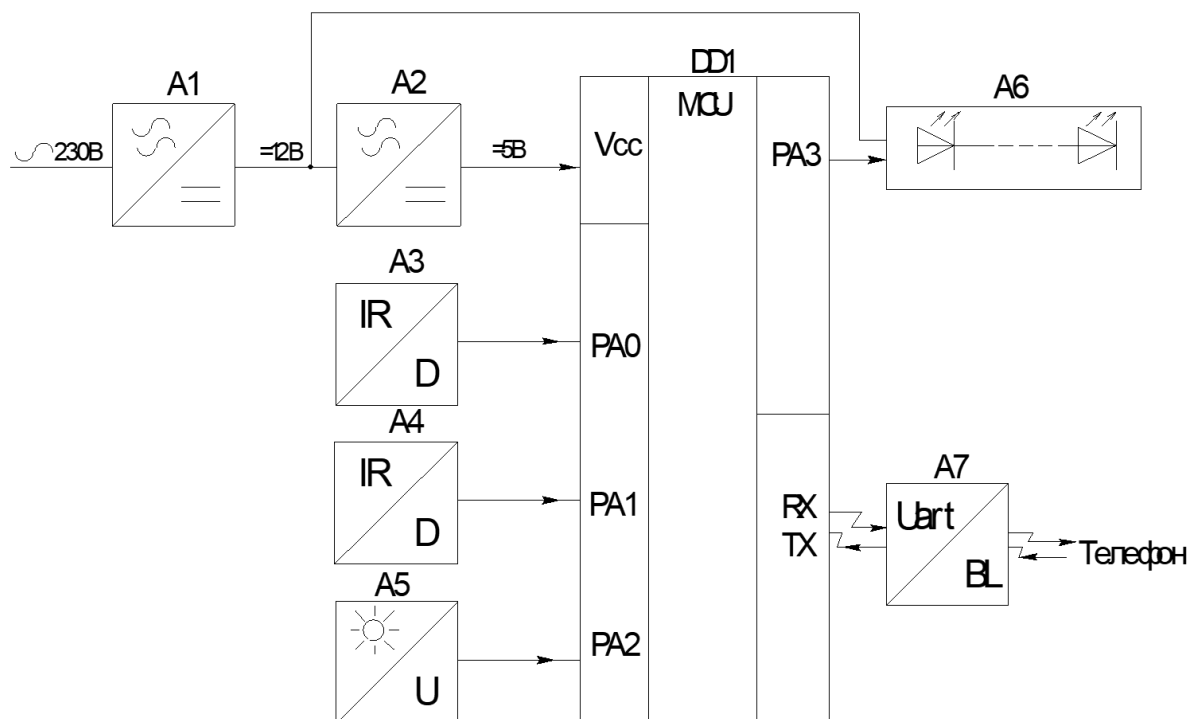


Рисунок 3 – Функциональная схема устройства лестничного освещения в жилом помещении

Устройство содержит в себе:

- блок питания A1;
- AC/DC преобразователь A2;
- датчики движения A3, A4;
- датчик освещенности A5;
- микроконтроллер DD1;
- светодиодная лента A6;
- модуль Bluetooth A7;

Запуск устройства происходит путем подачи питающего переменного напряжения 230 В, которое в последствие с помощью блока питания АкyгаАК-ТВ-06 преобразуется в 5 В постоянного напряжения.

В начале в верхней и нижней части лестничного пролета располагаются инфракрасные датчики движения HC-SR501. Их основная задача регистрировать изменения теплового излучения, которое возникает при движении объекта в зоне его установки. Датчик работает по принципу обнаружении разницы между тепловым фоном помещения и теплом, исходящим от тела человека. При фиксации движения, когда уровень сигнала превышает заданный порог чувствительности, датчик генерирует и передает управляющий сигнал на микросхему. В моменте появления движущегося объекта в зоне обнаружения датчик генерирует и передает сигнал управляющий сигнал на микроконтроллер.

Для автоматизации и экономии ресурса к устройству подключен датчик освещенности GY-302. Датчик анализирует освещенность на площадке и блокирует включение светодиодной ленты в светлое время суток, то есть если

света из окон будет достаточно для передвижения. Когда уровень освещения понижается до установленного значения датчик дает контролеру работать в штатном режиме. Его внедрение позволяет исключить излишнее потребление электроэнергии и продлить срок службы осветительной части устройства.

В качестве управляющего устройства был выбран микроконтроллер ATmega328P. В самом устройстве используется готовый модуль на базе микроконтроллера – отладочная плата Arduino Nano. Выбор пал на неё благодаря удачному сочетанию факторов. Прежде всего, это компактные размеры и формы, что критически важно для встраиваемых проектов, где пространство часто ограничено. Несмотря на миниатюрность, плата сохраняет всю мощь экосистемы Arduino: она построена на 8-битном микроконтроллере с достаточным количеством портов ввода-вывода и аппаратными интерфейсами UART, I2C, SPI, что позволяет подключать широкий спектр периферии. Кроме того, Arduino Nano относится к бюджетному ценовому сегменту.

При приближении человека к лестнице, датчик фиксирует изменение теплового фона и отправляет сигнал на микроконтроллер. Тот интерпретирует его как команду к началу освещения, при этом свет будет включается плавно, наращивая яркость. В течение заданного времени подсветка горит, давая безопасно пройти по ступеням. Когда человек уходит, датчик передает сигнал на микроконтроллер, который в свою очередь активирует алгоритм плавного затухания [2]. Цикл обеспечивает комфорт для глаз и экономит электроэнергию.

Также для дистанционного управления через телефон был установлен модуль Bluetooth HC-06, его наличие позволяет превратить обычную подсветку лестницы в полноценный элемент «умного» дома, управляемый непосредственно со смартфона пользователя. С помощью телефона можно будет подключаться и задавать сложные или простые цветовые сценарии, например, быстрое моргание, постоянная подсветка

Устройство управления лестничным освещением создано не только для решения текущих задач, но и так же имеет перспективу на будущее. В дальнейшем планируется доработка устройства с дальнейшим внедрение новых функций, которые сделают дом еще уютнее и безопаснее.

Литература

- [1]. СП 52.13330.2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293747/4293747646.pdf> (дата обращения 09.03.2026) Режим доступа: свободный
- [2]. E.lanbook.com [Электронный ресурс]. URL: <https://e.lanbook.com/book/5856> (дата обращения 09.03.2026) Режим доступа: свободный

АНАЛИЗ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ

С каждым годом геополитическая обстановка вокруг России накаляется все сильнее. Текущие санкции, наложенные на Россию и санкции, которые могут быть наложены в будущем, серьезно усложняют импорт электронных компонентов. Серьезно обостряет эту проблему, что ведущие страны-производители и разработчики электроники: США, Тайвань, Южная Корея, Япония и страны Евросоюза - являются недружественными по отношению к России.

4 августа 2015 года было опубликовано постановление Правительства Российской Федерации № 785 «О создании правительственной комиссии по импортозамещению». Программа правительства по импортозамещению до 2020 года указывает информационные технологии как одну из главных отраслей серьезно зависимых от поставки зарубежных компонентов, оборудования и программного обеспечения. 20 мая 2023 года была принята стратегия социально-экономического развития РФ до 2030 года «Стратегии-2030», направленная на исполнение Указа Президента России от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»[1].

Цель этой статьи – оценка импортозамещения на производствах электроники в городе Смоленск и сравнение характеристик используемых компонентов отечественного и зарубежного производств. Для этого был проведен анализ используемых компонентов на производствах компаний ООО «Тристан» и АО «НПП «Измеритель».

«Тристан» использует в своей продукции SMD конденсаторы компании Kemet (США/Тайвань) C0G, «Измеритель» – конденсаторы компании Гириконд (РФ) K10-83. Их сравнение приведено в таблицах 1.1-1.5. Характеристики элементы взяты из их технической документации [2, 3].

Таблица 1.1 – Типоразмеры

Kemet (EIA)	Гириконд (EIA)
0201	-
0402	0402
0603	0603
0805	0805
1206	1206
1210	1210
1808	-
1812	1812
1825	-
2220	2220
2225	-
-	3224

Таблица 1.2 – Группы по температурному коэффициенту ёмкости (ТКЕ)

Интервал температур при эксплуатации, °С	Изменение ёмкости в интервале рабочих температур, %	Kemet	Гириконд
-60 ... +125	±1	NP0 (COG)	МП0
-55 ... +125	±15	X7R	
-60 ... +125	±20		H20
-60 ... +125	±30		H30

Таблица – 1.3. Допустимое отклонение ёмкости

Kemet (2 класс)	Гириконд (2 класс)
±5 %	
±10 %	±10 %
±20 %	±20 %
	+50/-20 %

Таблица – 1.4. Возможность замены конкретных моделей из перечня элементов

Kemet	Гириконд		
	Точная замена	Ближайший аналог	Несоответствующий параметр
C0402C101J5GAC (0402-COG-100 пФ±5%-50 В)	-	K10 - 83 - 50 В - 1 00 ПФ ±5 % - МП0 - N	0603
C0402C102K5RAC (0402-X7R-1000 пФ±10%-50 В)	-	K10 - 83 - 50 В - 1000 ПФ ±5 % - МП0	1206
	-	K10 - 83 - 50 В - 1000 ПФ ±10 % - H20	H20
C0402C103K5RAC (0402-X7R-0,01 мкФ±10%-50 В)	-	K10 - 83 - 50 В - 0,01 мкФ ±20 % - H30	0805, ±20 %, H30
C0402C104K4RAC (0402-X7R- 0,1 мкФ±10%-16 В)	-	K10 - 83 - 16 В - 0,1 мкФ ±10 % - H20 - N	0805

Таблица 1.5 – Сравнительная цена (магазин chipdip.ru)

Kemet		Гириконд	
Модель	Цена	Модель	Цена
C0402C101J5GAC (0402-COG-100 пФ±5%-50 В)	55 р.	K10 - 83 - 50 В - 1 00 ПФ ±5 % - МП0 - N	140 р.
C0402C102K5RAC (0402-X7R-1000 пФ±10%-50 В)	53 р.	K10 - 83 - 50 В - 1000 ПФ ±5 % - МП0	130 р.
		K10 - 83 - 50 В - 1000 ПФ ±10 % - H20	-
C0402C103K5RAC (0402-X7R-0,01 мкФ±10%-50 В)	39 р.	K10 - 83 - 50 В - 0,01 мкФ ±20 % - H30	-
C0402C104K4RAC (0402-X7R-0,1 мкФ±10%-16 В)	6 р.	K10 - 83 - 16 В - 0,1 мкФ ±10 % - H20 - N	-

Конденсаторы отечественного производителя при большей цене обладают большими размерами и отклонением допустимой емкости. Это затрудняет переход на импортозамещенные компоненты т.к. необходимо дорабатывать электрическую схему и плату под другой размер компонентов.

Тем не менее, конденсаторы, производимые в России, существуют и при прекращении импорта зарубежных компонентов, сохраняется возможность перехода на отечественную компонентную базу.

В текущих условиях частные компании все еще сильно полагаются на зарубежные компоненты из-за их высокой конкурентноспособности даже в условиях затрудненного импорта. Это позволяет выпускать продукцию по более низкой цене, но делает их уязвимыми к нестабильностям экономики и цепочек поставок в условиях санкций.

Импортозамещение компонентной базы является крайне важным направлением в развитии России и необходимо продолжать поддержку отечественных производителей для улучшения качества продукции и снижения ее цены.

Литература

- [1] Распоряжение правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р [Электронный ресурс] URL: <http://static.government.ru/media/files/KIJ6A00A1K5t8Aw93NfRG6P8OIbBp18F.pdf> (дата обращения: 10.03.2026).
- [2] Техническая документация на конденсаторы Kemet C0G [Электронный ресурс] URL: <https://static.chipdip.ru/lib/251/DOC011251280.pdf> (дата обращения: 10.03.2026).
- [3]. Техническая документация на конденсаторы Гириконд K10-83 [Электронный ресурс] URL: <https://giricond.ru/upload/pdf/K/K10-83.pdf> (дата обращения: 10.03.2026).

*В.Н. Темнов, студ.; рук. С.П. Астахов, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ SWIR-ДИАПАЗОНА В КОНТЕКСТЕ СЪЕМКИ С БОРТА БВС В НОЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Современные оптико-электронные системы наблюдения, применяемые на беспилотных воздушных судах (БВС), как правило, ориентированы на работу в видимом или тепловом инфракрасном диапазоне. Однако широкое внедрение таких устройств в различные сферы деятельности остро ставит вопрос об эффективности их применения в условиях недостаточной видимости и ночью. Традиционные камеры видимого спектра оказываются практически бесполезными без мощной демаскирующей подсветки. Тепловизионные модули, регистрирующие собственное излучение объектов, не позволяют считывать маркировку или видеть сквозь стекло, так как оно непрозрачно для длинных тепловых волн. В связи с этим все больше внимания уделяется коротковолновому инфракрасному диапазону (SWIR, Short-Wave Infrared), охватывающему длины волн $0,76\div 3$ мкм.

Необходимость изучения данного спектрального диапазона напрямую связана с разработкой оптических комплексов для малых воздушных судов. В частности, при проектировании системы, представляющей собой источник излучения для фото (видео) съемки в ночных условиях с борта БВС, разработчик неизбежно сталкивается с проблемой выбора регистрирующей матрицы.

Поэтому обзор существующих технологий *SWIR*-сенсоров выступает необходимым этапом конструирования бортовой аппаратуры.

Интерес к *SWIR*-диапазону обусловлен целым рядом физических факторов, определяющих распространение электромагнитного излучения в атмосфере (рис. 1).

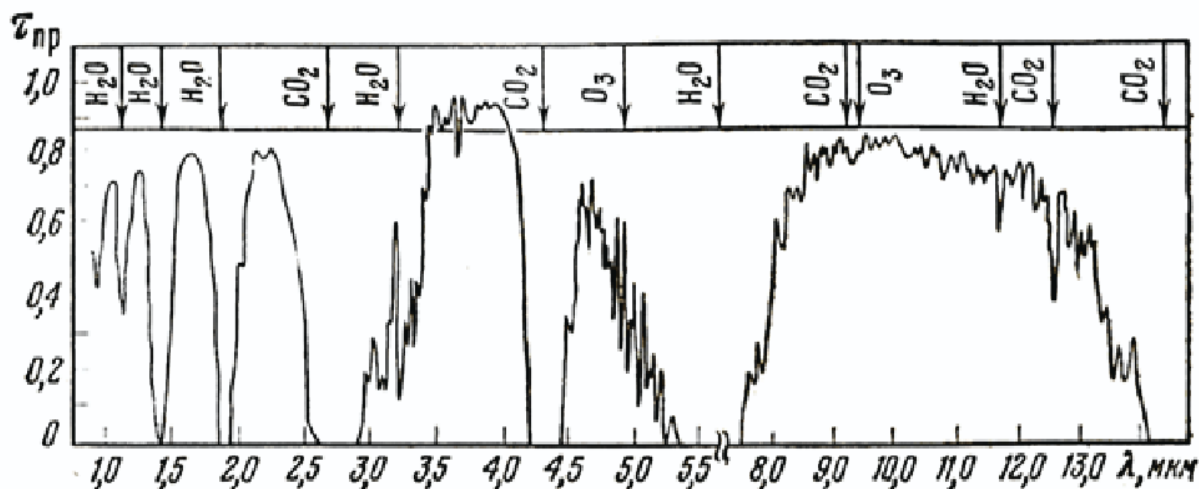


Рисунок 1 – Спектр пропускания атмосферы в инфракрасном диапазоне

Во-первых, наличие окон прозрачности критически важно для ведения наблюдения на значительных удалениях от 1 до 5 километров. Во-вторых, в ночном небе присутствует атмосферное свечение, которое в коротковолновом ИК-диапазоне дает естественную фоновую подсветку [4]. В-третьих, согласно законам светорассеяния, из-за большей длины волны излучение в *SWIR*-диапазоне значительно слабее рассеивается на частицах тумана и дымки, чем видимый свет [1].

Классические кремниевые матрицы имеют жесткие физические ограничения. Ширина запрещенной зоны кремния равна 1,12 эВ, поэтому регистрация фотонов с длиной волны более 1,1 мкм становится невозможной [5]. Фотоны с меньшей энергией просто не вызывают внутренний фотоэффект. Следовательно, для работы в *SWIR*-диапазоне требуется переход на иную полупроводниковую базу. Можно выделить следующие основные технологии:

- InGaAs (матрицы на основе арсенида индия-галлия);
- расширенный InGaAs (с увеличенной долей индия);
- QD (сенсоры на основе квантовых точек);
- Ge-on-Si (детекторы на основе германия на кремнии).

Технология на основе структур арсенида индия-галлия (*InGaAs*) исторически является наиболее зрелой. Стандартный состав данного материала позволяет достичь квантовой эффективности до 70÷90 % в диапазоне 0,9÷1,7 мкм. Конструктивно такие сенсоры представляют собой гибридную микросхему, где матрица из *InGaAs* механически соединяется с кремниевой схемой считывания индиевыми микроконтактами (рис. 2). К главным достоинствам относятся низкий темновой ток и превосходная чувствительность. Но для БВС

есть недостатки: использование дорогих подложек из фосфида индия (*InP*) делает камеры слишком дорогими. Кроме того, для снижения шумов матрицы требуется термоэлектрическое охлаждение (ТЭО), что влечет увеличение массы и энергопотребления [2].

Для задач, где требуется выход за пределы 1,7 мкм, применяется расширенный *InGaAs*. Увеличение доли индия сдвигает граничную длину волны до 2,5 мкм. Однако рассогласование решеток приводит к резкому росту дефектов и темнового тока. Такую матрицу нужно охлаждать до минус 80 градусов, что для малогабаритного БВС практически нереализуемо.

В связи с недостатками гибридных технологий, интерес для авиации представляют сенсоры на основе *QD*. Наглядно технологический барьер между различными технологиями матриц представлен на графике (рис. 2).

Как видно из представленного графика (рис. 2), традиционные монолитные КМОП-сенсоры на основе кремния обладают высоким разрешением с низким шагом пикселя, но физически ограничены длиной волны в 1 мкм. Переход в требуемый для воздушного наблюдения *SWIR*-диапазон традиционно решается применением гибридных структур *InGaAs*. Однако из-за необходимости применения индиевых микроконтактов шаг пикселя таких матриц физически не может быть менее 10÷15 мкм, что снижает разрешающую способность камер.

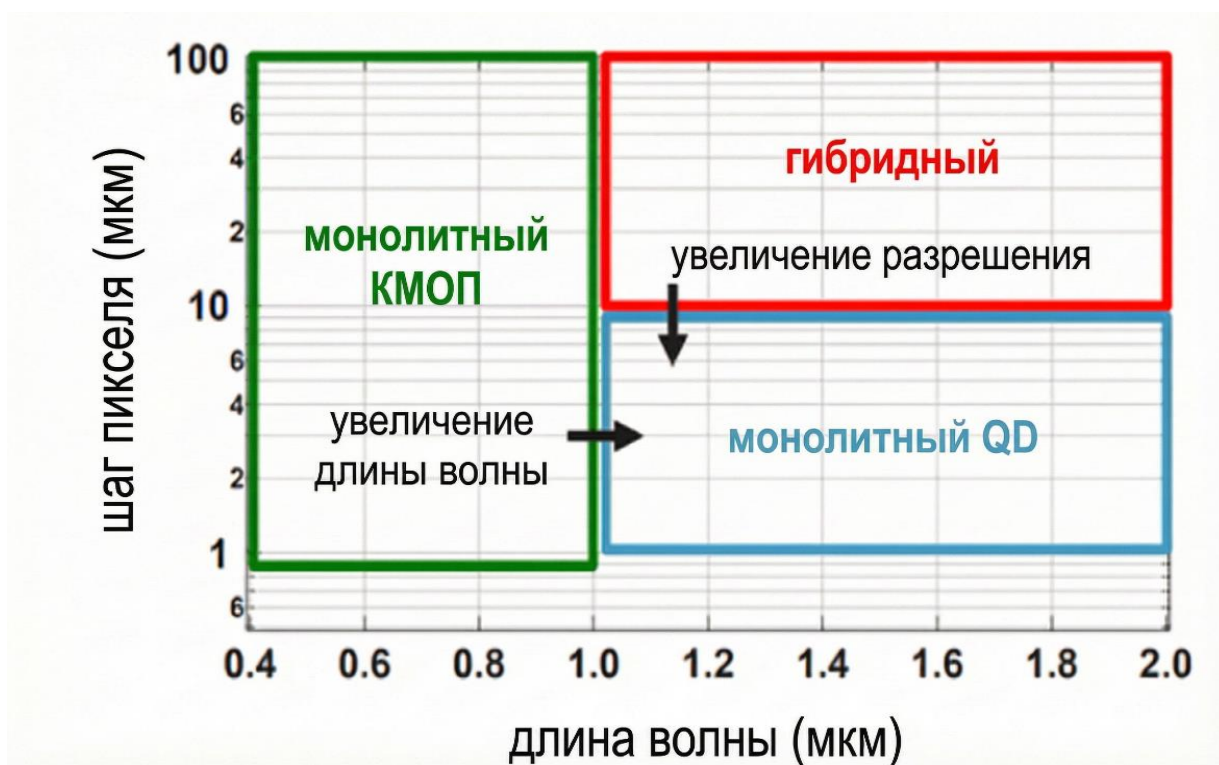


Рисунок 2 – Сравнительная диаграмма технологий датчиков изображения

QD решают обе эти проблемы одновременно. Раствор с нанокристаллами наносится непосредственно на кремниевую КМОП-подложку, исключая этап гибридизации. Это позволяет создавать монолитные *QD* матрицы с шагом пикселя вплоть до 5 мкм. Внедрение таких сенсоров позволяет кардинально

снизить массогабаритные показатели бортовой оптики. Тем не менее, данная технология пока уступает гибридному *InGaAs* по квантовой эффективности и имеет более высокий уровень шумов.

Пониженная чувствительность *QD*-сенсоров делает критически важной разработку дополнительных систем освещения. Создаваемый источник излучения для фото (видео) съемки в ночных условиях с борта БВС должен компенсировать недостатки матрицы. Объединение недорогой *QD*-камеры с импульсным лазерным диодом на длине волны 1,55 мкм дает высокоэффективную систему ночного видения. Излучение на длине волны 1,55 мкм безопасно для зрения и абсолютно невидимо для невооруженного глаза и обычных приборов ночного видения, что гарантирует скрытность БВС [1].

Специфика отражения света от поверхностей в *SWIR*-диапазоне также играет важную роль. Многие камуфляжные покрытия имеют в этом диапазоне уникальные спектральные сигнатуры поглощения, что позволяет обнаруживать замаскированные объекты [3]. Вода обладает сильным поглощением на длине волны около 1,4 мкм, что делает *SWIR*-камеры эффективными для определения объектов по разнице отражательной способности влажных участков (рис. 3).



Рисунок 3 – Визуализация объектов в условиях отсутствия естественного освещения с применением *SWIR*-сенсора и активной импульсной подсветки

Рассматривая альтернативные подходы, следует отметить технологию формирования структур *Ge-on-Si*. Теоретическая физическая граница поглощения чистого германия находится около 1,85 мкм.

Однако эффективный рабочий диапазон практических матриц на основе германия, интегрированного с кремнием, обычно ограничивается 1,6 мкм из-за резкого падения квантовой эффективности на больших длинах волн [2].

Данный метод обеспечивает монолитную интеграцию и низкую стоимость, но компоненты подвержены чрезмерно высоким темновым токам при комнатной температуре. Для работы их необходимо интенсивно охлаждать, что возвращает к проблеме дефицита энергии на борту БВС.

Сравнение технологий изготовления матриц *SWIR*-диапазона по параметрам (табл. 1).

Принимая во внимание достоинства и недостатки рассмотренных технологий изготовления матриц, с учетом данных, предоставленных в таблице

1, можно сделать вывод о том, что для оптико-электронных систем, размещаемых на малых беспилотных платформах, датчики изображения на основе *InGaAs* продолжают оставаться эталоном по уровню чувствительности.

Однако их применение ограничено высокой себестоимостью. Технология матриц на основе *QD* является приоритетным направлением для массового внедрения в сферу беспилотной авиации, так как обеспечивает минимизацию массогабаритных параметров.

Таблица 1 – Сравнительный анализ технологий SWIR-датчиков

Технология матрицы	<i>InGaAs</i>	Расширенный <i>InGaAs</i>	<i>QD</i>	<i>Ge-on-Si</i>
Спектральный диапазон, <i>мкм</i>	0,9÷1,7	0,9÷2,5	0,4÷2,0	0,9÷1,6
Квантовая эффективность, %	70÷90	50÷70	20÷50	30÷60
Уровень темнового тока	Низкий	Высокий	Средний	Высокий
Необходимость охлаждения	ТЭО / Без охлажд.	ТЭО	ТЭО / Без охлажд.	ТЭО
Совместимость с КМОП	Гибридная	Гибридная	Монолитная	Монолитная
Стоимость	Высокая	Очень высокая	Низкая	Средняя

При этом недостаток квантовой чувствительности *QD*-матриц в ночное время должен компенсироваться совмещением с внешним модулем подсветки. Применение узкополосной подсветки на длине волны 1,55 *мкм* выступает оптимальным решением при разработке источника излучения для фото (видео) съемки в ночных условиях с борта БВС, поскольку это гарантирует скрытность носителя и независимость процесса наблюдения от атмосферного фона.

Литература

- [1]. Bessonov A., Rozanov A., White R. et al. All-Weather Drone Vision: Passive SWIR Imaging in Fog and Rain // Drones. 2025. Vol. 9, No. 8. Art. 553.
- [2]. Miao Y., Lin H., Li B. et al. Review of Ge(GeSn) and InGaAs Avalanche Diodes Operating in the SWIR Spectral Region // Nanomaterials. 2023. Vol. 13, No. 3. Art. 606.
- [3]. Moshtaghi M., Knaeps E., Sterckx S. et al. Spectral reflectance of marine macroplastics in the VNIR and SWIR measured in a controlled environment // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. Art. 5436.
- [4]. Livache C., Martinez B., Goubet N. et al. A colloidal quantum dot infrared photodetector and its use for intranight vision // Nature Communications. 2019. Vol. 10. Art. 2125.
- [5]. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. М.: Логос, 2004. 444 с.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АКТИВНОЙ И ПАССИВНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ДИАПАЗОНАХ NIR И SWIR ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ С БОРТА БВС

Задача обеспечения ночного наблюдения с борта беспилотных воздушных судов (БВС) может решаться двумя принципиально различными подходами: пассивной визуализацией, основанной на регистрации естественного излучения, и активной визуализацией, предполагающей применение бортового источника подсветки. Инфракрасный диапазон делят на четыре поддиапазона:

- ближний инфракрасный *NIR* ($0,7 \div 1,0$ мкм);
- коротковолновый инфракрасный *SWIR* ($1,0 \div 2,5$ мкм);
- средневолновый инфракрасный *MWIR* ($3 \div 5$ мкм);
- длинноволновый инфракрасный *LWIR* ($8 \div 14$ мкм);

В диапазонах *MWIR* и *LWIR* формирование изображения основано на регистрации собственного теплового излучения объектов, поэтому эти системы являются принципиально пассивными. Применение активной подсветки в данных диапазонах нецелесообразно ввиду высокого уровня фонового теплового излучения окружающей среды и невозможности размещения мощных тепловых источников на борту малогабаритного БВС. Кроме того, тепловизионные камеры не позволяют видеть сквозь стекло и считывать маркировку.

По этим причинам текущее сравнение ограничено диапазонами *NIR* и *SWIR*, в которых формирование изображения основано на отражённом излучении, и где активная подсветка является физически обоснованным и практически реализуемым решением.

Необходимость сравнения непосредственно связана с разработкой источника излучения для фото (видео) съёмки в ночных условиях с борта БВС. Обоснованный выбор спектрального диапазона и режима работы является определяющим этапом проектирования, поскольку от него зависят все последующие конструктивные решения – от длины волны подсветки до требуемой мощности излучателя.

Пассивная визуализация в *NIR*-диапазоне реализуется при помощи приборов ночного видения (ПНВ) на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП) поколений II+ и III. Принцип действия основан на усилении остаточной освещённости, создаваемой лунным и звёздным светом. Чувствительность современных ЭОП III поколения позволяет формировать изображение при освещённости до 10^{-3} лк [1]. Однако в условиях безлунной ночи при плотной облачности освещённость может опускаться ниже 10^{-4} лк, что приводит к критическому падению качества изображения.

Пассивная визуализация в *SWIR*-диапазоне обладает существенным физическим преимуществом. В верхних слоях атмосферы на высоте $80 \div 100$ км протекает хемилюминесценция гидроксильных радикалов OH, формирующая

естественное свечение ночного неба. Спектральная плотность данного свечения в области $1,0\div 1,7$ мкм значительно превышает аналогичный показатель в видимом диапазоне. Благодаря этому *SWIR*-камера способна формировать изображение даже в безлунную ночь без искусственной подсветки. Тем не менее интенсивность данного свечения нестабильна и зависит от сезона, географического положения и солнечной активности, что не позволяет гарантировать устойчивую работу системы в произвольных условиях.

Активная визуализация в *NIR*-диапазоне реализуется, как правило, с использованием лазерных диодов на длинах волн $808\div 850$ нм в сочетании с камерой, оснащённой быстродействующим электронным затвором. Синхронизация задержки затвора с моментом прихода отражённого лазерного импульса позволяет выделить сигнал от объекта на заданном расстоянии, подавляя фоновое излучение и обратное рассеяние. Однако, во-первых, излучение на длинах волн $808\div 850$ нм попадает в область спектральной чувствительности ЭОП III поколения, вследствие чего подсветка может быть обнаружена средствами противника. Во-вторых, фоновая засветка в *NIR*-диапазоне в дневное время значительна, что резко снижает эффективность подсветки. Экспериментально установлено, что *NIR*-система ($\lambda = 0,81$ мкм) в активном режиме была пригодна только для работы в вечернее время, поскольку в дневных условиях фон подавлял лазерную подсветку [2].

Активная визуализация в *SWIR*-диапазоне на длине волны 1,55 мкм лишена указанных недостатков. Данная длина волны находится за пределами спектральной чувствительности ЭОП всех существующих поколений и за границей фоточувствительности кремниевых фотодетекторов, что обеспечивает полную скрытность подсветки. Уровень естественного фонового излучения в *SWIR*-диапазоне в дневное время существенно ниже, чем в *NIR*, благодаря чему импульсная подсветка эффективно выделяет цель даже при дневном освещении. Кроме того, излучение на длине волны 1,55 мкм относится к безопасному для зрения диапазону, что снимает ограничения по допустимой мощности излучателя.

Сравнение четырёх режимов визуализации по ключевым параметрам, определяющим пригодность для размещения на борту БВС, приведено в таблице 1.

Экспериментальное подтверждение преимуществ активного *SWIR*-режима получено в ходе полевых испытаний Шведского агентства оборонных исследований (*FOI*) на дистанциях до 2,5 км [2]. При горизонтальном распространении и умеренной атмосферной турбулентности ($C_n^2 \approx 10^{-14} \text{ м}^{-2/3}$) стробированная *SWIR*-камера ($\lambda = 1,5$ мкм) обеспечила угловое разрешение около 18 мкрад, что соответствовало пределу разрешения фотоприёмника. Тесты показали, что вероятность правильного распознавания объектов в руках человека при активной *SWIR*-визуализации составила порядка 0,9 при слабой турбулентности и 0,6 при сильной на дальности 2 км. При этом существенной разницы между активным и пассивным *SWIR*-режимами в вечернее время не

выявлено, однако в дневных условиях активный режим был единственным работоспособным вариантом (рис. 1).



Рисунок 1 – Сравнение активных(вверху) и пассивных(внизу) SWIR-изображений человека на дальности 2 км при различных высотах расположения сенсора (1,6; 5,15; 7,65 и 10,35 м)

Исследования, выполненные в контролируемых метеоусловиях на платформе «Дождь и Туман» (Serema, Франция), подтвердили устойчивость SWIR-визуализации к неблагоприятной погоде [3]. В условиях тумана SWIR-камеры сохраняли работоспособность значительно дольше, чем камеры видимого диапазона. Алгоритмы обнаружения объектов (YOLOv8), предобученные исключительно на изображениях видимого спектра, успешно функционировали на SWIR-кадрах без дополнительного обучения (рис. 2). Это свидетельствует о совместимости SWIR-изображений со стандартным программным обеспечением обработки.

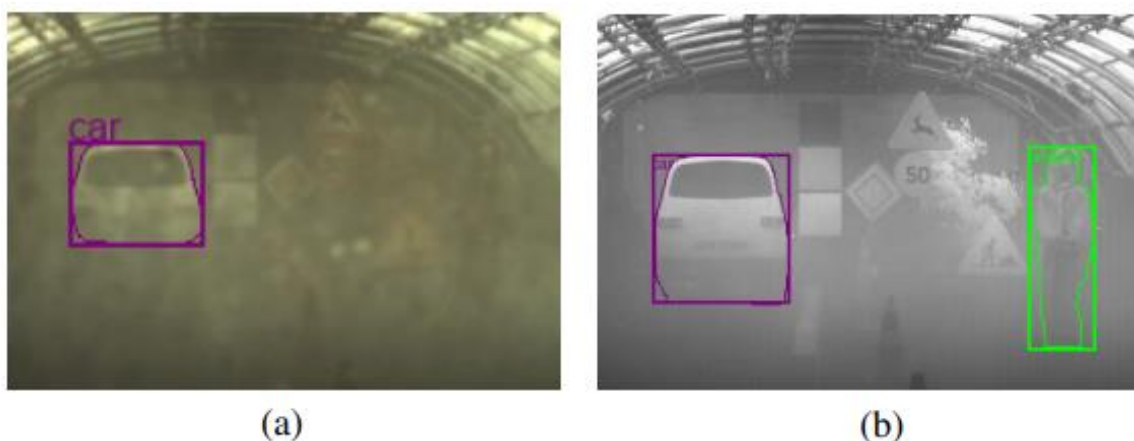


Рисунок 2 – Сравнение идентификации объектов в условиях тумана для камеры видимого (а) и SWIR(б) диапазона

Таблица 1 – Сравнительный анализ режимов визуализации для ночного наблюдения с БВС

Параметр	Пассивный NIR	Пассивный SWIR	Активный NIR (0,85 мкм)	Активный SWIR (1,55 мкм)
Зависимость от внешнего освещения	Высокая	Средняя	Низкая	Отсутствует
Скрытность системы	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая
Безопасность для зрения	–	–	Нет	Да
Устойчивость к туману и дымке	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
Стробирование по дальности	–	–	Да	Да
Работоспособность днём	–	–	Низкая	Высокая
Доп. масса источника излучения, кг	0	0	0,3÷1,0	0,3÷1,0

Учитывая результаты проведённого сравнения, можно заключить, что для бортовых оптико-электронных систем БВС, предназначенных для работы в ночных условиях, активная визуализация в *SWIR*-диапазоне на длине волны 1,55 мкм обладает значительными преимуществами. Пассивные системы в обоих диапазонах зависят от внешних условий освещения, что неприемлемо для гарантированного обеспечения наблюдения. Активная *NIR*-подсветка обнаруживается стандартными ПНВ и неэффективна в дневное время. Активная *SWIR*-подсветка на длине волны 1,55 мкм сочетает полную скрытность, безопасность для зрения, независимость от атмосферного фона и повышенную устойчивость к неблагоприятным метеоусловиям. Данные выводы обосновывают выбор *SWIR*-диапазона при проектировании источника излучения и определяют дальнейшее направление разработки – расчёт параметров импульсного источника лазерного излучения на длине волны 1,55 мкм.

Литература

- [1]. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. М.: Логос, 2004. 444 с.
- [2]. Steinvall O., Elmqvist M., Chevalier T., Gustafsson O. Active and passive short-wave infrared and near-infrared imaging for horizontal and slant paths close to ground // *Applied Optics*. 2013. Vol. 52, No. 20. P. 4763–4778.
- [3]. Mehra R., Riffard A., Labussière M. et al. Would SWIR modality help for detection and segmentation in harsh weather conditions? An experimental study // *Proc. ICCV Workshops*. 2023. P. 2211–2219.

МНОГОЩЕЛЕВАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КАК МЕТОД СОЗДАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АНАЛОГОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Развитие вычислительной техники в последние десятилетия сталкивается с фундаментальными ограничениями классической электроники. Проблемы энергопотребления, тепловыделения и задержек сигнала в медных соединениях становятся критическими при масштабировании вычислительных систем. Одним из перспективных направлений преодоления этих ограничений считается использование оптических явлений для передачи и обработки информации. Однако практическая реализация оптических вычислительных устройств сопряжена с серьезными технологическими трудностями, в частности, при проведении экспериментов с интерференцией видимого света, требующих изготовления структур с микронными размерами.

В данной работе рассматривается подход, предложенный исследователями из Московского физико-технического института, заключающийся в замене видимого излучения микроволновым для упрощения экспериментальных исследований интерференционных процессов. Анализируются результаты двух- и трехщелевых интерференционных экспериментов, а также оценивается возможность создания на их основе логических элементов для аналоговых вычислений.

Классический опыт Юнга демонстрирует, что при прохождении света через две щели на экране наблюдается интерференционная картина: области конструктивной интерференции чередуются с областями деструктивной. Если интерпретировать каждую щель как вход, а точку на экране как выход, то, изменяя фазы волн, можно управлять выходным сигналом. Это позволяет рассматривать интерференционную схему как потенциальную основу для создания логических элементов.

Основная сложность работы с видимым диапазоном заключается в малой длине волны (порядка 0.5 мкм), что требует изготовления щелей микронного размера с высокой точностью. В экспериментах МФТИ использовались микроволновые частоты 36.3-53.6 ГГц, что соответствует длинам волн от нескольких миллиметров до сантиметров. Диэлектрические основания с металлическим покрытием содержали две или три щели, изготовленные механическими методами.

Ключевым результатом экспериментов стало наблюдение почти полного гашения сигнала в центре пучка при интерференции от двух щелей со сдвигом фаз. Данный эффект демонстрирует возможность управления выходным сигналом в широком динамическом диапазоне. В двоичной логике наличие сигнала может интерпретироваться как «1», а его отсутствие как «0», что создает предпосылки для реализации логических функций.

Альтернативным направлением развития фотонных вычислений являются фотонные интегральные схемы (ФИС). Данные устройства представляют собой интегральные микросхемы, в которых передача и обработка сигналов осуществляется оптическими методами с использованием волноводов, ответвителей и модуляторов. Среди перспективных направлений в этой области можно выделить создание фазовых модуляторов с использованием пьезоэлектрических эффектов, а также разработку гибридных волноводных структур на основе многослойных пленочных технологий [1,3].

Преимуществом ФИС является компактность, сопоставимая с электронными интегральными схемами. Однако они обладают существенным недостатком: параметры схемы фиксируются на этапе изготовления и не могут быть изменены в процессе эксплуатации. Микроволновый подход, напротив, проигрывает в компактности, но обеспечивает гибкость на этапе исследовательских работ.

Одним из наиболее перспективных применений интерференционных аналоговых вычислителей является моделирование волновых процессов. Аналоговая система, реализованная на интерференционных принципах, способна рассчитывать распространение упругих или электромагнитных волн за время, определяемое скоростью распространения сигнала в среде, что на несколько порядков быстрее цифрового моделирования.

Другим важным направлением являются оптические нейронные сети. Как отмечается в обзоре Bai и соавторов, использование различных физических измерений (времени, длины волны, пространства) позволяет оптическим нейросетям достигать высокой степени параллелизма [4]. В таких системах линейные операции (свертки и матричные умножения) выполняются оптическими методами, а нелинейные функции активации реализуются электронно. Интерференционные схемы могут найти применение в качестве линейных преобразователей.

Технология Co-Packaged Optics (CPO), представляющая собой метод гетерогенной интеграции фотонных и электронных интегральных схем в одном корпусе, активно обсуждается в профессиональном сообществе. На конференции IEEE Electronic Components and Technology Conference (ECTC) в 2024 году были представлены результаты исследований по масштабируемому изготовлению 3D-оптических структур для CPO [2]. Данная технология ориентирована в первую очередь на повышение пропускной способности межсоединений и снижение энергопотребления в вычислительных системах.

Развитие интерференционных вычислительных устройств сталкивается с рядом проблем. Аналоговая природа таких систем обуславливает высокую чувствительность к внешним воздействиям. Интеграция оптических компонентов с электронными схемами требует создания лазеров, модуляторов и фотодетекторов в едином чипе с минимальными потерями. Отсутствие эффективных оптических нелинейных элементов затрудняет реализацию нейросетевых алгоритмов. Проблема масштабирования связана с отсутствием

отработанных методов создания вычислительных структур с большим числом элементов.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы. Метод микроволнового моделирования интерференции позволяет исследовать интерференционные явления и отрабатывать архитектуры логических элементов без применения сложных нанотехнологий. Экспериментально подтверждена возможность управления выходным сигналом путем изменения фазовых соотношений, что создает основу для реализации базовых логических операций. Создание полностью оптического универсального компьютера в обозримой перспективе представляется маловероятным из-за множества нерешенных технологических проблем. Наиболее реалистичным направлением представляется разработка гибридных систем, в которых оптические ядра выполняют специализированные функции, а управление и логические операции реализуются электронными средствами. Технологии типа СРО, уже находящие применение в центрах обработки данных, демонстрируют постепенное проникновение фотоники в вычислительную технику.

Литература

- [1]. Шулепова А.В., Шулепов В.А., Стригалева В.Е. Исследование пьезоэлектрического эффекта и создание модифицированной конструкции фазового модулятора на основе ниобата лития // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. Т. 24, № 4. С. 538–547.
- [2]. Kurosu T., Inoue T., Toba K., Ishitsuka T., Sakata I. Scalable Fabrication of 3D Optical Re-distribution for Co-Packaged Optics using a Developed Nanoimprint Stepper // 2024 IEEE 74th Electronic Components and Technology Conference (ECTC). Denver, CO, USA, 2024. P. 1404-1408.
- [3]. Статья руководителя лаборатории ПИИШ ТУСУРа опубликована в журнале Optics Letters из высшего квартиля Q1 // Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 2024.
- [4]. Bai Y., Xu X., Tan M., Sun Y., Li Y., Wu J., Morandotti R., Mitchell A., Xu K., Moss D.J. Photonic multiplexing techniques for neuromorphic computing // Nanophotonics. 2023. Vol. 12, No. 5. P. 795-817.

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ

Детектирование объектов – важная задача в сферах безопасности, навигации, экологического мониторинга и других областях. Её эффективность зависит от множества факторов, в том числе от погодных условий. Рассмотрим, как погода влияет на детектирование стационарных и движущихся объектов, а также получим ответ для решения этой проблемы.

Погодные условия оказывают комплексное воздействие на процесс детектирования. Один из ключевых факторов – теневой угол (рис. 1), то есть угол между направлением на источник света (обычно Солнце) и поверхностью объекта. При низком положении Солнца утром или вечером тени удлиняются, создавая сильные контрасты. Это может, как помочь выделить объект, так и скрыть его: длинные тени могут сливаться с объектами, приводя к ложному детектированию или пропуску цели. Кроме того, тени искажают форму объекта, усложняя его классификацию.

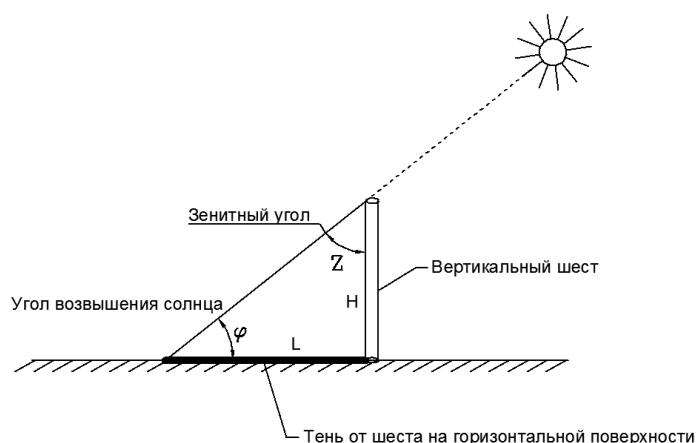


Рисунок 1 – Схема теневого угла

Существенное влияние оказывает облачность, которая снижает интенсивность прямого солнечного излучения, заменяя его рассеянным светом. Разные типы облачности воздействуют на детектирование по-разному. Перистые облака слабо влияют на процесс, лишь незначительно снижая контраст. Кучевые облака создают неравномерное освещение, вызывая чередование ярких и затенённых участков, что может привести к ошибкам сегментации. Слоистые облака формируют равномерную «серую завесу», снижая общий контраст сцены, – из-за этого затрудняется детектирование мелких объектов. Наиболее критичны грозовые облака: они вызывают резкое падение освещённости, сопровождаемое осадками и турбулентностью, – в таких условиях детектирование оптическими средствами практически невозможно.

Другие погодные явления тоже вносят свои коррективы. Осадки (дождь, снег, град) рассеивают и поглощают излучение, снижая дальность детектирования, а капли дождя создают шумы на изображениях. Туман резко ограничивает видимость из-за рассеяния света на каплях воды: дальность детектирования может упасть до десятков метров. Пыль и дым действуют аналогично туману, но с другим спектром рассеяния и могут блокировать инфракрасный диапазон. Ветер влияет на положение движущихся объектов: например, вызывает качание деревьев или смещение дыма, – это усложняет их отслеживание.

Объекты детектируются в разных спектральных диапазонах (рис. 2), каждый из которых по-своему реагирует на погоду. Видимый диапазон (0,4-0,7 мкм) сильно зависит от освещённости и облачности. Ближний ИК (0,7-1,3 мкм) менее чувствителен к дыму и туману. Средний ИК (3-5 мкм) позволяет детектировать тепловое излучение объектов, например, двигатели машин. Но некоторые объекты из-за нагрева Солнца могут дать засвет, и привести к потере спектральной информации. Дальний ИК (8-14 мкм) эффективен для обнаружения тепловых источников в темноте или при слабой видимости.

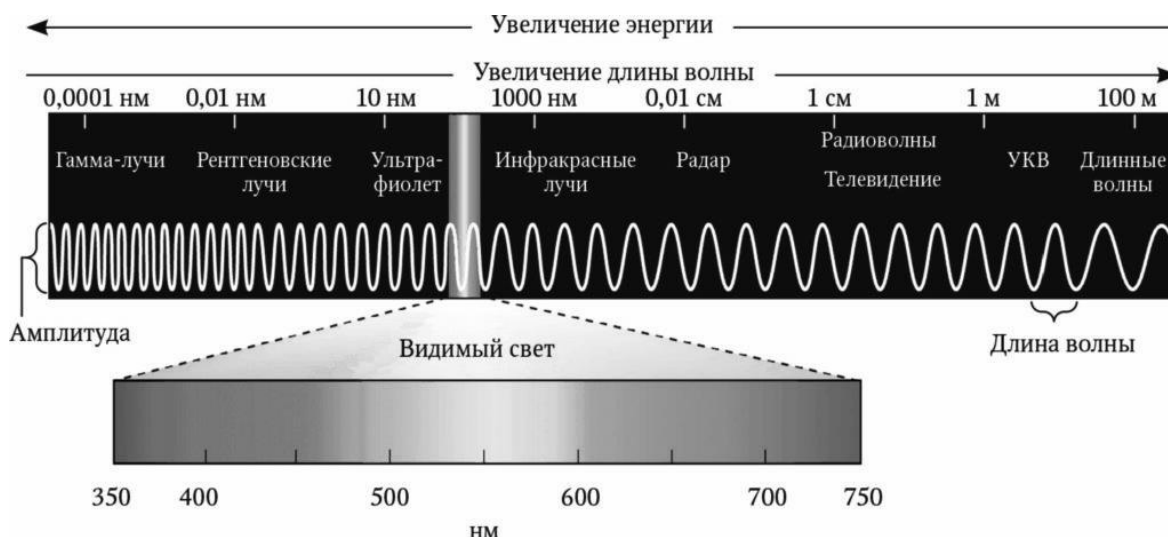


Рисунок 2 – Спектральные диапазоны

Кроме того, погодные условия могут менять положение и угол обзора объекта. Ветер перемещает лёгкие объекты (листья, мусор), осадки смывают следы. Туман и дождь искажают геометрию сцены, вызывая параллаксные ошибки. Сильный ветер или течение влияют на траекторию движущихся объектов, что усложняет их детектирование и отслеживание.

Снижать влияние погоды помогают гиперспектральные камеры (рис. 3), регистрирующие сотни узких спектральных каналов. Это позволяет выделять объекты и адаптироваться к меняющимся условиям.

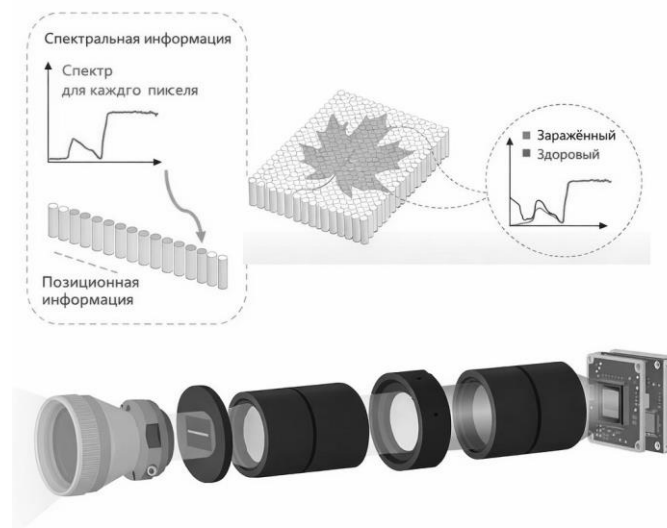


Рисунок 3 – Принцип работы гиперспектральной камеры

Таким образом, погодные условия существенно влияют на детектирование: облачность снижает контраст, осадки и туман ограничивают дальность, ветер меняет положение объектов. Гиперспектральные камеры позволяют компенсировать эти эффекты за счёт спектрального анализа. Для повышения точности детектирования рекомендуется комбинировать данные с нескольких камер. Это особенно важно в задачах, где требуется надёжное детектирование в реальном времени – например, в системах безопасности или экологического мониторинга.

Литература

- [1]. Белов, А. М. Атмосферная коррекция гиперспектральных изображений с помощью приближённого решения уравнения переноса MODTRAN / А. М. Белов, В. В. Мясников // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 38, № 3.
- [2]. Денисова, А. Ю. Обнаружение аномалий на гиперспектральных изображениях / А. Ю. Денисова, В. В. Мясников // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 2. – С. 287–296.
- [3]. Денисова, А. Ю. Алгоритмы анализа линейной спектральной смеси на гиперспектральных изображениях с использованием картографической основы / А. Ю. Денисова, В. В. Мясников // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 2. – С. 297–303.
- [4]. Штехин, С. Е. Особенности применения методов глубокого обучения для обнаружения небольших объектов на видео в условиях дождя / С. Е. Штехин, А. В. Стадник // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12, № 3.
- [5]. Штехин, С. Изучение фильтрации негативного влияния погоды на обнаружение объектов / С. Штехин, Д. Карачев, А. Стадник // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2024. – Т. 55, № 3.
- [6]. Николенко, А. А. Методы обработки данных гиперспектрального авиакосмического дистанционного зондирования агросистем с учётом атмосферной коррекции : дис. ... канд. наук / А. А. Николенко. – 2015.
- [7]. Никишин, Ю. А. Разработка и исследование методов геометрической коррекции и фотограмметрической обработки материалов воздушной нестабилизированной гиперспектральной съёмки : дис. ... канд. наук / Ю. А. Никишин. – 2012.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОННОЙ НАСТОЛЬНОЙ ИГРЫ

В статье представлена функциональная схема электронной настольной игры. Настольные игры один из видов досуга, в большинстве не используются электронные компоненты, ведь некоторые из них придуманы до повсеместного использования электроники. Из этого вытекает актуальность и технологическая новизна данного гибридного программно-аппаратного устройства.

При поиске аналогов похожей настольной игры в интернете были найдены реализации совмещения электроники и настольной игры, но сильно отличающихся в исполнении. Среди существующих решений можно отметить игры с встроенной электроникой, такие как *Return to Dark Tower* [1] (автоматическая башня с датчиками и эффектами) (рис. 1), *Beasts of Balance* [2] (сенсорная подставка с отслеживанием фигурок) и *BOARD* [3] (интерактивный стол с физическими NFC-фигурками на экране). Однако данные проекты либо требуют внешнего приложения, либо не предусматривают автономного перемещения фигурок по полю с помощью шаговых двигателей, что отличает разрабатываемую игру.



Рисунок 1 – Комплект настольной игры *Return to Dark Tower*

Темой настольной игры является обучение в высшем учебном заведении, во время прохождения игроки знакомятся с расписанием учёбы в университете. Игрокам нужно закончить первый семестр обучения и побеждает тот, кто выполнит это быстрее. Семестр будет длиться определённое количество раундов, также будут дополнительные раунды (отработки). Дополнительные раунды нужны, если ни один игрок не успел закончить игру за сессию, если

игроки не успели закончить семестр даже за дополнительные раунды, то в игре нет победителя и все игроки считаются не завершившими семестр (отчисленными) [4]. Раунд – это круг ходов. Каждый из игроков должен сделать один ход. Когда все сделают – раунд закончился. В пределах одного раунда все игроки ходят по очереди.

Для успешного завершения семестра необходимо сдать все экзамены и зачёты. В игре присутствует одна из игровых механик – характеристики: «Знания», «Удача», «Общественная деятельность» и «Скорость». Первые три характеристики будут повышать шанс успешной сдачи экзамена или зачёта, последняя характеристика будет добавлять дополнительное количество клеток, которые можно пройти к тем, что выпали на кубике (реального кубика не будет в настольной игре, а только анимация броска, отображающаяся на экране).

Одной из главных механик игры является возможно игрока ходить вперёд и назад для достижения нужной клетки. В свой ход игрок бросает кубик и у него есть выбор: ходить или просто пропустить ход. Также при выпадении большего числа, чем ему нужно, игрок имеет право сходить только нужное количество клеток, выполнить какое-то действие на клетке, а после может использовать оставшееся количество клеток, которые он может пройти, на своё усмотрение.

Устройство будет представляет собой макет учебного заведения с прилегающей территорией. В макете учебного заведения будут располагаться лифты, отвечающие за перемещение фигурок между этажами, для определения положения лифтов относительно этажей на лифтах будут расположены лазерные датчики расстояния. Для взаимодействия игрока с настольной игрой на корпусе будут располагаться экран и пять кнопок.

Первая кнопка будет с фиксацией для включения и отключения настольной игры будет располагаться отдельно от остальных кнопок, для уменьшения шанса случайного отключения настольной игры. Остальные кнопки будут без фиксации. Вторая кнопка отвечает за бросок кубика и подтверждение выбора действия. Третья и четвёртая кнопка служат для перехода в игровом меню на экране. Пятая кнопка нужна будет для передачи хода следующему игроку, она пригодится в случае, если игрок захочет пропустить ход или не использовать оставшееся количество клеток, которые он может пройти.

Фигурка игрока – это миниатюрные машинка, которая будет двигаться по игровому полю с помощью шагового двигателя, управляемого микроконтроллером *ESP8266*, который получает команды по *Wifi* отправляемые центральным микроконтроллером *STM32F446RET6*. Лазерный датчик расстояния будет определять количество клеток, пройденных машинкой и отправлять сигнал на микроконтроллер, микроконтроллер будет останавливать шаговый двигатель и передавать команду по *Wifi*, что фигурка закончила движение.

На рисунке 2 представлена функциональная схема устройства.

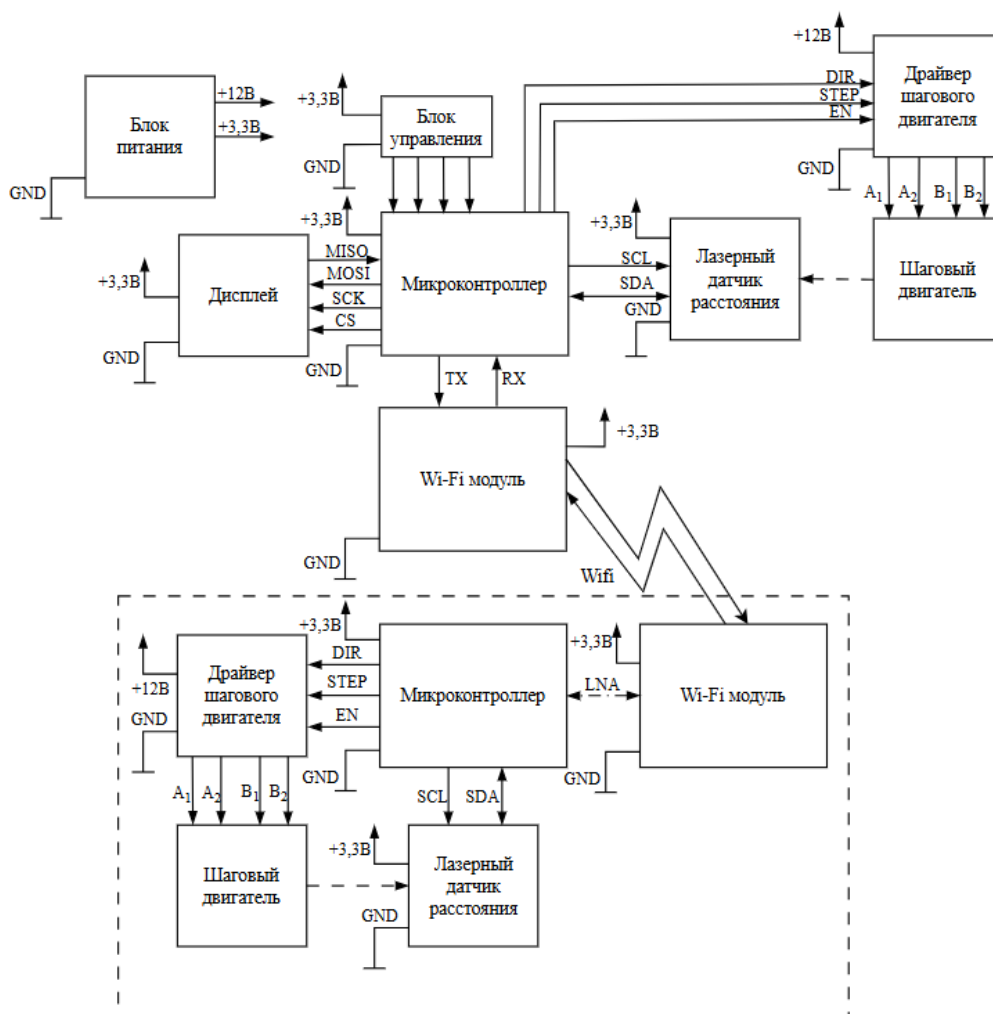


Рисунок 2 – Функциональная схема электронной настольной игры

Для управления основной логикой игры (кроме движения фигурок) выбран микроконтроллер *STM32F446RET6* в связи с необходимым количеством контактов, наличием возможности реализовать нужные интерфейсы и поддержкой написания программы для него на C++.

Для движения лифтов и фигурок будут использоваться два вида шаговых двигателей: 17HS4401 и 28BYJ-48. Первый используется для движения лифта между этажами, второй для движения машинок. За управление шаговых двигателей будут отвечать микроконтроллеры.

Для определения расстояния пройденного фигуркой и расстояния до ближайшей плоскости (нужно для определения положения лифта относительно этажа) и его перевод в двоичный код отвечает лазерный датчик *VL53L0X*.

Дисплей 3,5 дюйма будет использоваться для отображения информации.

Для управления шаговым двигателем, установленного в машинке будет отвечать микроконтроллер *ESP8266*.

Таким образом была разработана функциональная схема отображающая связь между электронными компонентами в настольной игре. Разрабатываемое устройство предлагает альтернативный формат досуга, свободный от зависимости от мобильных устройств и способствующий непосредственному

взаимодействию между людьми. Проведённый анализ интернет-ресурсов выявил крайне ограниченное число схожих решений, что указывает на оригинальность и новизну идеи.

Литература

- [1]. Return to Dark Tower //kickstarter. URL: <https://www.kickstarter.com/projects/restorationgames/return-to-dark-tower> (дата обращения: 15.03.2026)
- [2]. Beasts of Balance // beastsofbalance. URL: <https://beastsofbalance.com/> (дата обращения: 15.03.2026)
- [3]. BOARD //Board. URL: https://board.fun/?_ab=0&_fd=0&_sc=1 (дата обращения: 15.03.2026)
- [4]. Шелл Дж. Искусство геймдизайна : книга линз / Джесси Шелл ; пер. с англ. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2019. – 560 с. – ISBN 978-5-4461-0987-6.

*Д.А. Филатов, студ.; рук. В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СОВРЕМЕННЫЕ ГОСТЫ ПО КОЛОРИМЕТРИИ И ФОТОМЕТРИИ

В современной промышленности точность воспроизведения цвета и яркости света перестала быть вопросом визуального восприятия, превратившись в строгий технологический параметр. От автомобилестроения и производства лакокрасочных материалов до разработки высокотехнологичных LED-систем повсеместно требуется единство измерений. В условиях бурного развития цифровизации производств и светотехнической промышленности точность цветовых и световых измерений становится важнейшим фактором качества. Российская нормативная база в этой области активно обновляется. В 2024-2025 годах вступил в силу ряд стандартов, которые окончательно закрепили переход от субъективных оценок к высокоточному инструментальному контролю. На смену классическим методикам приходят документы, соответствующие международным протоколам ISO и CIE. Ниже приведены ключевые старые стандарты действующие стандарты, пришедшие им на смену и формирующие современную систему световых и цветовых измерений в России.

Колориметрия – это направление прикладной оптики, посвященное количественной оценке цвета и его измерению. Основой этой дисциплины является утверждение, что цвет возникает в результате взаимодействия спектрального состава излучения, оптических характеристик объекта и особенностей работы зрительной системы человека [1]. Эта дисциплина позволяет преобразовать субъективное восприятие оттенков в объективные числовые параметры, что критически важно для точного воспроизведения цвета в промышленности [2].

Современные подходы к колориметрии делятся на два типа: визуальные и инструментальные. Визуальное измерение проводится путём сравнения исследуемого образца с эталоном при строго заданных условиях освещения. Инструментальные методы используют спектрофотометры и колориметры, раскладывающие свет на спектральные компоненты и рассчитывающие цветовые координаты в специализированных цветовых моделях. Ключевая цель

– обеспечить единые условия измерений, чтобы результат был воспроизводимым в любой лаборатории мира.

Трансформация стандартов в 2024-2025 годах отражает переход от аналоговых методов контроля к цифровым спектрофотометрическим системам.

ГОСТ Р 71216-2024 принят на смену фундаментальному ГОСТ 13088-67, так как последний базировался на технических возможностях 60-х годов и визуальных методах сравнения. В новый стандарт были добавлены современные формулы расчета цветовых различий (в частности, CIEDE2000), а также алгоритмы компенсации нелинейности человеческого зрения. Были исключены упрощенные линейные методы оценки, которые приводили к расхождениям между показаниями приборов и визуальной экспертизой. Это позволит минимизировать производственный брак в таких точных отраслях, как производство автомобильных эмалей и полимерных материалов.

ГОСТ Р 8.586-2016 принят на смену ГОСТ 8.586-2001, поскольку старая редакция была ориентирована на поверку колориметров по ограниченному набору физических мер (цветных стекол). В актуальный документ было внесено требование проводить анализ полной спектральной характеристики прибора во всем видимом диапазоне (380–780 нм). Была исключена возможность поверки приборов без учета их спектральной селективности. Это позволит обеспечить высокую точность измерений несамосветящихся объектов (пластик, текстиль, бумага) вне зависимости от типа используемого спектрофотометра.

ГОСТ 8.205-2014 принят на смену советскому ГОСТ 8.205-90, так как старая поверочная схема была выстроена вокруг визуальных компараторов и не соответствовала иерархии передачи единиц для цифровых датчиков высокого разрешения. В стандарт была внесена жесткая математическая цепочка передачи единиц координат цвета от первичного государственного эталона. Были исключены устаревшие звенья поверочной цепи, основанные на субъективной оценке наблюдателя. Это позволит гарантировать полную сопоставимость результатов измерений между различными лабораториями и промышленными площадками в рамках единого цифрового пространства.

Фотометрия – это направление физической оптики, изучающее способы измерения энергии электромагнитного излучения, воспринимаемого глазом. В отличие от радиометрии, которая оценивает полную мощность потока излучения, фотометрия учитывает зависимость чувствительности зрительного восприятия от длины волны [3]. Такой подход даёт возможность количественно оценивать свет по его полезности для освещения объектов и обеспечения видимости.

К основным параметрам, определяемым в фотометрии, относятся световой поток, сила света, освещённость и яркость. Измерения проводятся с применением специализированных приборов – фотометров – преобразующих световую энергию в электрический сигнал. Специальные фильтры корректируют чувствительность детекторов под эталонную кривую видимости глаза, что гарантирует единообразие измерений в рамках установленных стандартов [3].

Переход на светодиодные источники света (SSL) внес коррективы в методики фотометрии. Стандартные люксметры, калиброванные под лампы накаливания и газоразрядные лампы, ошибочно интерпретируют данные по холодному светодиодному излучению с выраженным пиком в синей области спектра.

Современные подходы, закреплённые в нормативных документах, требуют применения спектрорадиометров. Такие устройства не измеряют общую яркость, а регистрируют энергию излучения на каждом участке спектра с шагом 1-5 нм. Этот метод позволяет одновременно рассчитать световой поток и проверить безопасность освещения с точки зрения биологического воздействия синего света, что особенно важно для объектов здравоохранения и учебных заведений.

Обновление стандартов фотометрии в 2013-2025 годах обусловлено массовым переходом от тепловых источников света (ламп накаливания) к твердотельным (LED) и развитием энергоэффективных оптических систем.

ГОСТ 8.332-2013 принят на смену советскому ГОСТ 8.332-78, так как старые значения спектральной световой эффективности базировались на данных начала XX века и давали критические погрешности при замере узкополосных светодиодов. В новый документ были внесены актуализированные значения функции видимости, гармонизированные с современными данными МКО. Были исключены устаревшие коэффициенты, приводившие к неверному расчету светового потока для «холодных» источников. Это позволит более точно калибровать люксметры и спектрорадиометры для работы с современным LED-освещением.

ПНСТ 927-2024 введен (с ноября 2024 г.) как принципиально новый стандарт оценки качества света, фактически заменяющий упрощенные методики прошлых лет по расчету индекса цветопередачи (CRI). В стандарт было добавлено использование 99 тестовых образцов (вместо 8 в старых методах) и введена двумерная система оценки: верность цвета и его насыщенность. Были исключены возможности «манипуляции» качеством света за счет подбора спектра под узкий набор цветов. Это позволит максимально достоверно определять качество цветопроизведения источников света в медицине, ритейле и дизайне.

ГОСТ Р 72168-2025 принят на смену фрагментарным нормам светопропускания (таким как в ГОСТ 23166-78), так как старые строительные стандарты рассматривали только статические окна и не учитывали технологии транспортировки света. В документ были внесены методики расчета светотехнических параметров для полых зеркальных световодов и систем активного управления естественным светом. Это позволит легитимно проектировать системы освещения для глубоких помещений и подвалов, обеспечивая комфортную световую среду там, где ранее это было невозможно.

ГОСТ 8.023-2014 принят на смену ГОСТ 8.023-90, так как прежняя государственная поверочная схема была выстроена вокруг эталонных ламп накаливания и не обеспечивала прослеживаемости для импульсных и полупроводниковых источников. Были внесены новые звенья передачи единиц

для высокоинтенсивных и короткоимпульсных световых потоков. Это позволит гарантировать, что единицы света в российской промышленности полностью соответствуют мировым эталонам в рамках цифрового производства.

ГОСТ Р 8.971-2019 и ГОСТ 26148-84 завершают систему, где первый выступает современным инструментом защиты потребителя от завышенных характеристик LED-продукции, а второй – сохраняет преемственность фундаментальной терминологии, в которую были добавлены современные буквенные обозначения и определения величин.

Переход на новые стандарты в колориметрии и фотометрии ознаменовался полным отказом от устаревших линейных моделей, включая ГОСТ 13088-67, и переходом к сложным математическим алгоритмам, закреплённым в ГОСТ Р 71216-2024 и ПНСТ 927-2024. Вместо восьми образцов освещения теперь используется система из 99 тестовых образцов, позволяющая точно оценивать качество света по методике TM-30. Основой стали современные формулы цветоразличия, такие как CIEDE2000, обеспечивающие высокую точность восприятия.

Цель изменений – создание условий для работы с «цифровыми двойниками» в светотехнике. Стандартизированные форматы передачи данных, такие как IES, LDT и SxP, обеспечивают прозрачную интеграцию всех этапов производства: от проектирования и разработки до контроля качества.

Цвет и свет перестают быть объектом субъективных оценок – их параметры фиксируются как строгий цифровой код, доступный каждому участнику процесса без потери точности.

Прежняя «аналоговая» метрология советского образца, основанная на усреднённых таблицах и визуальном сравнении, вызвала критические погрешности при работе с современными LED-системами и сложными полимерными материалами. В условиях импортозамещения потребность в прослеживаемости измерений вышла на первый план: согласно ГОСТ 8.023-2014, каждый заводской прибор теперь жёстко связан цепочкой калибровок с государственным первичным эталоном. Такая привязка гарантирует признание качества российской продукции на международной арене (CIE, ISO).

Внедрение этих стандартов становится не просто формальностью – это реальный инструмент повышения конкурентоспособности. С помощью цифровых методов контроля, прописанных в ГОСТах, предприятия сокращают долю брака до минимума, устраняя влияние человеческого фактора. Результаты становятся одинаково достоверными на всех этапах: от лабораторных испытаний до выхода товара с конвейера. Потребитель получает 100% уверенность в точности заявленных характеристик.

Несмотря на достижения 2024-2025 годов, отдельные участки отрасли продолжают использовать устаревшие стандарты. Им требуется масштабная переделка, без этого невозможно достичь уровня современной метрологии.

ГОСТ 2239-79 и схожие документы требуют пересмотра в свете современных требований. Стандарты по-прежнему описывают лампы накаливания через призму устаревших критериев, игнорируя спектральные

особенности и энергопотребление. Эти источники света уже не просто освещают комнаты – они выступают эталонными излучателями в точных измерениях. Используются для калибровки спектрорадиометров, где стабильность спектрального распределения энергии и строгий контроль цветовой температуры напрямую влияют на достоверность результатов. Обновлённые стандарты должны соответствовать требованиям к стабильности спектрального распределения энергии и фиксировать допуски на отклонение параметров в ходе эксплуатации. Без этого нет оснований полагаться на точность измерений в лабораториях, где накаливание служит мостом между классической фотометрией и современными LED-системами.

Литература

- [1]. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике / Пер. с англ. под ред. Л. Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978.
- [2]. Мешков В.В. Основы светотехники ч.1. М.: Энергия, 1979 г.
- [3]. Столяревская Р.И. Обзор ретроспективы и реалий прикладной фотометрии. Часть 2: Светодиодный вызов фотометрии//Светотехника. - 2023. - № 4. - С. 38-47.
- [4]. Шашлов Б. А. Цвет и цветовоспроизведение. – М.: Книга, 1986.

*Д.А. Филатов, студ.; рук. В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ФОТОКАМЕР

Еще десять лет назад эксперты предрекали рынку потребительских фотокамер скорое забвение. Справедливость этих прогнозов казалась очевидной: стремительный взлёт фотографии в камерах смартфонов сделал качественный снимок доступным в один клик. Казалось, что профессиональные камеры останутся востребованы лишь у узкого круга фотокорреспондентов и студийных мастеров, а потребности массового пользователя будут вполне удовлетворяться возможностями мобильных устройств.

Но сегодня наблюдается неожиданный сдвиг: интерес к специализированной технике растёт. Цифровая камера перестала быть просто прибором для съёмки – она стала мощным гибридом, где оптика сталкивается с нейросетевыми алгоритмами. К 2026 году рынок чётко распался. Массовые «мыльницы» исчезли, уступив место продвинутым беззеркальным камерам, спрос на которые продолжает расти.

Выбор камеры сегодня – это баланс между оптической чёткостью и скоростью обработки изображений. Мобильные устройства не могут воссоздать глубину резкости, динамический диапазон и контроль над процессом съёмки, которые доступны системам с крупными сенсорами.

Изменение цифровой среды привело к полному отказу от зеркальных камер. Беззеркальные системы вытеснили своих предшественников не благодаря улучшению фокусировки, а за счёт интеграции высокоскоростной обработки, точного автофокуса и адаптивных режимов.

Эта революция кардинально изменила метод формирования цифрового изображения, заменив механическое отражение света прямым попаданием на сенсор [1]. В зеркальных камерах свет проходил через объектив, отражался от подвижного зеркала и направлялся в видоискатель. В современных моделях этот узел убран – путь света стал прямолинейным, а данные собираются непосредственно на матрице.

Такое упрощение архитектуры дало ощутимые преимущества. Конструкторы смогли уменьшить размеры и массу корпусов, сделав оборудование легким для переноски. Инструмент теперь не создает избыточной нагрузки в длительных поездках. Но главное – внутри системы появились новые возможности. Отказ от подвижного элемента позволил достичь беспрецедентной скорости съемки в режиме сплошной серии, ранее ограниченной инерционностью механики. Теперь технический потенциал вышел за рамки прежних ограничений.

Электронный видоискатель – это не просто замена оптическому прибору, а кардинальное изменение подхода к съёмке. Он отображает не свет, отражённый от сцены, а готовый кадр – с учётом выставленной экспозиции, баланса белого и всех параметров обработки. Фотограф видит результат в реальном времени. Нет нужды делать пробные снимки. Настройки корректируются мгновенно, по ходу работы.

Производители перестроили линейки объективов под беззеркальные системы. Короткое фокусное расстояние до крепления объектива дало инженерам свободу в проектировании. Линзы стали резче, увеличилась светосила, улучшилась точность фокусировки. Оптические искажения почти исчезли. Современные объективы работают в паре с матрицами высокого разрешения без потерь качества.

Отказ от зеркала – технологическая революция. Но настоящая перемена началась с интеграции машинного обучения. Камера теперь не только фиксирует изображение – она анализирует сцену в режиме реального времени (рис. 1). Основа этого процесса – нейросети, обученные на миллионах изображений для быстрого распознавания объектов [2].



Рисунок 1 – Камера с технологией искусственного интеллекта

Продвинутые системы автофокусировки стали прорывом в этой сфере. Современные камеры отслеживают не только лицо, но и зрачок – удерживая фокус даже при движении объекта или ношении очков. Интеллектуальные алгоритмы научились определять не только людей, но и животных, транспортные средства, самолёты, поезда. Фотографу больше не нужно корректировать точку фокусировки вручную – автоматика мгновенно определяет главный объект в кадре и подстраивается под его перемещение.

В цифровой зеркальной камере при использовании видоискателя свет отражается от вторичного зеркала и попадает на специальный датчик автофокусировки в нижней части корпуса. В режиме Live View роль датчика изображения выполняет одновременно и для отображения кадра, и для вычисления фокусировки. Устройства без зеркала работают постоянно в режиме, близком к Live View, поэтому используют исключительно последнюю схему.

Лазерная автофокусировка основана на инфракрасном излучении. Прибор посылает невидимый луч, затем принимает отражённый сигнал. По времени прохождения света камера рассчитывает расстояние до объекта. Эти данные помогают переместить объектив в нужное положение и тем самым добиться высокой резкости изображения (рис. 2).

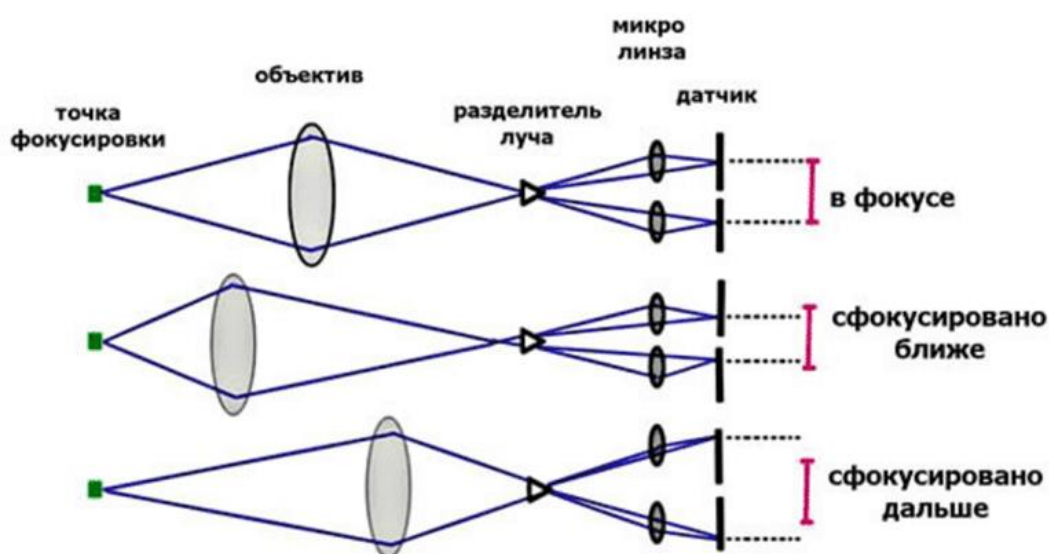


Рисунок 2 – Принцип работы автофокуса

Интеллектуальные функции расширили возможности динамического диапазона и подавления цифрового шума. Внутренние процессоры камеры за доли секунды справляются с многокадровой экспозицией, объединяя данные в один детализированный кадр. В результате получаются чёткие изображения даже в самых тёмных участках и при ярком свете, без использования сложного освещения. Техника берёт на себя расчёты, оставляя фотографу свободу для композиционных решений и поиска образа.

Ещё одной важной задачей стало внедрение алгоритмов стабилизации изображения. Сочетание механического сдвига матрицы и программного анализа движений позволяет делать кадры с высокой резкостью на длинных выдержках даже без штатива. Современные системы компенсируют дрожание рук настолько эффективно, что фото и видео в условиях слабой освещённости стали доступны не только профессионалам, но и новичкам.

Сердце современной камеры – светочувствительная матрица. За последние годы она претерпела серьёзные изменения. В профессиональной среде по-прежнему доминирует полнокадровый сенсор, размер которого соответствует 35 мм плёнке. Также на рынке активно используются форматы APS-C и среднеформатные матрицы.

Появление многослойных матриц с обратной засветкой изменило подход к размещению электроники, теперь она скрыта под светочувствительными ячейками, что ускоряет считывание данных. Такая архитектура позволила современным камерам работать на частоте в десятки кадров в секунду без искажений, характерных для традиционных цифровых затворов. В результате различия между статичной фотографией и видеосъёмкой высокого разрешения практически отсутствуют.

Сегодня сенсоры с разрешением от сорока пяти до ста мегапикселей позволяют выполнять глубокое кадрирование, не теряя деталей. Особенно это ценно в рекламной и пейзажной фотографии, где важна чёткость каждого элемента. Одновременно производители сумели увеличить общее число пикселей, сохранив при этом большой размер отдельного элемента, что обеспечивает чистое изображение даже при экстремально высоких значениях светочувствительности.

Расширение динамического диапазона – ключевой этап развития. Сенсор теперь фиксирует детали как в глубокой тени, так и в ярких бликах одной кадровой последовательностью. Современные матрицы настолько ёмко удерживают данные, что становится возможным восстановить оттенки из тёмных участков, которые раньше превращались в безымянную чёрную пелену. Уровень сенсорной чувствительности достиг того предела, при котором они способны конкурировать с человеческим зрением в сложных контрастных условиях.

Несмотря на повсеместное распространение смартфонов, профессиональные камеры сохранили свою нишу и активно развиваются. Их преимущества не только в качестве изображения, но и в продуманной архитектуре корпуса, а также в возможности менять оптические элементы под задачу. Смартфоны ограничены габаритами, их конструкция не позволяет вместить крупные линзы и сенсоры формата выше APS-C. Эта физическая граница вынуждает производителей имитировать широкий динамический диапазон через программные алгоритмы. Однако более требовательные пользователи всё чаще выбирают настоящую оптику.

Развитие отрасли идёт в направлении интеграции камер с современными технологиями. Уже сейчас некоторые модели оснащены функцией

автоматической передачи записанного на удалённые серверы. Ожидается появление сенсоров с глобальным затвором в массовом сегменте, таким образом будут ликвидированы любые геометрические искажения при съёмке быстро движущихся объектов.

Переход на беззеркальные конструкции, внедрение алгоритмов машинного обучения и улучшение архитектуры сенсоров – всё это формирует единую картину технологического прогресса, повышающего точность и воспроизводимость изображений. Эти изменения делают разрыв между смартфонами и фотокамерами менее заметным не только за счёт физики света, но и за счёт интеллектуальной обработки данных в реальном времени.

Анализ показывает: цифровая фотокамера превращается из простого инструмента фиксации реальности в сложное интеллектуальное устройство. Производители фотокамер развиваются в направлении применения современных технологий, усовершенствования матриц и применения беззеркальных оптических систем.

Литература

- [1]. Абрамов, П. В. Эволюция беззеркальных систем: от компактности к профессиональному стандарту // Вестник цифровых технологий. – 2025. – № 4. – С. 12–18.
- [2]. Иванов, С. А. Искусственный интеллект в современных системах автофокусировки: принципы машинного обучения в фотографии. – М.: Техносфера, 2024. – 256 с.
- [3]. Цветкова Н. А. Влияние цифровых технологий на художественные традиции фотопортрета // Universum: Филология и искусствоведение. – 2025. – № 3. – С. 4–11.
- [4]. Романов О. Ю. Трансформация: новая парадигма фотографической практики // Вестник Казанского государственного университета культуры и искусств. – 2024. – № 4. – С. 30–36.

*М.Н. Фирсов, магистрант; рук. М.А. Амелина, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СТЕНД ПРОВЕРКИ ЛАЗЕРНОГО ЦЕЛЕУКАЗАТЕЛЯ ДАЛЬНОМЕРА

Современные лазерные дальномеры находят широкое применение в самых различных областях: от геодезии и строительства до военной техники и промышленной автоматизации. Ключевым элементом любого лазерного дальномера является целеуказатель – устройство, формирующее узконаправленный лазерный луч, по которому производится наведение и измерение расстояния. От стабильности и точности параметров излучения целеуказателя напрямую зависит достоверность результатов измерений и эффективность работы всей системы в целом. К числу наиболее важных характеристик относятся мощность лазерного излучения и период повторения импульсов (частота следования), которые должны соответствовать техническим условиям изготовителя на протяжении всего срока службы изделия [1].

В процессе производства, а также при проведении регламентных работ и ремонта возникает необходимость контроля указанных параметров. Традиционно для этого используются лабораторные измерители мощности и

осциллографы, что требует участия квалифицированных представителей рабочего персонала и значительных временных затрат. Кроме того, при серийном выпуске изделий ручной контроль становится узким местом, снижающим производительность. Отсутствие автоматизированных средств регистрации и документирования результатов затрудняет ведение электронного паспорта изделия и не позволяет оперативно выявлять отклонения в процессе производства.

Актуальность разработки специализированного стенда контроля параметров лазерного целеуказателя обусловлена необходимостью повышения достоверности и производительности испытаний, а также интеграции контрольно-измерительного оборудования в единую информационную среду предприятия в рамках концепции Индустрии 4.0. Целью настоящей работы является обозначение структурной схемы автоматизированного стенда, позволяющего измерять мощность излучения и период повторения импульсов лазерного целеуказателя, отображать полученные данные на встроенном индикаторе и передавать их по сети Ethernet для удаленного мониторинга и архивирования.

В соответствии с задачами контроля были сформулированы следующие функциональные и технические требования к разрабатываемому стенду [2]:

1. Измерение средней или импульсной мощности излучения лазерного целеуказателя в заданном диапазоне с помощью датчика световой энергии, формирующего аналоговый сигнал 0...5 В.

2. Измерение периода повторения импульсов излучения с использованием отдельного фотодиодного модуля, выходной сигнал которого представляет собой последовательность импульсов, пропорциональную частоте следования лазерных вспышек.

3. Отображение текущих значений измеряемых параметров (мощность и период) на встроенном OLED-индикаторе для оперативного контроля оператором непосредственно на рабочем месте.

4. Реализация ТСР-сервера для обеспечения удаленного доступа к данным измерений по интерфейсу Ethernet, что позволяет подключать стенд к локальной вычислительной сети экономического субъекта промышленной направленности и вести мониторинг параметров с автоматизированных рабочих мест.

5. Обеспечение автономного питания всех узлов стенда от стандартной однофазной сети переменного тока напряжением 230 В.

Предлагаемая структурная схема стенда приведена на рисунке 1, базируется на использовании устройства управления, в роли которого в наиболее простом и экономически оправданном случае выступает микроконтроллер. Применение микроконтроллера обеспечивает гибкость настройки алгоритмов сбора и обработки данных, возможность подключения различных типов датчиков и интерфейсов, а также сравнительно низкую стоимость конечного изделия.

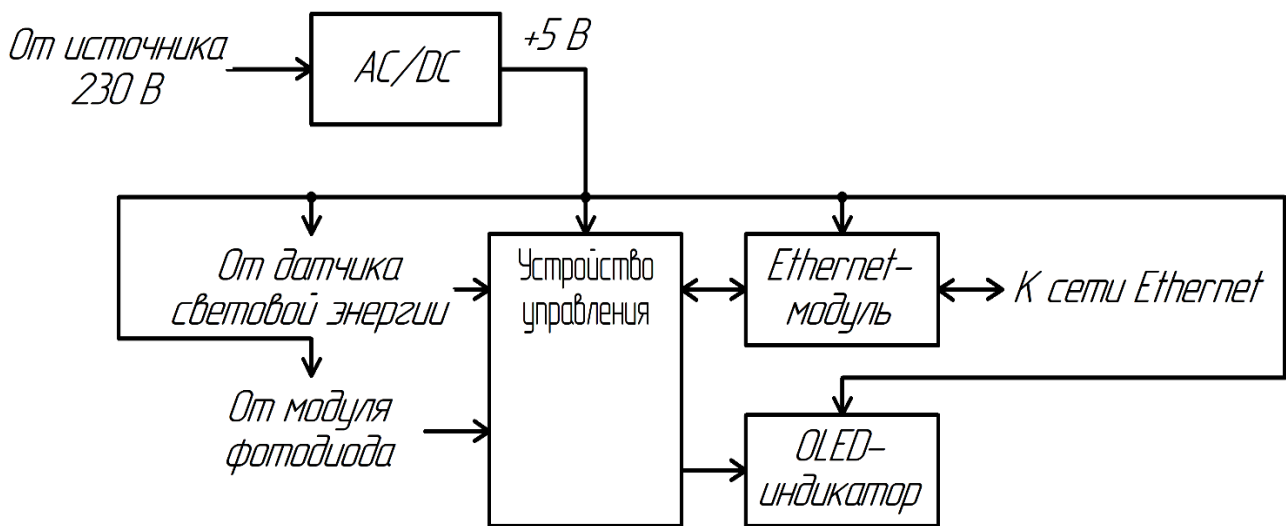


Рисунок 1 – Структурная схема стенда проверки лазерного целеуказателя дальномера

Центральным элементом стенда является микроконтроллер, который выполняет функции сбора данных с измерительных преобразователей, их математической обработки, управления индикацией и организации сетевого обмена. Выбор конкретного типа микроконтроллера определяется наличием необходимых периферийных узлов: аналого-цифрового преобразователя (АЦП) для оцифровки сигнала с датчика мощности, счетчика импульсов или входа внешнего прерывания для измерения периода следования импульсов с фотодиодного модуля, а также интерфейсов для подключения Ethernet-модуля (например, SPI или параллельного) и OLED-индикатора (I2C или SPI).

Для измерения мощности лазерного излучения применяется датчик световой энергии. Он преобразует оптический сигнал в напряжение. В зависимости от типа лазера (непрерывный или импульсный) используют калиброванный фотодиод с усилителем либо термоэлектрический преобразователь [3]. Выходной сигнал датчика нормирован в диапазоне 0–5 В и поступает на вход АЦП микроконтроллера. Встроенное ПО оцифровывает сигнал с заданной частотой дискретизации, фильтрует его для подавления шумов и, используя индивидуальный калибровочный коэффициент, пересчитывает цифровой код в значение мощности (в милливаттах).

Период повторения импульсов измеряет отдельный модуль. В его состав входят быстродействующий фотодиод и формирователь импульсного сигнала. При попадании лазерного излучения на фотодиод модуль выдает последовательность электрических импульсов, согласованных по уровню с логическими входами микроконтроллера. Этот сигнал поступает на таймер/счетчик, настроенный на измерение временных интервалов. Микроконтроллер фиксирует длительность периода между двумя соседними импульсами (для повышения точности возможно усреднение по нескольким периодам).

Результаты измерений выводятся на OLED-индикатор, установленный на стенде. Эта технология обеспечивает высокую контрастность и широкие углы

обзора, что важно для работы в ярко освещенном цехе или производственном помещении. Индикатор подключается к микроконтроллеру через последовательный интерфейс микропроцессорных взаимодействий, что сокращает число соединительных линий. Программное обеспечение формирует на экране информационные кадры с текущими значениями мощности и периода импульсов.

Предлагаемый стенд отличает возможность удаленного мониторинга и сбора данных по Ethernet. Для этого в схему добавлен Ethernet-модуль (например, на базе контроллеров ENC28J60 или W5500). Он подключается к микроконтроллеру по последовательному интерфейсу и обеспечивает работу в сети с пропускной способностью до 10/100 Мбит/с. На стороне микроконтроллера реализован TCP-сервер, который ожидает подключения клиентских приложений – диспетчерской программы на компьютере оператора или корпоративной системы сбора данных. После установки соединения сервер отправляет клиенту текущие измерения в текстовом формате (например, «Мощность: 25 мВт, Период: 1000 мкс») и может принимать команды: калибровка, сброс, смена режима индикации.

Все компоненты стенда питаются от сети 230 В переменного тока. Электронные узлы требуют низкого стабилизированного напряжения, поэтому на входе установлен AC/DC-преобразователь, выдающий постоянные +5 В. Преобразователь промышленного исполнения с гальванической развязкой защищает низковольтную часть от сетевых импульсных помех. Напряжение +5 В поступает на микроконтроллер, датчик световой энергии, фотодиодный модуль, Ethernet-модуль и OLED-индикатор.

Таким образом, предложенная структурная схема стенда контроля параметров лазерного целеуказателя полностью соответствует поставленным задачам. Микроконтроллер как управляющее ядро придает системе гибкость и функциональность. Специализированные датчики световой энергии и фотодиодный модуль обеспечивают достоверные измерения мощности и периода импульсов. OLED-индикатор дает оператору возможность контролировать испытания прямо на месте. TCP-сервер на базе Ethernet-модуля позволяет встроить стенд в сеть предприятия, что автоматизирует сбор данных и повышает эффективность выходного контроля.

Литература

- [1]. Аннинских А.М., Панков Э.Д. Лазеры и волоконно-оптические линии связи. Учебное пособие. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2018. – 288 с.
- [2]. Панин Е.Н., Панкратов Д.И. Автоматизация контрольно-измерительных процедур и испытательных комплексов. Самара: самарский университет, 2017. – 240 с.
- [3]. Степанов Б.М., Якимов В.А. Средства и методы измерения параметров оптического излучения. Москва: Спутник+, 2017. – 400 с.

ВЛИЯНИЕ МАССЫ ЗЕРКАЛ НА КОНСТРУКЦИЮ ОРБИТАЛЬНЫХ ТЕЛЕСКОПОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНОВ

В современном мире с развитием технологий наблюдается прогресс в области космических исследований. Во многом он обусловлен использованием астрономических инструментов, таких как: астрографы, астрономические спектральные приборы, сканирующие антенны, радиотелескопы, рефлекторы и другие. Важнейшим этапом развития наблюдательной астрономии стал переход к внеатмосферным исследованиям, где космические телескопы обеспечивают получение уникальных научных данных. Приборы выводятся за пределы земной атмосферы для дальнейшего изучения и расширения границы познания Вселенной. Однако вывод на орбиту крупногабаритной оптики требует кардинального облегчения ее конструкции для преодоления гравитации. Так же стоимость доставки полезного груза в расчете на килограмм массы определяет верхний предел допустимой нагрузки и конструктивные решения для облегчения оптических систем. При этом важнейшей проблемой, определяющей не только стоимость, но и саму возможность создания телескопа, становится уменьшение массы главного зеркала, при сохранении высокого качества формы его рабочей поверхности. Очевидно, что эта необходимость не должна приводить к деградации их рабочих характеристик, что требует тщательного подбора материала, обеспечивающего высокую жесткость, стабильность геометрии, сопротивление термическим деформациям и качество обработки поверхности. Общая конструкция орбитального телескопа представлена на рис. 1.

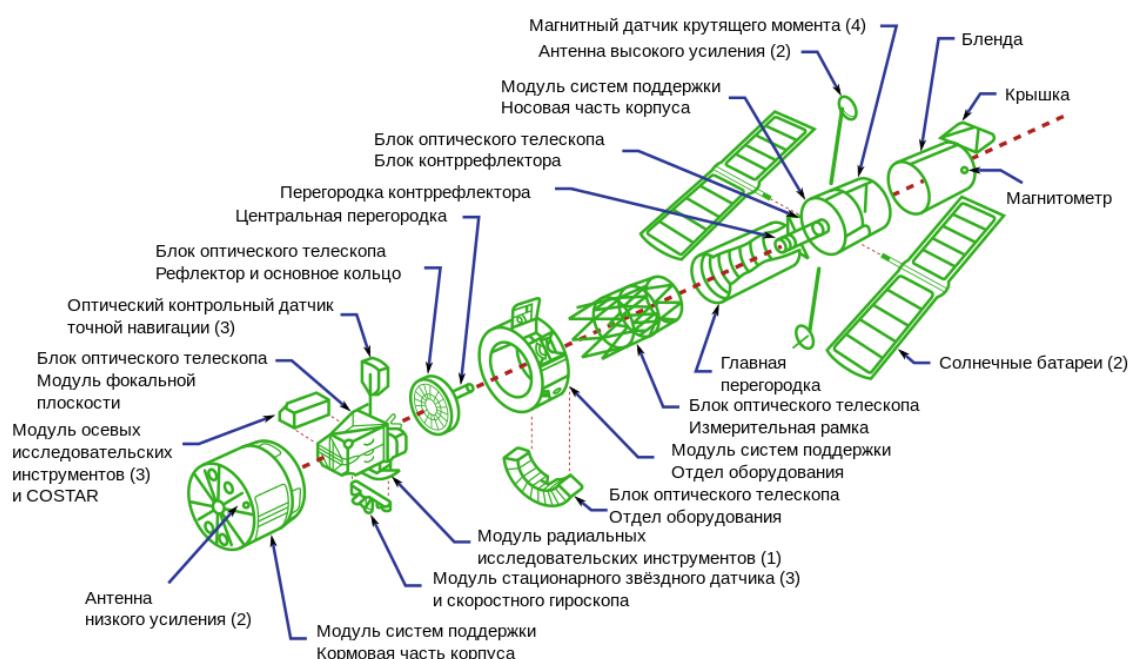


Рисунок 1 – Строение орбитального телескопа

Основным отличием главного зеркала космического телескопа от главного зеркала наземного телескопа является то, что оно изготавливается и контролируется в условиях силы тяготения, а эксплуатируется в условиях невесомости. Зеркала на орбитальных телескопах предназначены для сбора света от астрономических объектов и фокусировки его на приборах. Зачастую они являются самыми тяжёлыми компонентами оптической системы. Конструктивные параметры зеркал зависят от типа телескопа. Космические телескопы работают в диапазонах гамма-излучения, радиоизлучения, рентгеновского, ультрафиолетового, видимого, инфракрасного излучений.

Прямая регистрация излучения с поверхности Земли невозможна из-за поглощения в атмосфере. По этой причине наблюдения в диапазоне гамма-излучений проводят с помощью орбитальных обсерваторий, таких как «*Fermi*». Такие телескопы используются в исследовании компактных объектов (пульсаров, ядер галактик) и поиске сигналов от распада или аннигиляции темной материи. Аппаратура космической обсерватории *Fermi* состоит из двух специзделений: гамма-телескопа *LAT* и монитора гамма-всплесков *GBM* [3]. В конструкции *Fermi-LAT*, отсутствуют зеркальные и линзовые элементы, так как высокоэнергетичные гамма-кванты (диапазон от 20 МэВ до 300 ГэВ) не отражаются. Функцию определения направления фотона выполняют слоистые структуры из чередующихся вольфрамовых пластин (конверторов) и кремниевых микрополосковых детекторов (трекеров), фиксирующих направление образовавшихся частиц. *GBM*, работающий в диапазоне от 8 кэВ до 40 МэВ, представляет собой массив кристаллических детекторов, регистрирующих гамма-кванты по вспышкам света. Оба инструмента являются детекторами прямого счета частиц, но не фокусирующими телескопами.

В качестве примера орбитального телескопа, направленного на изучение рентгеновского излучения можно привести орбитальную обсерваторию «Спектр-РГ». Это изделие оборудовано двумя рентгеновскими зеркальными телескопами, имеющими идентичное строение: *ART-XC* и *eROSITA*. Их главная научная задача – обзор всего неба с целью картографирования источников мягкого (0,3–8 кэВ) и жёсткого (4–20 кэВ) рентгеновских излучений [1]. Оптическая система построена по схеме косого падения. В состав входят семь независимых зеркальных блоков. Каждый блок представляет собой конструкцию из двадцати восьми конических зеркальных оболочек, вложенных одна в другую и закреплённых в несущем кронштейне типа «паук». Зеркала созданы методом гальванопластики, путем осаждения никель-кобальта на идеально гладкую болванку, имеющую точную форму будущего зеркала. Благодаря этому достигается шероховатость менее 1 нм и толщина оболочек 0,3 мкм. После отделения от болванки на рабочую сторону наносится слой иридия толщиной 10 нм. Благодаря этой технологии точные и легкие оболочки производятся серийно. Многослойная структура дает возможность определять направление движения фотонов.

В изготовлении зеркал для телескопов в ультрафиолетовой области используется совершенно другой подход. Примером служит телескоп «*Hubble*»,

строение которого создавалось для наблюдений в широком спектре – от ультрафиолетового до ближнего инфракрасного (0,11–2,4 мкм) излучения. Свет, собираемый вогнутым главным зеркалом, отражается на выпуклое вторичное зеркало. Затем пучок лучей проходит через центральное отверстие в главном зеркале и формирует изображение в фокальной плоскости, где находятся регистрирующие приборы. Такой принцип позволяет минимизировать aberrации, при этом сохраняя компактные размеры корпуса телескопа. Главное зеркало телескопа «*Hubble*» диаметром 2,4 м изготовлено из плавленого кварца. Выбор данного материала обусловлен его низким коэффициентом теплового расширения, что минимизирует деформацию оптической поверхности при перепадах температур в космосе. С целью облегчения конструкции, зеркало было выполнено из двух тонких поверхностей, соединенных ребристой решёткой. Для обеспечения высокого коэффициента отражения в видимом и ультрафиолетовом диапазонах на поверхность методом вакуумного напыления последовательно нанесены слой алюминия толщиной 75 нм и защитное покрытие из фторида магния (MgF_2) толщиной 25 нм [2]. Формообразование поверхности осуществлялось на станках с числовым программным управлением, что позволило достичь микронной точности профиля. Однако после вывода телескопа на орбиту был выявлен дефект формы зеркала, приводящий к сферической aberrации (вследствие ошибки полировки глубиной всего 4 мкм). Для компенсации aberrации в ходе первой сервисной миссии была установлена система коррекции *COSTAR*, представляющая собой блок из двух специально рассчитанных зеркал, которые перехватывали и исправляли световой поток до попадания в научные приборы.

Проблема снижения масс зеркал особенно остро стоит при создании орбитальных телескопов для радиодиапазона, где требуются антенны большого диаметра. Примером конструктивного решения этой задачи служит телескоп «*HALCA*». Данный орбитальный телескоп был предназначен для наблюдения в диапазонах 1,6 ГГц, 5 ГГц, 22 ГГц. При разворачивании конструкции одна из шести телескопических мачт зафиксировалась в промежуточном положении, вызвав искажение отражающей поверхности. В результате чувствительность на частоте 22 ГГц была утрачена.

Восьмиметровое зеркало выполнено в виде сетчатого полотна из позолоченной молибденовой проволоки, которое натягивается на мачты с помощью тросовой системы. Конструкция реализована по схеме Кассегрена. Использование сетчатой структуры вместо сплошного полотна позволило минимизировать массу отражающей поверхности, а её разворачивание на орбите – решить проблему транспортировки крупногабаритной антенны в сложенном состоянии.

Сравнительный анализ орбитальных телескопов по рабочим диапазонам, конструкции и материалу зеркал представлен в Табл. 1

Таблица 1 – Сравнительный анализ орбитальных телескопов по основным параметрам

Телескоп	Диапазон (энергия фотонов/ длина волны/ частота)	Материал зеркала	Конструкция зеркала	Масса всей установки, кг	Способ облегчения зеркала
<i>Fermi (LAT)/ (GBM)</i>	Гамма: 20 МэВ – 300 ГэВ	-	Слоистая структура из вольфрамовых конверторов и кремниевых трекеров	4303	Зеркала нет
	Гамма: 150 кэВ – 300 МэВ		Массив кристаллов - детекторов		
Спектр-РГ (<i>ART-XC)/ (eROSITA)</i>	Рентген: 4-30 кэВ	Никель, кобальтовый сплав, покрытие иридием 10 нм	28 вложенных оболочек каждая из 7 модулей	350	Тонкостенные оболочки, полученные гальванопластикой и углепластиковый корпус
	Рентген: 0,3-8 кэВ	Никель, золотое покрытие	Многослойная система из зеркал косо́го падения	810	Тонкостенные оболочки
<i>Hubble</i>	УФ, видимый, ближний ИК: 0,11 - 2,4 мкм	Плавленый кварц, покрытие алюминия 75 нм и фторида магния 25 нм	Двухзеркальная схема Ричи-Кретьена с сотовой разгрузкой	11 110	Сотовая структура (две тонкие пластины с ребрами жесткости)
<i>HALCA</i>	Радио: 1,6 ГГц и 5,0 ГГц	Позолоченная молибденовая сетка	Сетчатое полотно диаметром 8 метров на 6 телескопических мачт (схема Кассагрена)	830	Сетчатая структура вместо сплошного полотна, раскладная конструкция

В результате проведенного анализа влияния массы зеркал на конструкцию космических телескопов можно сделать следующие выводы:

Конструкция зеркала определяется рабочим диапазоном телескопа. В гамма-диапазоне зеркальные системы отсутствуют, так как высокоэнергетическое излучение регистрируется методами прямого счета частиц. В рентгеновском диапазоне используются многослойные системы зеркал косо́го падения, из-за необходимости захвата жесткого излучения. В видимом,

ультрафиолетовом и ближнем инфракрасном диапазонах применяются двухзеркальные схемы, которые требуют высокой точности формы поверхности. Облегчить орбитальные телескопы, работающие в радиодиапазоне, можно за счет использования крупногабаритных раскладных конструкций.

Сравнительный анализ (табл. 1) показывает, что облегчение достигается тремя методами:

1) тонкостенные оболочки: гальванопластика позволяет получать зеркала толщиной 0,3 мм;

2) сотовые структуры: две тонкие пластины с ребрами жесткости обеспечивают прочность при малом весе;

3) сетчатые раскладные конструкции: замена сплошного полотна на сетку и развертывание на орбите решают проблему транспортировки крупногабаритных приемников излучения.

Также важно отметить, что точность изготовления зеркал важна. Ошибка полировки зеркала *Hubble* всего в 4 мкм привела к серьезной аберрации, что потребовало дорогостоящей коррекции. Это доказывает, что снижение массы не должно достигаться путём потери точности формы.

Раскладные системы являются перспективным направлением. Также правильный выбор материала зеркал орбитальных телескопов и их конструктивной схемы позволяет снижать массу при увеличении размеров оптических элементов.

Таким образом, развитие технологий облегчения зеркал является ключевым направлением в конструировании космических телескопов, позволяя совмещать требования к массе, жесткости и точности формы в условиях ограничений ракет-носителей.

Литература

- [1]. Predehl P. eROSITA on SRG / P. Predehl, R. Andritschke, V. Arefiev [et al.] // *Astronomy & Astrophysics*. – 2021. – Vol. 647, A1. – P. 1-29. URL: <https://www.aanda.org/articles/aa/abs/2021/03/aa39313-20/aa39313-20.html> (дата обращения: 28.02.2026)
- [2]. Савицкий А.М. Вопросы конструирования облегченных главных зеркал космических телескопов / А.М. Савицкий, И.М. Соколов // *Оптический журнал*. – 2009. – Т. 76, № 10. – С. 94–98. – URL: <https://opticjourn.ru/ru/abstract/2009-76-10-94-98> (дата обращения: 28.02.2026)
- [3]. Atwood W.B. The Large Area Telescope on the Fermi Gamma-ray Space Telescope Mission / W.B. Atwood, A.A. Abdo, M. Ackermann [et al.] // *The Astrophysical Journal*. – 2009. – Vol. 697, No. 2. – P. 1071-1102. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-637X/697/2/1071/meta> (дата обращения: 28.02.2026)

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 4 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ОПТОТЕХНИКА

№

1	<i>Аверкиев В.В. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА МОНИТОРНОГО РАСШИРИТЕЛЯ С СИСТЕМОЙ ОПОВЕЩЕНИЯ О ПЕРЕРЫВЕ</i>	3
2	<i>Агеев А.С. ИНТЕГРАЦИЯ МЕМРИСТОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМУ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОДСВЕТКИ ДИСПЛЕЯ</i>	7
3	<i>Акентьев Д.С., Зубарев С.С. ОБЗОР НЕИСПРАВНОСТЕЙ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ТИПА АТХ</i>	11
4	<i>Арсентьев И.В. АВТОНОМНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВЫСОТЫ ПЛАЗМАТРОНА</i>	14
5	<i>Астахова Т.С. КОНЦЕПЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО СВЕТОВОГО ПЛАНШЕТА С УЛУЧШЕННОЙ ЭРГНОМИКОЙ</i>	19
6	<i>Астахова Т.С., Соболевский В.Г. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЧАСТОТЫ ВХОДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ДИСТАНЦИОННОМ ПАССИВНОМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОМ ОБНАРУЖИТЕЛЕ ДВИЖУЩИХСЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ</i>	22
7	<i>Бакунова В.С. НЕОБХОДИМОСТЬ КОНТРОЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ОСВЕЩЕНИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА И ЕГО ПОДДЕРЖАНИЕ</i>	26
8	<i>Баранова М.С. АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНФРАКРАСНОГО ПУЛЬТА ПРОЕКТОРА</i>	30
9	<i>Бехтер С.А. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФОРМЫ СПЕКТРОВ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЕМЯН НУТА</i>	35
10	<i>Бовтунов Н.А. НЕЙРООПТИКА: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОНОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОМ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ</i>	38
11	<i>Бугрова А.А. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ИНТЕРНЕТ-РАДИО</i>	43
12	<i>Быцина С.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ</i>	47
13	<i>Горошко А.Ю., Ковалева Д.А. УЧЕТ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ</i>	50
14	<i>Греченкова И.С. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ</i>	55
15	<i>Греченкова И.С. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ</i>	58

	<i>Гюльалиев А.А. ОБЗОР МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОЙ ЮСТИРОВКИ</i>	62
16	<i>СИСТЕМ ТИПА LWIR-КАМЕРЫ С ЛАЗЕРНЫМ ДАЛЬНОМЕРОМ-ЦЕЛЕУКАЗАТЕЛЕМ</i>	
17	<i>Гюльалиев А.А. ОБЗОР ТЕПЛОВИЗИОННЫХ КАМЕР ДИАПАЗОНА LWIR</i>	66
	<i>Демидкина Л.К. ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ</i>	70
18	<i>СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП С КЛАССИЧЕСКИМ И СЕКЦИОНИРОВАННЫМ ДРАЙВЕРАМИ</i>	
19	<i>Дрыгин Д.С. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ</i>	74
	<i>Дыкин В.А., Чепурин В.Ю. ЭКОНОМИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ</i>	78
20	<i>АНАЛИЗ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ГИБКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ: ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДО МОДЕЛЕЙ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ</i>	
21	<i>Есликов П.Н. УСТРОЙСТВО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АНТЕННЫ</i>	82
22	<i>Зайцев А.К. ЭЛЕКТРОННЫЙ КАМИН</i>	85
23	<i>Зелева И.И. АНАЛИЗ ЧАСТОТНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОСТИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЕМЯН РАСТЕНИЙ</i>	88
	<i>Зелева И.И. ДЕКОМПОЗИЦИЯ СПЕКТРОВ</i>	92
24	<i>ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЕМЯН РАСТЕНИЙ И АНАЛИЗ ИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ</i>	
25	<i>Зубарев С.С. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА КОНТРОЛЛЕРА ИМПУЛЬСНОГО СВАРОЧНОГО АППАРАТА</i>	95
26	<i>Иванов М.П., Крючков Т.Д. СРАВНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ КОМНАТНЫХ РАСТЕНИЙ</i>	98
	<i>Иващенко И.Р. ПРЕИМУЩЕСТВА ВЕНТИЛЬНЫХ МАТРИЦ С ФУНКЦИЯМИ ОКОН И СТРОБИРОВАНИЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ИМПЕДАНСА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ</i>	101
27	<i>Иващенко И.Р. РАЗРАБОТКА СХЕМ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ ДЛЯ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ</i>	105
28	<i>Иващенко И.Р. СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА ПРОТИВ ЦЕЛОСТНОСТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ</i>	109
29	<i>Иващенко И.Р. СНИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ С ПОМОЩЬЮ ЭКРАНОВ НА УРОВНЕ ПЛАТЫ</i>	112
30	<i>Исайченко А.А. РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА РАСПОЗНАВАНИЯ МОНЕТ</i>	115
31	<i>ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОПИЛКИ</i>	
32	<i>Картавый Е.С. МЕТОД ВНЕШНЕТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ БВС</i>	119
33	<i>Кислякова Ю.В. А СТРОЙСТВО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АНТЕННЫ</i>	123

	<i>Ковалев Д.А. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ</i>	126
34	<i>АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ПОЛНОГО ПРИВОДА</i>	
35	<i>Ковалев Р.В. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ РАЗРЯДОВ В СОЛНЕЧНО-СЛЕПОМ ДИАПАЗОНЕ</i>	129
36	<i>Ковалева Д.А., Горошко А.Ю. БЕСПРОВОДНОЙ РЕГИСТРАТОР НЕЙРОННОЙ АКТИВНОСТИ</i>	132
37	<i>Коломийцева В.И., Саркисян М.Г. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОННОГО БИЗИБОРДА</i>	135
38	<i>Коломийцева В.И. ЭВОЛЮЦИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ: ОТ ЛАМПОВЫХ ГИГАНТОВ ДО НАНО-РАЗМЕРОВ</i>	140
39	<i>Кондратьев О.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА</i>	143
40	<i>Котов В.А. ГИБРИДНЫЕ ДИФРАКЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ АБЕРРАЦИЙ</i>	146
41	<i>Котова С.С. РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ ЧЕЛОВЕКА</i>	149
42	<i>Кравченко Н.Д. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗЫ В ФОКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ СТУПЕНЧАТОЙ ЛИНЗЫ ФРЕНЕЛЯ</i>	152
43	<i>Кузнецова А.С., Ткалич Р.Р. ОБЗОР ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ КАМЕР ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ</i>	156
44	<i>Лунев А.В., Субботин Н.В. СИГМА-ДЕЛЬТА АЦП В ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ</i>	159
45	<i>Лунев А.В., Субботин Н.В. ШУМЫ ГИРОСКОПОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТУ ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ</i>	163
46	<i>Ляпченкова Т.В. ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ УЗКОПОЛОСНЫЙ ЛАЗЕР С ВОЛОКОННЫМ РЕЗОНАТОРОМ</i>	167
47	<i>Мазур Д.С. ВОЗМОЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ГРАВИТОНА КАК ФОРМЫ ЭКЗОТИЧЕСКОЙ МАТЕРИИ</i>	171
48	<i>Макарова Е.А. РАЗРАБОТКА МАКЕТА ГОРОДА С СИСТЕМОЙ ОПОВЕЩЕНИЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ</i>	173
49	<i>Маркалев А.А. ПОДЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО СТОЛА</i>	176
50	<i>Маслов К.С. ПРИМЕНЕНИЕ КВАЗИОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В РАДИОМЕТРИИ И РАДИОВИДЕНИИ МИЛЛИМЕТРОВОГО И СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНОВ</i>	181
51	<i>Масловский П.С. СТЕНД ПРОВЕРКИ ДЛЯ ТУРБИДИМЕТРА</i>	184

52	Михайлова В.А. МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПАРКОВКИ	188
53	Михеев М.С. МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ КАРТ МЕСТНОСТИ	192
54	Михеенков Н.Д. СРАВНЕНИЕ ПРОТОКОЛОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ	196
55	Музыка А.А. СВЕТОФОР ДЛЯ ГОНОК ДРОНОВ	200
56	Мурашко И.А., Хлевная Д.О. СРАВНЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СОВЕТСКИХ ОБЪЕКТОВ	204
57	Мялик Д.В. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	209
58	Мялик Д.В. СХЕМОТЕХНИКА УМНОЖИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ	213
59	Никитин И.В. СТЕНД КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	217
60	Павлов Д.Д. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ 3D-ПЕЧАТИ НА СВЕТОПРОПУСКАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ	221
61	Паньков И.А. ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ПРИСУТСТВИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА	224
62	Паньков И.А. УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА РАБОЧЕГО МЕСТА В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ	227
63	Петров А.В. РОЛЬ МАТЕРИАЛОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В ИМПЕДАНСЕ ПЕЧАТНОЙ СХЕМЫ	231
64	Петрова Ю.С. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СПЕКТРА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ МНОГОФАЗНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ В СИСТЕМАХ ЦОС	234
65	Пучков А.В. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИМИТАТОРА ОТРАЖЕННЫХ СИГНАЛОВ	238
66	Рупишис Д.А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЕНСАЦИОННОГО СПОСОБА СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕСОВЫХ ФУНКЦИЙ ПО РЕАЛЬНЫМ ДАННЫМ	241
67	Рупишис Д.А. ПЕРСПЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ПОДАВЛЕНИЯ МАСКИРУЮЩИХ ПАССИВНЫХ ПОМЕХ	244
68	Рыбин Н.С. АКУСТИЧЕСКАЯ МИШЕНЬ ДЛЯ ПНЕВМАТИКИ, ПРИНЦИП РАБОТЫ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ	247
69	Рыжиков М.А. СИГНАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ ДАЧНОГО ДОМА	251
70	Саркисян М.Г. ЭЛЕКТРОННЫЙ ТЮНЕР	253
71	Семенов Д.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ И ВОЛНОВЫМ ФРОНТОМ СУБТЕРАГЕРЦОВЫХ ВОЛН	257

	Семенков Д.И. СЕНСОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	261
72	Соболевский В.Г., Астахова Т.С. АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТИПОВЫХ ВХОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ ОПТИЧЕСКИХ ГОЛОВОК САМОНАВЕДЕНИЯ	265
73	Соболевский В.Г., Астахова Т.С. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ ОПТИЧЕСКИХ ГОЛОВОК САМОНАВЕДЕНИЯ	268
74	Сосин Е.Р. УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСТНИЧНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ В ЖИЛОМ ПОМЕЩЕНИИ	272
75	Стальнов В.А. АНАЛИЗ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ	276
76	Темнов В.Н. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ SWIR-ДИАПАЗОНА В КОНТЕКСТЕ СЪЕМКИ С БОРТА БВС В НОЧНЫХ УСЛОВИЯХ	278
77	Темнов В.Н. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АКТИВНОЙ И ПАССИВНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ДИАПАЗОНАХ NIR И SWIR ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ С БОРТА БВС	283
78	Терешков Н.О. МНОГОЦЕЛЕВАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КАК МЕТОД СОЗДАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АНАЛОГОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ	287
79	Ткалич Р.Р., Кузнецова А.С. ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ	290
80	Фейгин А.М. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОННОЙ НАСТОЛЬНОЙ ИГРЫ	293
81	Филатов Д.А. СОВРЕМЕННЫЕ ГОСТЫ ПО КОЛОРИМЕТРИИ И ФОТОМЕТРИИ	296
82	Филатов Д.А. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ФОТОКАМЕР	300
83	Фирсов М.Н. СТЕНД ПРОВЕРКИ ЛАЗЕРНОГО ЦЕЛЕУКАЗАТЕЛЯ ДАЛЬНОМЕРА	304
84	Хлевная Д.О. ВЛИЯНИЕ МАССЫ ЗЕРКАЛ НА КОНСТРУКЦИЮ ОРБИТАЛЬНЫХ ТЕЛЕСКОПОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНОВ	308
85		

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА
(микроэлектроника и оплотехника)

Сб. трудов XXIII Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов
Сборник трудов в 3-х томах
Том 2

Подписано в печать 13.04.2026 г.
Формат 60x84¹/₁₆ . Тираж 100 экз. Печ. л. 19,9.

Издательство «Универсум»
Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-567-4

