

**ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА,
ИННОВАЦИИ – 2023**

(микроэлектроника и оптотехника, технологии и оборудование в промышленности)

**XIII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

6-7 декабря 2023 г.

**СБОРНИК ТРУДОВ
ТОМ 2**

СЕКЦИИ 5,6

**СМОЛЕНСК
2023**

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

И74

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2023

(микроэлектроника и оптотехника, технологии и оборудование в промышленности). Сб. трудов XIII Межд. науч.-техн. конф. В 3 т. Т 2. – 2023. – 248 с.

ISBN 978-5-91412-520-9

В сборнике публикуются труды участников XIII Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2023», состоявшейся 6-7 декабря 2023 г. в филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области микроэлектроники, оптотехники, технологий и оборудования в промышленности.

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

ISBN 978-5-91412-520-9

©Авторы

© Универсум. 2023

© филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске.
2023

СЕКЦИЯ 4 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ОПТОТЕХНИКА

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

УСТРОЙСТВО КОММУТАЦИИ НАГРУЗКИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С БЕСПРОВОДНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

Ряд полезных устройств и проектных решений, относящихся к топологиям устройств «умный дом», связаны с коммутацией нагрузок переменного тока. Под нагрузкой переменного тока понимается такое устройство или электрическая цепь, выполняющие некоторый функционал при их питании от сети переменного напряжения (сетевое напряжение). Касательно систем домашней автоматизации к нагрузкам переменного тока можно отнести любой бытовой прибор, питающийся от сети переменного тока. При этом каждый из них имеет собственные нормативные характеристики электропитания (потребляемый ток или мощность), при выходе за допустимые диапазоны которых конечный потребитель мог бы сделать вывод о возможности возникновения скорой неисправности прибора. Для своевременной передачи информации конечному пользователю бытовых приборов рекомендуется использовать беспроводной интерфейс передачи данных на наиболее часто используемое устройство (смартфон). Актуальность настоящего исследования обусловлена тем, что неисправности бытовых приборов нередко могут привести к возникновению взрывопожароопасной обстановки, а предлагаемое техническое решение может способствовать своевременному обнаружению неисправных бытовых приборов. Цель настоящего исследования заключается в разработке структурной схемы устройства коммутации нагрузки переменного тока с беспроводным интерфейсом.

Как отмечалось ранее, косвенно сделать вывод о скором возникновении неисправности нагрузки переменного тока устройство может исходя из сравнения реальных показателей потребления электроэнергии с нормативными (то есть указанными в технической документации, например, в паспорте на тот или иной бытовой прибор). Для этого требуется измерять потребляемые ток и мощность бытового прибора в режиме реального времени, при чем потребление тока можно измерить напрямую с использованием датчика тока (например, цифровой амперметр). Значение мощности можно получить косвенным образом с использованием выражения (1):

$$P_{np} = I_{np} \cdot U_{np}, \quad (1)$$

где I_{np} – потребление тока бытовым прибором, U_{np} – падение напряжения на бытовом приборе.

Таким образом, значение потребляемой мощности можно косвенно получить на основе показаний амперметра, включенного последовательно с

бытовым прибором, а также вольтметра, включенного параллельно бытовому прибору.

Помимо амперметра и вольтметра ключевым элементом устройства мониторинга параметров электропотребления бытовым прибором является устройство обработки данных, в качестве которого в наиболее простом случае может использоваться микроконтроллер [1]. Основная задача устройства обработки данных при этом заключается в опросе датчиков тока и напряжения, усреднения показателей за несколько периодов переменного напряжения, нахождения действующих значений напряжения, тока и мощности бытового прибора, а также передаче данных по беспроводному интерфейсу. Таким образом, предлагаемое техническое решение можно представить следующим образом (рисунок 1).

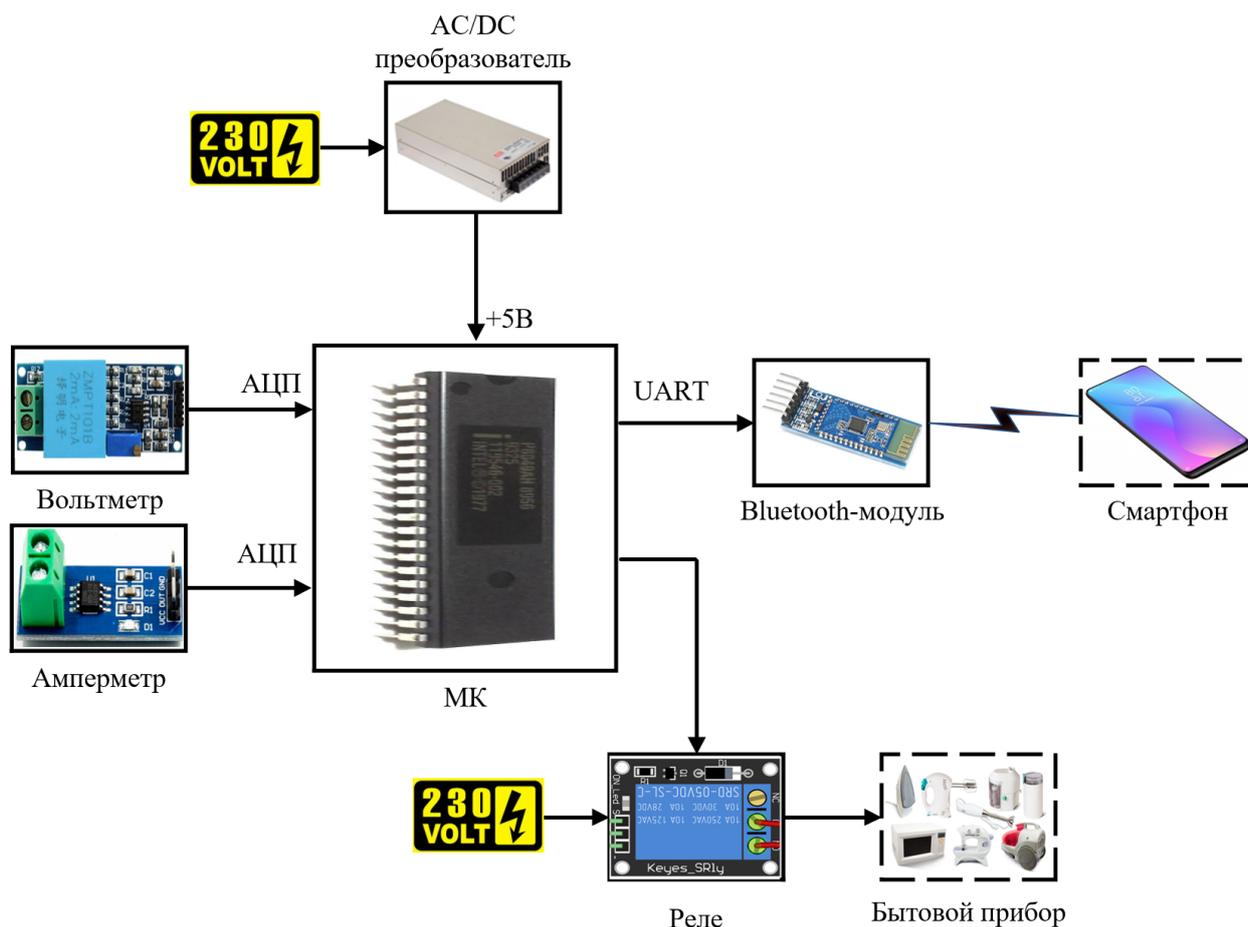


Рисунок 1 — Структурная схема устройства коммутации нагрузки переменного тока

Помимо ранее обозначенных структурных элементов (микроконтроллер, вольтметр и амперметр переменного тока) на представленной схеме (рисунок 1) можно заметить следующие:

– *Bluetooth*-модуль, представляющий собой двунаправленный преобразователь интерфейсов *UART* (последовательный интерфейс микропроцессорных взаимодействий, по которому можно организовать информационный обмен с большинством современных микроконтроллеров) и

Bluetooth (беспроводной интерфейс, по которому наиболее простым образом можно связать смарт-устройства [2]). В некоторых микроконтроллерах беспроводной интерфейс может быть интегрирован в микросхему, однако стоимость данных микроконтроллеров может быть на порядок выше, поэтому в настоящее время наиболее распространённым решением проблемы связи микроконтроллеров со смарт-устройствами по беспроводному интерфейсу является использование беспроводных модулей;

– электромеханическое реле, предназначенное в предлагаемом техническом решении для коммутации нагрузки переменного тока. Как правило, большинство имеющих относительно малые массогабаритные показатели электромеханические реле способны коммутировать нагрузку переменного тока с питающим напряжением до 400 В и током до 30 А, при этом отпирающее напряжение наиболее востребованных реле может колебаться от 3.3 до 12 В;

– AC/DC преобразователь напряжений, необходим для преобразования питающего сетевого переменного напряжения 230 В в напряжение постоянного тока с питающим напряжением +5 В (или другим, например, +3.3 В). Данный преобразователь необходим для организации питания микроконтроллера и основных цифровых узлов предлагаемого технического решения (*Bluetooth*-модуль, вольтметр, амперметр).

Можно выделить следующий функционал предлагаемого технического решения:

– коммутация нагрузки переменного тока с управлением по беспроводному интерфейсу;

– мониторинг параметров электропотребления бытового прибора и возможность ведения статистической обработки (например, для выделения наиболее энергопотребительных потребителей в режиме ожидания, то есть, в режиме пассивного потребления электроэнергии);

– предупреждение неисправности бытового прибора на основе соотношения реальных показателей энергопотребления с нормативными (то есть указанными в технической документации, например, в паспорте на тот или иной бытовой прибор).

Таким образом, неисправности бытовых приборов нередко могут привести к возникновению взрывопожароопасной обстановки, для своевременного обнаружения неисправности бытового прибора было предложено техническое решение – устройство коммутации нагрузки переменного тока с беспроводным интерфейсом, представленное структурной схемой.

Литература

1. Мартин Т. Микроконтроллеры Atmega. Семейство микроконтроллеров AVR. Вводный курс. – М.: изд. Додэка-XXI, 2010. – 296 с.
2. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Беспроводные сети. 5-е изд. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.

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

МЕТОДЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ В ПЛИС

Одной из востребованных и перспективных областей науки и техники является радиолокация, которая сочетает в себе комплекс методов и средств для определения и измерения координат различных лоцируемых объектов при помощи радиоволн. Востребованность в данной научно-технической области обусловлена как необходимостью применения радиолокационных станций в составе комплексов противовоздушной обороны и радиотехнической борьбы, так и востребованность в сфере авиации (например, посадочный радиолокатор).

Принцип работы радиолокационной станции вне зависимости от области применения заключается в излучении в лоцируемое пространство радиоимпульсов и приеме отраженных импульсов от объектов, часть из которых могут оказаться целями лоцирования пространства. Все остальные объекты при этом принято считать мешающими отражениями (облака, деревья и т.п.). Для выделения целей на фоне помех и мешающих отражений используются алгоритмы первичной обработки радиолокационной информации и селекции движущихся целей.

Развитие нанoeлектроники и микропроцессорной техники позволило использовать в радиолокационных станциях высокопроизводительные микросхемы, которые позволяют существенно снизить массогабаритные показатели радиолокационных станций за счет выполнения алгоритмов обработки радиолокационной информации в цифровом формате. Наибольшее предпочтение при этом отдается цифровым сигнальным процессорам, которые зачастую имеют набор аппаратных ускорителей, дополнительных арифметико-логических устройств, сопроцессоров (в том числе сопроцессоры быстрого преобразования Фурье) и т.п., а также программируемым логическим интегральным схемам (ПЛИС), на основе которых создаются конфигурируемые цифровые электронные схемы.

ПЛИС фактически состоит из некоторого количества логических вентиляей, которые в процессе трансляции разработанного программного обеспечения на микросхему получают связи между друг другом таким образом, чтобы реализовать некоторое цифровое устройство. Поскольку логика ПЛИС не определяется в процессе изготовления (рисунок 1), то данные интегральные схемы позволяют реализовать на своей основе «ядра». Количество ядер в ПЛИС может быть много большим, чем в аналогичном по производительности процессоре, чем обусловлена актуальность использования ПЛИС в обработке радиолокационной информации.

Обычно в ПЛИС (используемой в составе ячеек обработки радиолокационной информации) реализуется узел внутрипериодного сжатия радиолокационных сигналов в частотной области. Возможности ПЛИС позволяют реализовать несколько параллельных узлов внутрипериодного

сжатия радиолокационных сигналов, что является достаточно востребованным в радиолокационных станциях, имеющих в своем составе активные фазированные антенные решетки, радиолокационная информация от которых передается в 2 и более лучах.

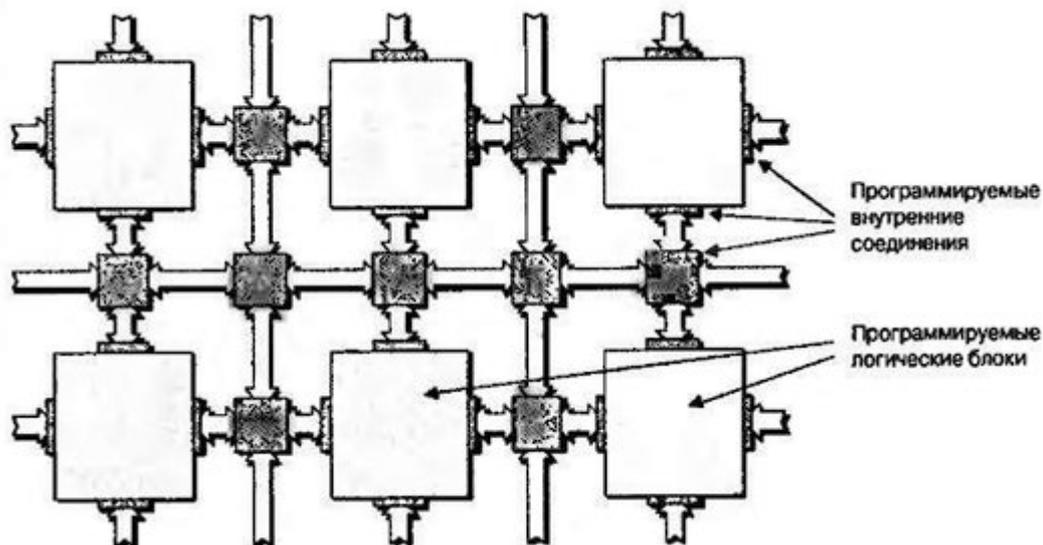


Рисунок 1 — Пример типовой структуры ПЛИС

Одной из актуальных инженерных задач является реализация возможности локатора в двухантенном режиме. Узким местом в данном случае является ПЛИС, так как от активных фазированных антенных решеток отраженные радиолокационные сигналы после аналого-цифрового преобразования и первичных цифровых фильтров на высокой частоте передаются на модуль внутрипериодного сжатия. В реальных локаторах на ПЛИС информация приходит по высокочастотным кабелям по параллельной дифференциальной шине данных, по которой передается радиолокационная информация каждого из лучей и служебная информация. Для преобразования высокочастотных сигналов в радиолокационную информацию (амплитуда сигнала в цифровом виде) для каждого из N -лучей и служебную информацию используется модуль «Десериалайзера». Данный модуль реализуется на асинхронных автоматах для возможности работы с высокочастотными сигналами (большими максимальной тактовой частоты в ПЛИС). Радиолокационная информация с выхода «Десериалайзера» поступает непосредственно в модуль внутрипериодного сжатия. При необходимости поочередного получения информации с двух различных антенн возникает необходимость мультиплексирования входных данных в ПЛИС, при этом сигналы в обеих антенн могут поочередно обрабатываться с 2 антенн через один и тот же модуль внутрипериодного сжатия (то есть экономятся ресурсы ПЛИС).

Основная проблема мультиплексирования заключается в возникновении временных ошибок (то есть в ПЛИС одни информационные данные начинают отставать от других, что приводит к существенным ошибкам внутрипериодного сжатия отраженных радиолокационных сигналов). Мультиплексирование данных между входами ПЛИС и модулем «Десериалайзера» неизбежно

приведет к гонкам сигналов во времени, мультиплексирование данных модулем «Десериалайзера» и модулем внутривысокочастотного сжатия также не даст ожидаемого результата несмотря сравнительно меньшую частоту передачи данных (в силу особенностей распространения сигналов между модулями в ПЛИС для многолучевого режима).

Данную проблему удалось решить двумя способами:

1. Мультиплексирование выходных данных в самом «Десериалайзере», при этом размер модуля был увеличен в 2,5 – 3 раза: за счет увеличения количества входов высокочастотных сигналов (1 вход для каждой из антенн) необходимо увеличивать размеры асинхронной логики для независимой обработки высокочастотных сигналов. Мультиплексирование данных происходит непосредственно на выходе модуля, в результате чего ошибки времени распространения сигналов отсутствуют. Недостаток данного метода заключается в том, что количество логических единиц было непропорционально увеличено, то есть не в ожидаемые 2 раза, а в 2,5 – 3 раза. Кроме того, выводы ПЛИС, предназначенные для передачи высокочастотных сигналов, могут располагаться относительно далеко от модуля, что также приведет к ошибкам по времени распространения сигналов.

2. Суммирование выходных данных модулей «Десериалайзеров». В основе данного метода лежит суммирование выходных сигналов модулей «Десериалайзеров», суммирование при этом происходит при включении лишь одного из модулей (то есть работа с определенной антенной). Существенным преимуществом является отсутствие ошибок времени распространения сигналов без существенного увеличения затрачиваемых на модули логических единиц ПЛИС (пропорциональное количеству антенн увеличение в 2 раза). Данный результат достигается за счет того, что в данной реализации отсутствует необходимость размыкания связи каналов передачи высокочастотных сигналов.

Таким образом, радиолокация является актуальным направлением современной промышленности. Одной из актуальных задач радиолокации является работа РЛС в двухантенном режиме. В данном исследовании были представлены два метода реализации данного режима на ПЛИС и проведено их сравнение.

Литература

1. Охрименко А. Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Ч. 1, М.: Воениздат МО, 2015.
2. Максфилд К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 408 с., ил.

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

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ПОДСВЕТКИ ЛЕСТНИЦЫ НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНЫХ АДРЕСНЫХ ЛЕНТ

Совокупность полезных устройств и проектных решений, применяемых для решения задач экономного использования коммунальных ресурсов,

создания эргономичного и декоративного дизайна, обеспечения ряда вспомогательных функций для ведения хозяйственно-бытового досуга, условно объединяют в устройства домашней автоматизации. На данном этапе научно-технического прогресса к устройствам подобного класса предъявляются не только непосредственные требования (выполнение прямых функций), но и косвенные (наиболее простая интеграция, привлекательный внешний вид). Одним из наиболее ярких примеров данного типа устройств являются устройства подсветки лестниц и лестничных проемов. Прямой функцией при этом является непосредственно подсветка лестницы, а косвенная – красочность и декоративность применяемого технического решения.

На данный момент на рынке электронных устройств достаточно много технических решения для организации подсветки лестницы и лестничных проемов (контроллеры подсветки), при этом существующие технические решения основаны на использовании обычных светодиодных линеек, в результате чего имеются сильные ограничения по функциональности и декоративности. Актуальность настоящего исследования обусловлена возросшим спросом конечных потребителей на подобного рода устройства, при этом существующие технические решения не отвечают в полной мере пользовательским требованиям при достаточно высокой стоимости контроллера светодиодной подсветки. Цель настоящего исследования заключается в разработке структурной схемы устройства подсветки лестницы на основе светодиодных адресных лент, а также в сравнении предложенного технического решения с существующими аналогами для подтверждения актуальности проектирования обозначенного устройства.

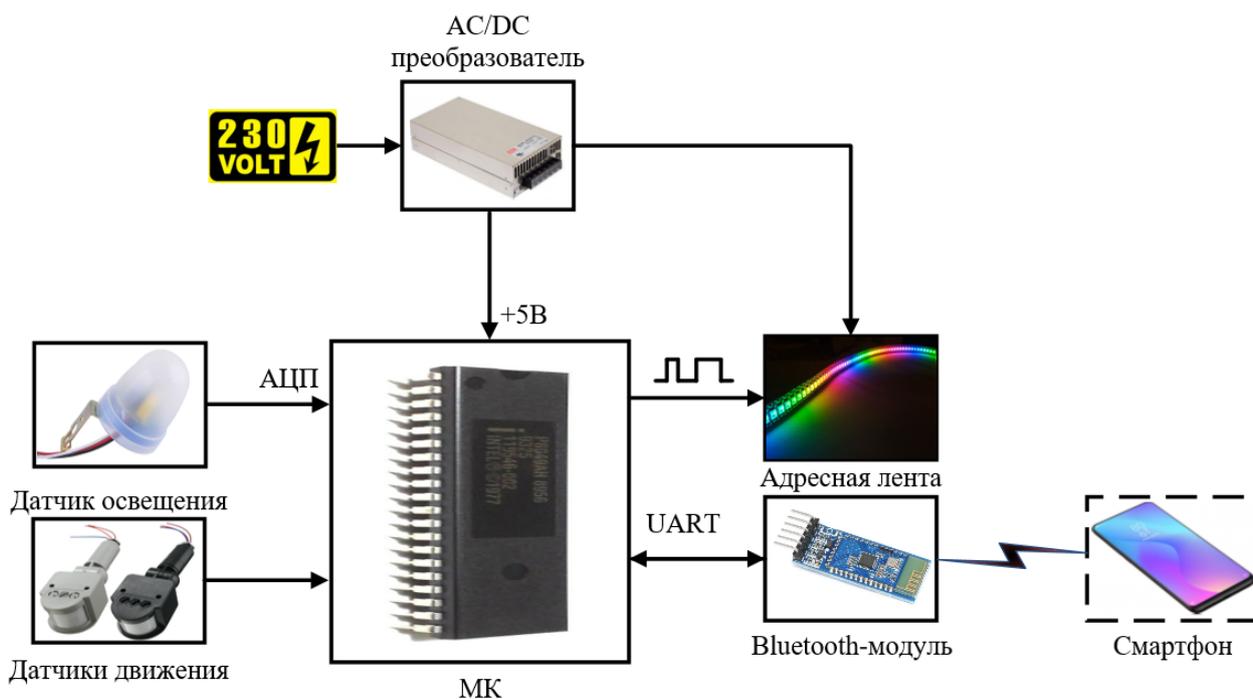


Рисунок 1 — Структурная схема устройства освещения лестниц

Предлагаемое техническое решение представлено следующей структурной

схемой (рисунок 1). Логика работы устройства реализуется микроконтроллером [1] (МК), который принимает сигналы от датчика освещения и датчиков движения и на основе принятых сигналов реализует логику включения светодиодной подсветки (плавное включение/выключение начиная с первой/последней ступени и т.п.). Поскольку используется адресная светодиодная лента, то предлагаемое техническое решение имеет возможность настройки цвета и яркости любого отдельно взятого светодиода, гибкость настройки при этом будет обеспечена взаимодействием устройства со смартфоном по беспроводному интерфейсу (*Bluetooth*), для чего используется двунаправленный преобразователь интерфейсов *UART* (последовательный интерфейс микропроцессорных взаимодействий, по которому можно организовать информационный обмен с большинством современных микроконтроллеров) и *Bluetooth* (беспроводной интерфейс, по которому наиболее простым образом можно связать смарт-устройства [2]).

Для питания устройства требуется *AC/DC* преобразователь напряжений, мощность которого эквивалентна количеству освещаемых ступеней и количеству светодиодов на каждой из ступеней.

Для подтверждения актуальности проектирования настоящего технического решения (рисунок 1) необходимо произвести качественное сравнение предлагаемого технического решения и наиболее популярных контроллеров освещения лестниц и лестничных проемов на рынке электронных устройств. Для обобщенной сравнительной характеристики были выбраны устройства, рассчитанные на приблизительно одинаковое количество (24-26) ступеней (для объективного контроля). Кроме того, все контроллеры поставляются отдельно, то есть прочие комплектующие (провода, блок питания, датчики движения, светодиодные ленты) пользователь покупает самостоятельно у той же компании или на сторонних торговых площадках. В настоящем исследовании рассмотрены следующие устройства:

1. Контроллер подсветки лестницы «*Professional*» на 24 ступени [3].
2. Контроллер *ETL VS-24ST-M* [4].

Данные контроллеры подсветки лестницы являются наиболее популярными и востребованными среди конечных потребителей в составе системы домашней автоматизации. Основной функционал данных технических решений в целом является достаточно типизированным:

1. Возможность плавного включения/выключения подсветки лестницы и лестничного проёма.
2. Подключение датчиков движения для регистрации момента прохождения конечного потребителя по лестнице.
3. Подключение датчика освещенности для возможности реализации энергосберегающих функций (например, автоматическое выключение подсветки при достижении установленного уровня комбинированной освещенности, или плавное увеличение яркости первой и последней ступени пропорционально тому, как уменьшается уровень комбинированной освещенности в заданном диапазоне).

4. Возможность индивидуальных настроек режимов работы (время включения/выключения, возможность принудительного отключения энергосберегающих функций) и т.п.

Из совокупных преимуществ можно выделить наличие корпуса для поверхностного и интегрированного монтажа, а также относительно высокую функциональность. Кроме того, контроллер *ETL VS-24ST-M* обладает возможностью конфигурации со стороны внешнего устройства (смартфон или система домашней автоматизации) по беспроводному интерфейсу связи.

Предлагаемое техническое решение обладает тем функционалом, что и рассмотренные контроллеры подсветки лестниц и лестничных проёмов. Однако рассмотренные контроллеры лестничной подсветки имеют общий недостаток несмотря на достаточно разнообразные функциональные возможности, который существенно ограничивает декоративность и эргономичность подсветки лестниц. Данный недостаток заключается в том, что контроллеры не имеют возможности регулировать цвет свечения каждого отдельно взятого светодиода в ленте (индивидуальная настройка яркости и режима работы), при этом возможности по реализации различных режимов индикации являются теоретически неограниченными.

Таким образом, на основе проведенного исследования можно сделать вывод о том, что каждое техническое решение имеет свои уникальные сильные и слабые стороны. Предлагаемое техническое решение лишено большинства указанных недостатков, что позволяет считать данное устройство наиболее перспективным для использования конечным потребителем.

Литература

1. Мартин Т. Микроконтроллеры Atmega. Семейство микроконтроллеров AVR. Вводный курс. – М.: изд. Додэка-XXI, 2010. – 296 с.
2. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Беспроводные сети. 5-е изд. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.
3. Interactive.home | Контроллер автоматической подсветки лестницы «Professional» [Электронный ресурс] URL: https://interactive-home.ru/online-shop/catalog/podsvetka-lestnitsy/led-kontrollery/professional_24_stupeni.html (дата обращения 01.09.23)
4. ETL Автоматическая подсветка лестницы | Контроллер ETL VS-24ST-M [Электронный ресурс] URL: https://etl-home.ru/podsvetka_lestnic.html

*С.А. Амелин, к.т.н., доц.; Л.К. Демидкина, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МОДЕЛЬ СЕКЦИОНИРОВАННОГО ДРАЙВЕРА СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

Современные светодиодные лампы очень часто используют драйвер на основе линейного стабилизатора тока. Однако классические драйверы такого типа обладают достаточно низкой энергоэффективностью (не выше 80%). Но в последнее время появились и уже получили достаточно широкое распространение секционированные драйверы светодиодных ламп. Они также используют стабилизатор тока (точнее, несколько стабилизаторов тока), через которые при разных уровнях входного напряжения подключается разное число светодиодов.

Это позволяет существенно уменьшить среднее значение падения напряжения на регулирующем элементе стабилизатора тока и соответственно, повысить энергоэффективность такого драйвера. Типовое значение эффективности для такого типа драйверов светодиодных ламп составляет 90%, что приближается к показателям существенно более дорогих импульсных стабилизаторов.

Для исследования характеристик ламп с такими драйверами в различных режимах работы и, в частности, для оценки влияния фильтрующего конденсатора на энергоэффективность и коэффициент мощности желательно иметь математическую модель такого драйвера. Экспериментальное исследование режимов работы является достаточно трудоемким, поскольку токи и напряжения имеют сложную форму и их аналитическая обработка является очень непростой задачей.

За основу для создания модели взято техническое описание драйвера СУТ3000В, имеющим четыре секции подключаемых светодиодов. Это линейный драйвер постоянного тока с высоким коэффициентом мощности, который используется в области светодиодного освещения. Принципиальная схема светодиодной лампы на основе этого драйвера представлена на рис. 1.

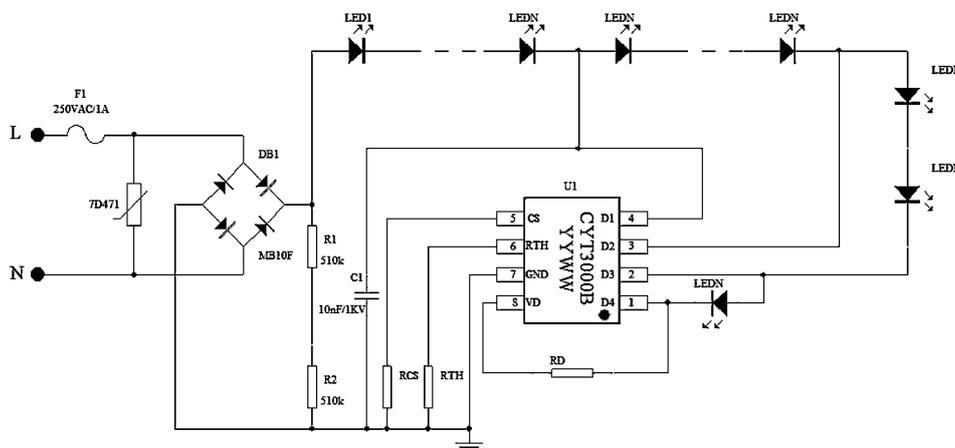


Рисунок 1 – Принципиальная схема светодиодной лампы на основе драйвера СУТ3000В

Микросхема СУТ3000В имеет функцию автоматической регулировки выходного тока в зависимости от температуры (температурную защиту). Когда температура превысит пороговое значение, система уменьшит выходной ток для снижения температуры. Порог срабатывания температурной защиты можно установить внешним резистором. Драйвер имеет функцию автоматической регулировки потребляемой мощности. Когда входное напряжение слишком высокое, выходной ток будет уменьшаться, что стабилизирует мощность. В диапазоне входного переменного напряжения от 180 В до 300 В потребляемая мощность меняется в пределах 5%.

Характеристики

- Диапазон выходного тока от 10 мА до 80 мА
- Отклонение тока между чипами $\leq \pm 5\%$
- Коэффициент мощности $> 0,98$
- Автоматическая регулировка температуры

- Автоматическая регулировка мощности
- Эффективность: >90%
- Коэффициент нелинейных искажений (THD): <20%
- Тип корпуса ESOP8

К сожалению, структурная схема внутренней структуры драйвера в технической документации отсутствует и ее приходится восстанавливать по косвенным признакам.

Согласно описанию, СУТ3000В позволяет установить ток светодиодов используя внешний резистор. При секционном включении светодиодов выходной ток для каждой секции рассчитывается по формуле:

$$I_{LEDn} = \frac{V_{REFn}}{R_{CS}}$$

где n=1,2,3,4 – номера секции соответственно.

Это позволяет предположить, что в качестве линейных источников тока используется классическая схема управляемого источника тока на основе операционного усилителя. Формула для расчета тока полностью соответствует этой схеме.

У драйвера четыре секции, у каждой из них свое опорное напряжение: $V_{REF1}=0.645$ В, $V_{REF2}=0.725$ В, $V_{REF3}=0.805$ В, $V_{REF4}=0.890$ В. Это позволяет предположить, что в структуре драйвера используются четыре источника тока. Поскольку токозадающий резистор всего один, то он общий для всех источников тока. Опорное напряжение каждой следующей секции больше, чем у предыдущей. Это поэтому при включении каждой последующей секции общий ток будет возрастать. В свою очередь, это приведет к тому что предыдущие секции будут полностью отключаться, поскольку пытаясь уменьшить возросший ток через токозадающий резистор, операционные усилители этих секций будут полностью запирают регулирующий транзистор. Таким образом, в каждый момент времени ток будет формироваться только одним из четырех источников тока. Либо ток будет равным нулю, если входное напряжение не достигло порога открывания светодиодов первой секции.

В первой секции 6 светодиодных сборок с номинальным напряжением на каждой по 18 В. Таким образом, в номинальном режиме напряжение на светодиодах первой секции составляет 108 В. Во второй секции 4 светодиодные сборки с суммарным напряжением 72 В, а в третьей и четвертой секции по две сборки с суммарным напряжением 36 В. Общее напряжение на четырех секциях составляет 252 В.

Согласно технической документации, когда откроется четвертая секция и начнет возрастать напряжение на драйвере, опорное напряжение четвертого источника тока начинает уменьшаться:

$$V_{REF4} = 0,9 - \frac{1,6k\Omega}{R_D} \cdot V_{D4}$$

Такое возможно лишь в том случае, если с вывода D4 организована обратная связь на инвертирующий вход операционного усилителя источника тока

четвертой секции. Это предположение полностью соответствует принципиальной схеме, приведенной в технической документации. Обратная связь реализована при помощи резистора RD (см. рис. 1).

Тепловую защиту в модели реализовывать нет смысла, поскольку программы схемотехнического моделирования не могут рассчитывать температуру, до которой нагреваются полупроводниковые приборы при протекании тока. Поэтому замкнуть обратную связь по температуре не представляется возможным.

Приведенные выше рассуждения позволили синтезировать внутреннюю структуру драйвера СУТ3000В. Для проверки ее работоспособности в программе Micro-Cap 12 была создана модель светодиодной лампы (рис. 2).

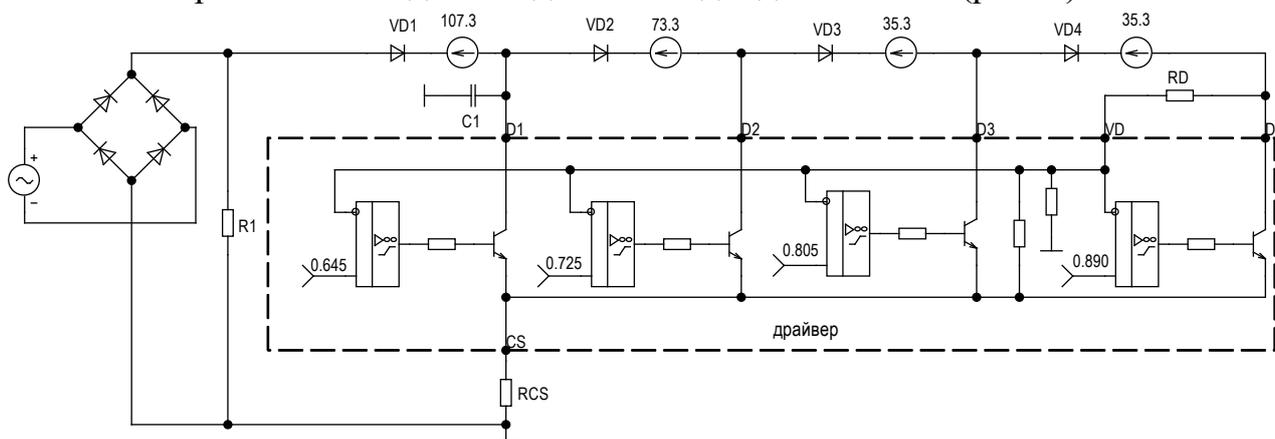
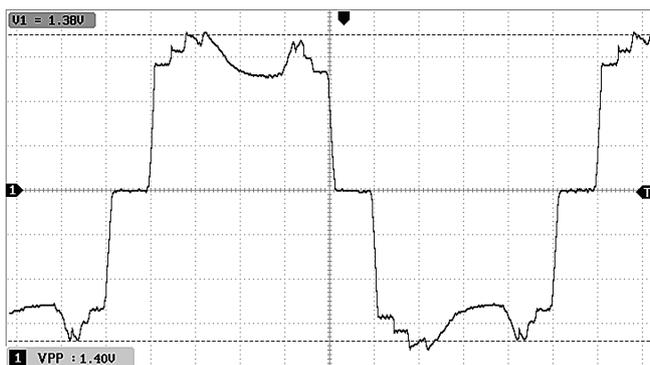


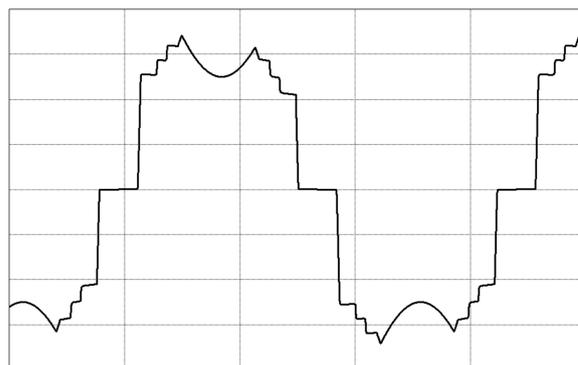
Рисунок 2 – Функциональная схема модели светодиодной лампы на основе драйвера СУТ3000В

Секции светодиодов моделируют диоды VD1–VD4 с последовательно включенными источниками ЭДС с напряжением 107.3 В, 73.3 В, 35.3 В, 35.3 В соответственно.

Вычислительные эксперименты показали, что процессы в модели качественно соответствуют описанию из технической документации. Количественные параметры также соответствуют данным, приведенным в технической документации. Для окончательной проверки были получены осциллограммы работы реального светодиодного драйвера. Временные диаграммы входного тока, полученные с использованием модели и осциллограммы работы реального драйвера представлены на рис. 3.



а



б

Рисунок 3 – Входной ток светодиодной лампы на основе драйвера СУТ3000В: а – экспериментальная осциллограмма, б – результат моделирования

Как на осциллограмме, так и на результатах моделирования видны характерные ступеньки нарастания тока при подключении секций светодиодов, а также уменьшение величины тока через светодиоды во время работы четвертой секции. Это уменьшение тока обеспечивает ограничение мощности, рассеиваемой на стабилизаторе тока, что позволяет достичь высокой энергоэффективности.

Модель драйвера с высокой точностью воспроизводит все процессы, происходящие в реальной схеме, что позволяет использовать эту модель при анализе режимов работы светодиодной лампы на основе этого драйвера.

Литература

1. Амелин С.А., Амелина М.А. Нелинейные звенья в системах управления источников электропитания // Практическая силовая электроника. 2021. №4 (84). С. 2–7.
2. Амелин С.А., Амелина М.А., Дроздецкий С. В., Якименко И. В. Модель переключаемой ШИМ-структуры для анализа импульсных преобразователей напряжения с произвольной топологией // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика.

*С.А. Амелин, к.т.н., доц.; Л.К. Демидкина, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ДРАЙВЕРЫ СВЕТОДИОДОВ ДЛЯ БЫТОВЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Полупроводниковый светодиод является прибором, для нормальной работы которого через него надо задавать фиксированный ток. При этом напряжение на светодиоде в номинальном режиме работы меняется очень мало в достаточно широком диапазоне изменения токов. Ток через светодиоды задает специальное устройство – драйвер, которое в общем случае по своим характеристикам близко к источнику тока (стабилизатору тока). Кроме того, современные драйверы выполняют еще ряд дополнительных функций: защиту от перегрева, ограничение максимальной мощности и т.п.

В светодиодных бытовых осветительных приборах в настоящее время используется четыре способа обеспечения фиксированного тока через светодиод. Первый из них – использование балластного конденсатора, находящегося в цепи сети 220 В (рис. 1).

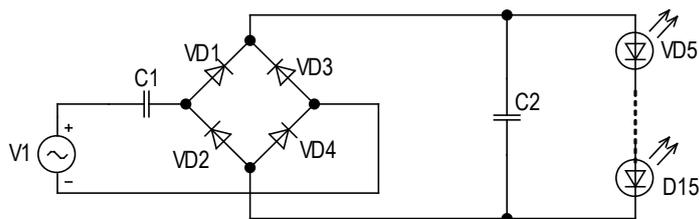


Рисунок 1 – Схема драйвера светодиодных ламп на основе балластного конденсатора

В такой схеме используется, как правило, до 16 светодиодов с номинальным напряжением 3 В, т.е. суммарное падение напряжения на последователь-

ной цепочке – до 48 В. Реактивное сопротивление конденсатора С1 фактически задает ток в цепи светодиодов, а конденсатор С2 служит для уменьшения пульсаций тока через них и, соответственно, уменьшения пульсаций светового потока люминесцентной лампы.

Такое техническое решение является самым дешевым, но обладающим массой недостатков. В частности, яркость свечения светодиодной лампы в этом случае зависит от напряжения в сети, импульсные помехи проходят через балластный конденсатор без ограничений и могут вывести из строя диоды, отсутствует защита от перегрева светодиодов. Ток в первичной сети практически чисто реактивный, что приводит к повышенным потерям. В настоящее время такая конструкция является устаревшей, используется только в самых дешевых лампах, причем все реже и реже.

Второй способ – использование импульсного стабилизатора тока (рис. 2). Такое техническое решение способно обеспечить стабильный ток через светодиоды практически без пульсаций. Эффективность таких драйверов (отношение мощности, отдаваемой в светодиоды, к общей мощности, потребляемой из первичной сети) очень велика и может достигать 90% и более.

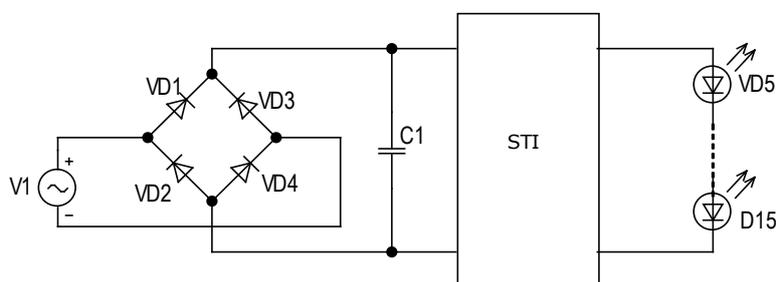


Рисунок 2 – Функциональная схема драйвера светодиодных ламп на основе импульсного стабилизатора тока

Лампы с такими драйверами не меняют яркости свечения при изменении напряжения в сети и способны работать в очень широком диапазоне входных напряжений. В принципе, можно обеспечить защиту от перегрева, хотя подавляющее большинство современных драйверов такой функцией не обладают. Некоторые из таких драйверов имеют встроенный корректор коэффициента мощности. Однако у такого драйвера есть и недостатки: он достаточно дорогой, имеет большую массу и габариты по сравнению с остальными типами светодиодных драйверов.

Третий способ – использование линейного стабилизатора тока (рис. 3).

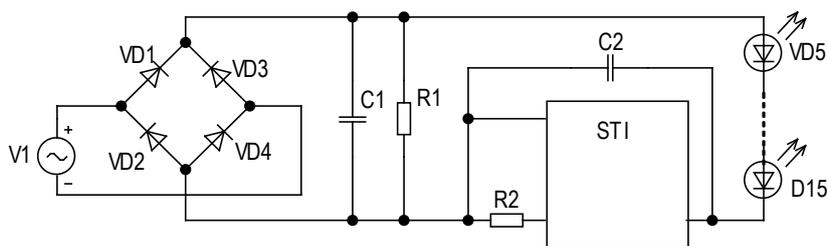


Рисунок 3 – Функциональная схема драйвера светодиодных ламп на основе линейного стабилизатора тока

Стабилизатор тока STI в этом случае представляет собой специализированную интегральную микросхему. В отличие от импульсного стабилизатора тока линейный стабилизатор имеет существенно (в десятки раз) меньшую массу и габариты. Обычно драйвер светодиодных ламп, предназначенных для работы от сети 230 В, выпускается в миниатюрных корпусах ESOP-8, что позволяет устанавливать его на одной плате со светодиодами (рис. 4).

Такое конструктивное решение очень сильно упрощает и, соответственно, удешевляет технологию изготовления светодиодных ламп. Кроме того, расположение светодиодов и драйвера на одной теплоотводящей алюминиевой подложке позволяет организовать защиту от перегрева без подключения к драйверу дополнительных датчиков температуры (они размещены внутри корпуса драйвера). Это существенно повышает надежность и увеличивает срок службы светодиодной лампы.

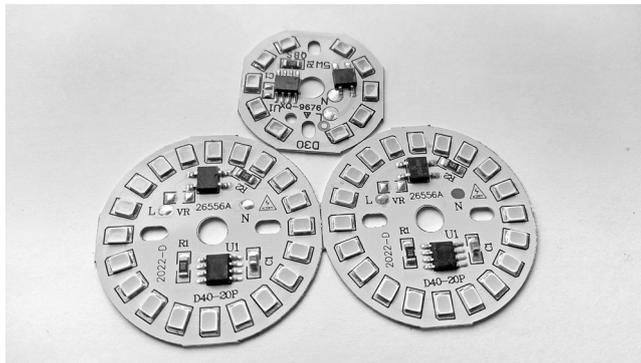


Рисунок 4 – Внешний вид плат светодиодных ламп с драйверами на основе линейного стабилизатора тока

Основной недостаток линейного стабилизатора тока – большие потери и, соответственно, низкая эффективность. Стабилизатор тока и светодиоды включены последовательно, поэтому соотношение мощностей, рассеиваемых на этих компонентах, пропорционально соотношению напряжений. Суммарно эти напряжения равны напряжению сети. Для повышения эффективности необходимо уменьшать падение напряжения на линейном стабилизаторе и, соответственно, увеличивать напряжение на диодах. Если падение напряжения на светодиодах с импульсным стабилизатором обычно не превышает 48 В (16 светодиодов включенных последовательно), то при использовании линейного стабилизатора падение напряжения на светодиодах обычно составляет порядка 180 В и более. Это требует использования 60 последовательно включенных светодиодов. Столько светодиодов в обычной лампе с цоколем E27 и тем более E14 разместить просто невозможно. Поэтому с такими драйверами используются светодиодные сборки (шесть светодиодов в одном корпусе), у которых номинальное прямое падение напряжения составляет 18 В. При этом корпус светодиодной сборки по размеру точно такой же, как и у одиночного светодиода (см. рис. 4).

Линейные стабилизаторы иногда используются без фильтрующего конденсатора С1. При этом внутри каждого полупериода ток через светодиоды не протекает до тех пор, пока входное напряжение не превысит суммарное прямое падение напряжения на светодиодах (рис. 5). В течение этого промежутка времени светодиоды не светятся.

После открывания светодиодов напряжение на них остается практически неизменным, ток также фиксирован и, соответственно, фиксирована мощность, рассеиваемая на светодиодах. Мощность, рассеиваемая на драйвере, определяется разностью входного напряжения и напряжения на светодиодах. Средние мощности при этом пропорциональны соответствующим вольт-секундным площадям.

Эффективности таких драйверов достигает 80%. Это не очень высокий показатель. Для дальнейшего увеличения эффективности нужно увеличивать напряжение на светодиодах, однако при этом уменьшается время, в течение которого светится светодиод внутри каждого полупериода, а это увеличивает мерцание светового потока.

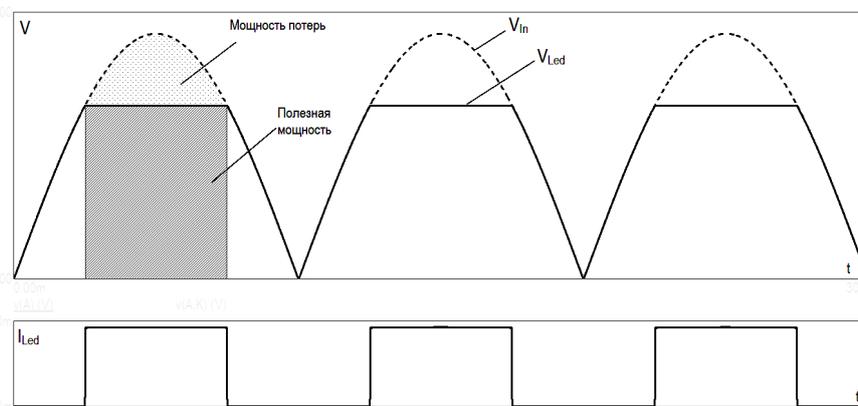


Рисунок 5 – Временные диаграммы выпрямленного входного напряжения V_{in} , напряжения на светодиодах V_{Led} и тока через светодиоды I_{Led}

Но что более критично, при низком уровне напряжения в сети его величины может оказаться недостаточно для открывания светодиодов и лампа вообще светиться не будет. Согласно ГОСТ 321440-2013 для однофазной сети 230 В минимально допустимое напряжение составляет 207 В. Однако на практике в старых сетях, в сетях садовых товариществ и гаражных кооперативов напряжение в сети может снижаться до 180–190 В. Поэтому производители светодиодных ламп ограничивают число последовательно включенных светодиодов суммарным падением напряжения примерно 180–220 В, чтобы обеспечить хоть какую-то работоспособность этих ламп при низком питающем напряжении. В связи с этим повысить эффективность выше 80% не удастся. А при повышенном напряжении (по ГОСТ максимально допустимое напряжение однофазной сети составляет 253 В) эффективность существенно снижается. Еще больше снижает эффективность применение фильтрующего конденсатора, необходимого для уменьшения мерцания светового потока ламп. Тем не менее, несмотря

на указанные недостатки, линейные стабилизаторы очень активно используются в современных бытовых светодиодных лампах, особенно малой мощности, вытесняя из этой ниши дорогие импульсные стабилизаторы.

Четвертый способ — это фактически разновидность третьего. В нем также используется линейный стабилизатор тока, но для увеличения эффективности при разных мгновенных значениях входного напряжения ток протекает через разное число последовательно включенных светодиодов (рис. 6).

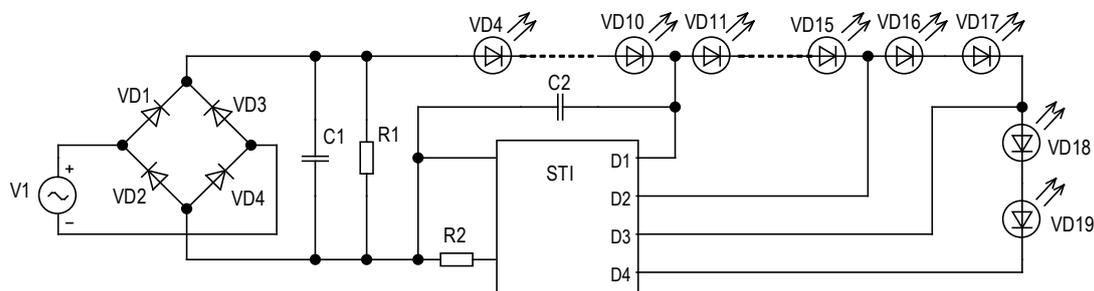


Рисунок 6 – Функциональная схема секционированного драйвера светодиодных ламп на основе линейного стабилизатора тока

Линейный стабилизатор тока также реализован в виде интегральной микросхемы в миниатюрном корпусе для поверхностного монтажа. Но в отличие от обычного линейного драйвера светодиоды разбиты на 4 группы, последовательно подключаемые при возрастании входного напряжения.

При этом напряжение на светодиодах ступенчато возрастает. Мгновенная мощность потерь по-прежнему определяется разностью входного напряжения и напряжения на светодиодах, но вольт-секундная площадь, а, следовательно, и мощность потерь в этом случае существенно меньше, чем при использовании классического стабилизатора тока (рис. 7).

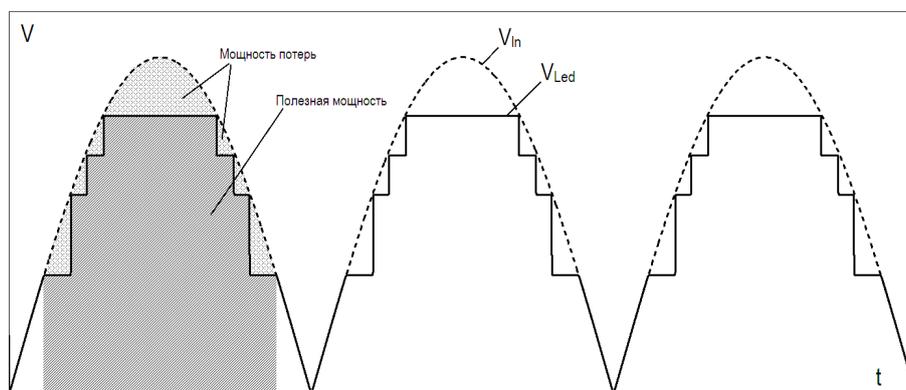


Рисунок 7 – Временные диаграммы выпрямленного входного напряжения V_{In} и напряжения на светодиодах V_{Led} в схеме секционированного драйвера

У таких драйверов светодиодных ламп эффективность составляет не менее 90%. Кроме того, одна группа светодиодов горит большую часть полупериода входного напряжения, что заметно снижает мерцание светового потока. Такая лампа будет светиться и при низком уровне входного напряжения, хоть и не на

полную мощность. Получается, что по основным свойствам такие драйверы близки к драйверам на шнвке импульсных источников тока, но они значительно дешевле, легче и меньше по габаритам.

Это делает их очень перспективными. В настоящее время такие драйверы в основном используются в светодиодных прожекторах, но нет никаких ограничений для их применения в остальных типах бытовых светодиодных ламп. При этом для уменьшения или даже полного исключения мерцаний светового потока, негативно влияющего на зрение человека, необходимо использовать фильтрующие конденсаторы. Для исследований влияния подключения конденсаторов на энергетическую эффективность светодиодных ламп желательно иметь математическую модель такого светодиодного драйвера, полностью имитирующую поведение реальной микросхемы в различных режимах работы. Это связано с трудоемкостью проведения измерений и расчета мощности потерь экспериментальным способом. В связи с этим создание такой модели является актуальной задачей.

Литература

1. С.А. Амелин, М.А. Амелина Нелинейные звенья в системах управления источников электропитания // Практическая силовая электроника. 2021. №4 (84). С. 2–7.

*С.А. Амелин, к. т. н., доц.; А.И. Чулков, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МЕТОДЫ ОСУШЕНИЯ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ

Парогазовая смесь представляет собой продукт, образующийся в результате смеси газа и водяного пара. Примесь водяного пара существенно влияет на физико-химические свойства смеси, снижая корреляционные коэффициенты и искажая форму теоретических зависимостей исследуемых параметров смеси в зависимости от пропорционального соотношения паров воды и анализируемого газа. Известны случаи «отравления» ряда типов газоаналитических катализаторов парами воды. Такие случаи приводят к временному или же постоянному снижению чувствительности газоаналитической аппаратуры, существенному уменьшению точности анализа смесей и опасности нарушения технологических, производственных процессов, процессов жизнедеятельности человека. Приведенные аргументы указывают на значительную актуальность разработки приборов, проводящих предварительную обработку парогазовой смеси, нацеленную на приведение ее параметров к оптимальному состоянию для дальнейшего анализа

Классификация наиболее широко используемых способов осушения парогазовой смеси приведена на рисунке 1.

Физические представляют собой, криогенную сублимационная сушка парогазовой смеси. Данный процесс допустимо производить путем введения в смесь гликоля с дальнейшей очисткой от продуктов процесса гидратации.

Химические методы построены на способности некоторых реагентов к поглощению влаги из парогазовой смеси. Этот способ оптимален для различных

лабораторных исследований, однако его технико-экономические показатели не коррелируют с бизнес-моделью, применяемой в промышленности в связи с утратой реагентов без возможности восстановления.

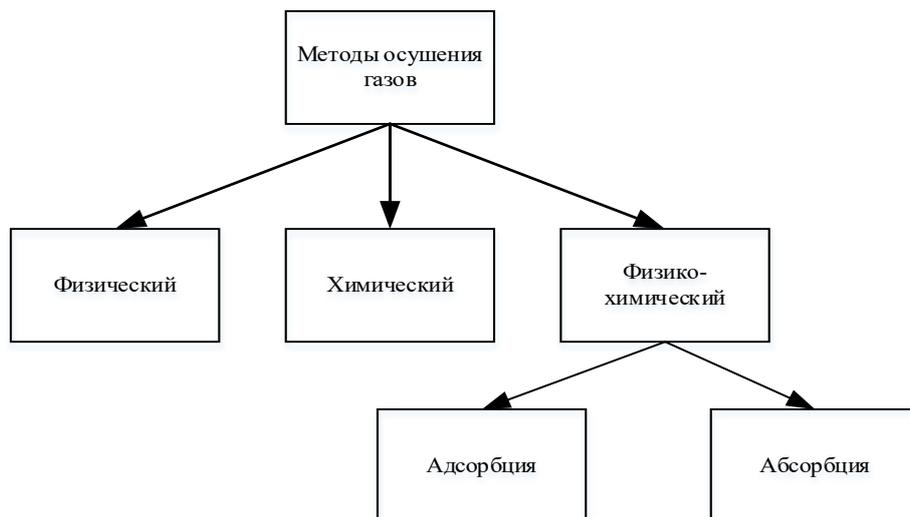


Рисунок 1 – Методы осушения парогазовых смесей

Физико-химический способ включает в себя два основных типа: адсорбцию и абсорбцию (различие в агрегатном состоянии сорбента – твердое или жидкое). В основном применяется для очистки и осушения природного газа.

Для промышленных применений наиболее интересны методы абсорбции, абсорбции и физические.

На рисунке 2 приведена типичная схема абсорбционного метода осушения парогазовой смеси. В данном методе используются жидкие реагенты, способные поглощать влагу.

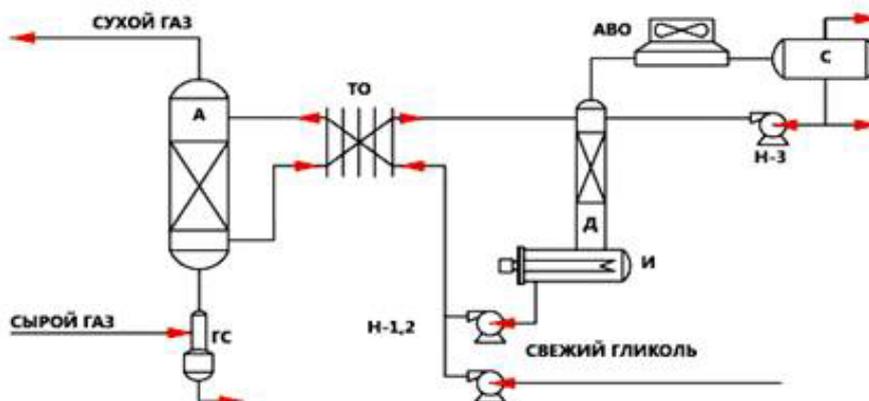


Рисунок 2 – Абсорбционный метод осушения

Данный метод экономически выгоден при прокачивании через аппаратуру больших объемов газа под высоким давлением и депрессии точки росы до 60 градусов. Также к достоинствам следует отнести дополнительную возможность очистки газов от ядовитых примесей и непрерывность процесса очистки.

Однако он требует специальной системы регенерации для применяемых в процессе реагентов, есть сложности с очисткой механизма от излишков реагентов.

На рисунке 3 приведена типичная схема адсорбционного метода осушения парогазовой смеси.

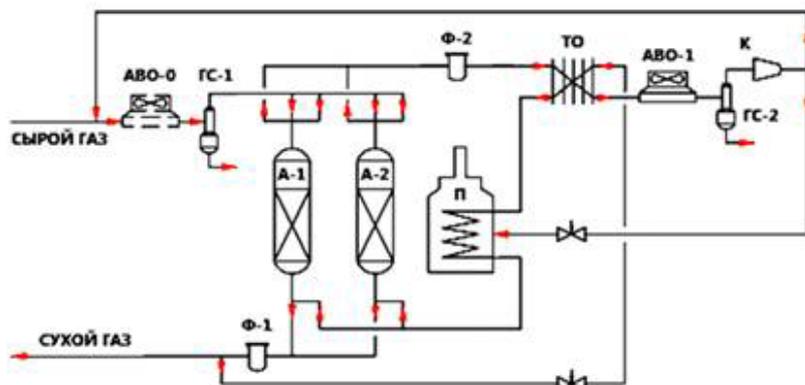


Рисунок 3 – Адсорбционный метод осушения

В данном методе используются твердые реагенты, способные поглощать влагу из парогазовой смеси.

Из преимуществ метода можно выделить очистку парогазовой смеси высокого качества и ощутимо меньшие по сравнению с абсорбцией капитальные затраты для подготовки малых партий газовых смесей.

Недостатком же являются высокие расходы на строительство установки, ее массогабаритные параметры, необходимость оперативной замены реагента по мере загрязнения различными ингибиторами.

На рисунке 4 приведена типичная схема метода осушения низкотемпературной сепарацией парогазовой смеси.

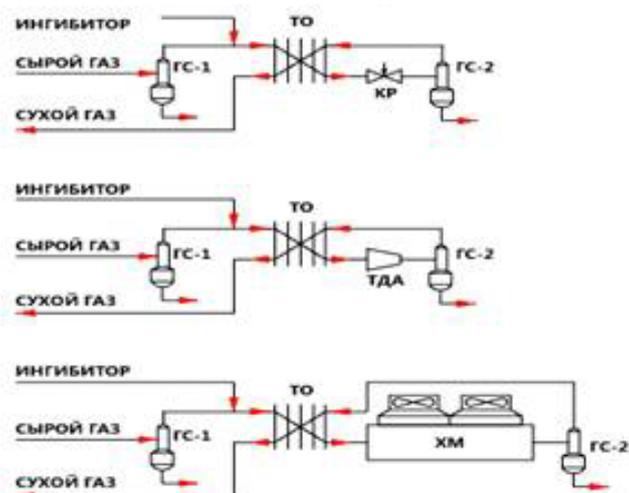


Рисунок 3 – Метод осушения низкотемпературной сепарацией

Данный метод конденсирует влагу из парогазовой смеси методом охлаждения. Применение этого метода дешево как при строительстве, так и при

эксплуатации, имеет широкие границы по выставлению точки росы, легко настраивается и регулируется под конкретную задачу.

Однако он снижает эффективность работы по мере удаления излишней влаги из парогазовой смеси.

На основе приведенных материалов и рассмотренных методов можно прийти к заключению, что адсорбционный и абсорбционный методы осушения парогазовой смеси идеально подходят для больших производств, а для небольших предприятий, производящих газовые смеси, газоанализаторы, тестирующие их актуальной задачей является разработка установок осушения парогазовой смеси методом низкотемпературной сепарации.

Литература.

1. Инновационные методы осушки газа. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=868982> – свобод. Дата обращения 05.09.2023
2. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем.; под ред. А.Г. Алексеенко. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
3. Хоровиц П. Искусство схемотехники 7-ое издание / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ.; под ред. Т.Г. Хохлова. – М.: Мир, 2009. – 704 с.
4. Авдеев, В.А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование / В.А. Авдеев. - М.: ДМК, 2016. - 848 с.

С.П. Астахов, к.т.н. доц.; Д.Д. Романов, маг.

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

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В мире современной электроники одним из перспективных направлений выделяют электронные устройства, используемые в качестве передвижения. Электрический транспорт — это вид транспорта, который использует электроэнергию в качестве источника энергии, а тяговые электродвигатели как движущую систему. Его основные преимущества перед транспортом, использующим двигатели внешнего или внутреннего сгорания, заключаются в том, что он является более эффективным и экологичным.

К индивидуальному электротранспорту относятся сегвей, гироскутер, электросамокат, моноколесо и электровелосипед.

К персональному электротранспорту относятся сегвей, гироскопические скутеры, электроскутеры, моноциклы и электровелосипеды. Устройства приведенные выше схожи по электронной составляющей так как в большинстве случаев состоят из:

- а) двигатель постоянного тока, который создает крутящий момент, необходимый для вращения колес или лопастей транспортного средства;
- б) управление двигателем постоянного тока, которое подает на фазу двигателя напряжение и ток, необходимые для создания необходимого крутящего момента и работы с необходимой скоростью;
- в) пульта управления, служит для регулирования скорости вращения.



Рисунок 1 – Составляющие компоненты устройства: а) курок газа электросамоката; б) контроллер для электровелосипеда; в) бесколлекторный двигатель постоянного тока

Бесколлекторные двигатели могут быть разной мощности, в зависимости от транспорта и его назначения. В соответствии с этим подбирается контроллер БДПТ. Пульт управления транспортным средством, может включать в себя не только регулировку скорости, но и отключение или включение питания, так же включение дополнительных функций, таких как свет габаритные огни или фары.

На рисунке 2 представлена структурная схема разрабатываемого устройства.

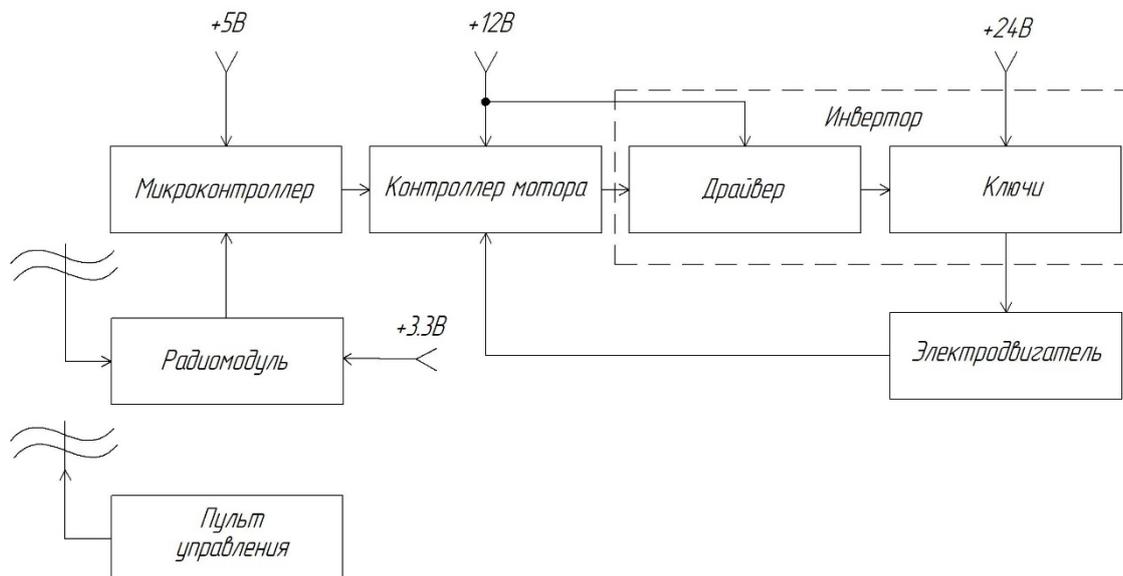


Рисунок 2 — Структурная схема устройства

В этой разработке микроконтроллер используется как обработчик радио сигнала, для последующей передачи его на контроллер мотора.

Контроллер двигателя - это мощный монолитный бесщеточный контроллер двигателя постоянного тока второго поколения со всеми активными функциями, необходимыми для реализации полнофункционального управления трех- или четырехфазными двигателями с разомкнутым контуром. Устройство включает в себя декодер положения ротора для соответствующей последовательности переключения, температурный компенсатор, способный обеспечить

питание датчика, частотно-программируемый пилообразный генератор, три верхних драйвера с открытым коллектором, три сильноточных тотемных полюсных драйвера, пригодных для управления мощными МОП-транзисторами, а также нижние драйверы. Другие функции безопасности включают блокировку от пониженного напряжения, циклическое ограничение тока с возможностью выбора режима задержки запуска, внутреннее тепловое отключение.

Высоковольтный 3-фазный драйвер затвора – это высоковольтные, высокоскоростные драйверы затворов силовых *MOSFET* и *IGBT* транзисторов с тремя выходными каналами с высоким и тремя выходными каналами с низким коэффициентом передачи для 3-фазных приложений.

Блок «Ключи» состоит из трёх пар *MOSFET* транзисторов подключенных по полумостовой схеме.

На рисунке 3 представлена функциональная схема устройства.

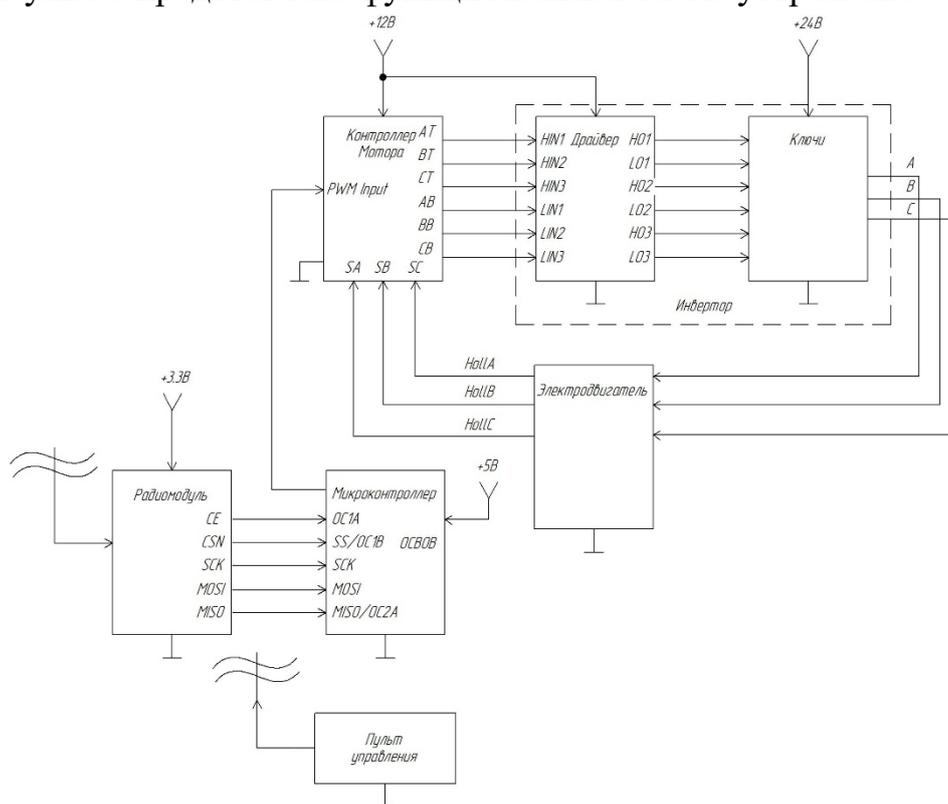


Рисунок 3 — Функциональная схема устройства

Данное разрабатываемое устройство делится на управляющую и силовую части. В управляющую часть входит пульт управления, радиомодуль, микроконтроллер, контроллер мотора и драйвер. В силовой же части остаются только ключи. Блоки «Драйвер» и «Ключи» представляют из себя инвертор.

Питание микросхем осуществляется через стабилизаторы напряжения и тока, подключенные к аккумулятору через клеммы.

В разрабатываемом устройстве через пульт управления (передатчик) по радиосвязи будет идти сигнал, передающий регулировку скорости от команды пользователя, на радиомодуль (приемник). Данный радиомодуль подключен к микроконтроллеру по SPI-интерфейсу, через порты *CE* – *OC1A*, *CSN* –

SS/OC1B, SCK – SCK, MOSI – MOSI, MISO – MISO/OC2A. Микроконтроллер считывает сигнал с *SPI*-интерфейса и дальше через порт *OCB0B* выводит ШИМ-сигнал, приходящий на порт *PWM Input* контроллера мотора. После контроллер мотора генерирует сигналы управления, которые идут на драйвер через порты *AT – HIN1, BT – HIN2, CT – HIN3, AB – LIN1, BB – LIN2, CB – LIN3*.

С драйвера сигналы идут на затворы ключей, по портам *HO1, HO2, HO3, LO1, LO2* и *LO3*, тем самым управляя их открытием и закрытием. К стоку ключей подается напряжение в +24В, управляющее электродвигателем по сигналам с ключей *A, B, C*. От электродвигателя идут сигналы с датчиков Холла *Holla, HollB, HollC*, на порты контроллера мотора *SA, SB, SC*. Эти датчики действуют как контур обратной связи и сообщают двигателю, где находится ротор в любой момент времени, а также подают напряжение для определения фазы.

Таким образом, была разработана структурная и функциональная схема устройства.

Литература

1. Кенио Т., Нагамори С. Двигатели постоянного тока с постоянными магнитами. М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А. Силовая электроника. – М.: Издательство МЭИ, 2007 – 632 с.
3. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. — М.: "Академия", 2006. — 272 с.

*С.П. Астахов, к.т.н., доц.; В.Ю. Саленков, студ.; Д.А. Трошко, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА КЛИМАТ-КОНТРОЛЯ ТЕПЛИЦЫ

Садоводство на огородах и разведение пищевых культур являются популярными и полезными занятиями для многих россиян. Это дает возможность физически активизироваться, особенно для людей, работающих за компьютером весь день и не получающих достаточно физической активности. Кроме того, успешный урожай обеспечивает свежую и высококачественную пищу на протяжении всего сезона, что позволяет экономить по бюджету.

Если вопрос о полезности мероприятий на огороде можно однозначно принять, то относительно симпатий к физической активности возникают сомнения из-за роста цифровых технологий и автоматизации, что приводит к лени молодого поколения. Молодые люди заменяют старших в работе на огороде, но не желают выполнять много рутинных задач, подобно многим другим людям, поэтому актуально разрабатывать современные системы автоматизации для дома.

Для автоматизации работы на огороде одной из распространенных задач является поддержание оптимальных условий микроклимата в теплице. Тепличные сооружения, такие как парники и теплицы, являются важными инструментами для успешного выращивания овощей огородниками и дачниками. Для эф-

эффективной работы необходимы знания о микроклимате в теплице, чтобы обеспечить наилучшие условия для роста и созревания овощей.

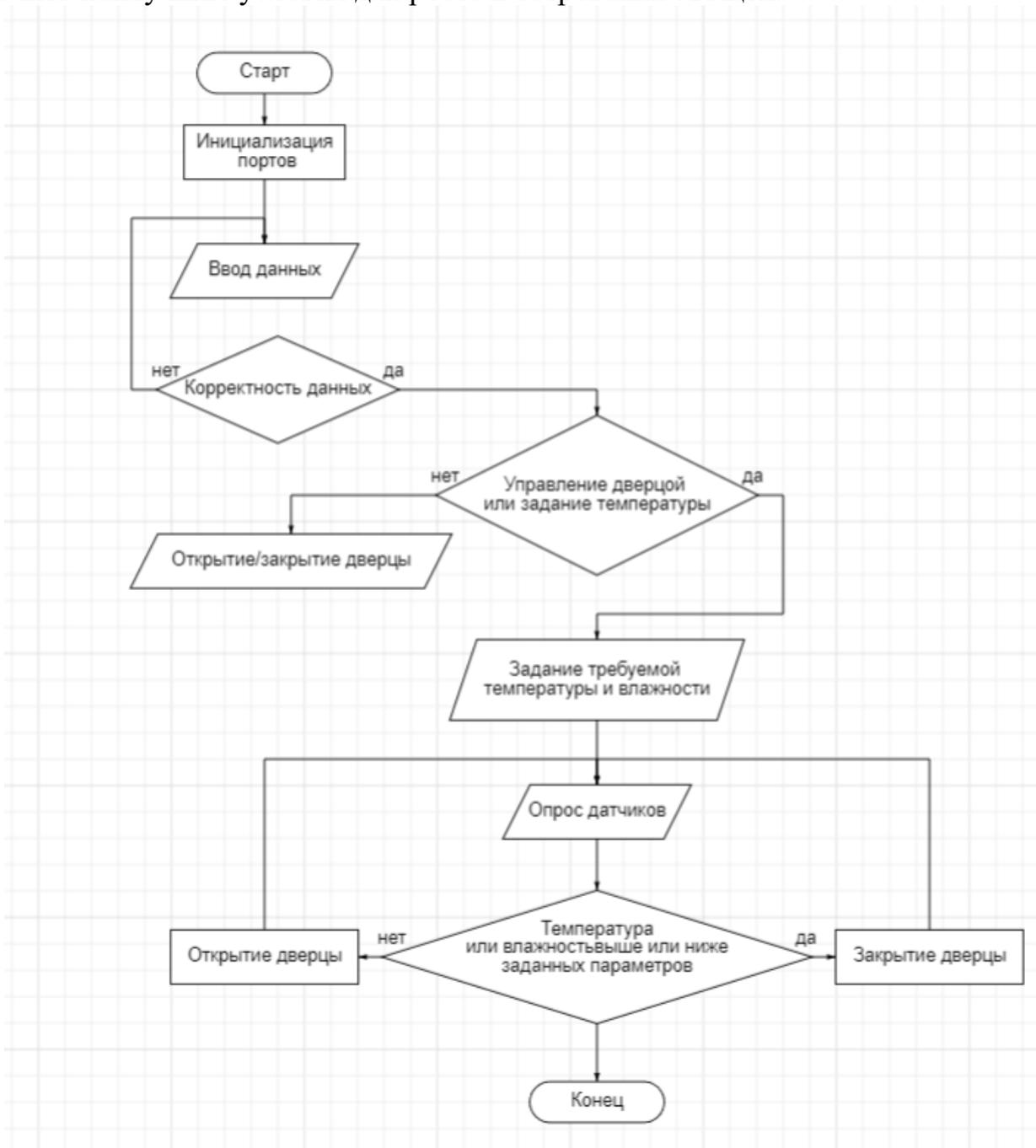


Рисунок 1 — Алгоритм работы климат контроля теплицы

Произведем моделирование разработанного устройства в среде Proteus. Результат измерения температуры и влажности представлен на рисунке 2.

Таким образом, принципы контроля температуры и влажности в теплицах согласуются между собой и не противоречат друг другу. Важным выводом из этого является необходимость организации естественного воздухообмена со внешней средой при превышении номинальных значений температуры или относительной влажности, чтобы контролируемые параметры приняли оптимальные значения. Этот принцип функционирования системы климат-контроля в

теплицах можно охарактеризовать как однопозиционный режим управления (релейный режим управления), что обуславливает относительную простоту разработки систем домашней автоматизации для климат-контроля в теплице.

В ходе подготовки проекта был составлен алгоритм работы устройства климат контроля теплицы (рисунок 1).

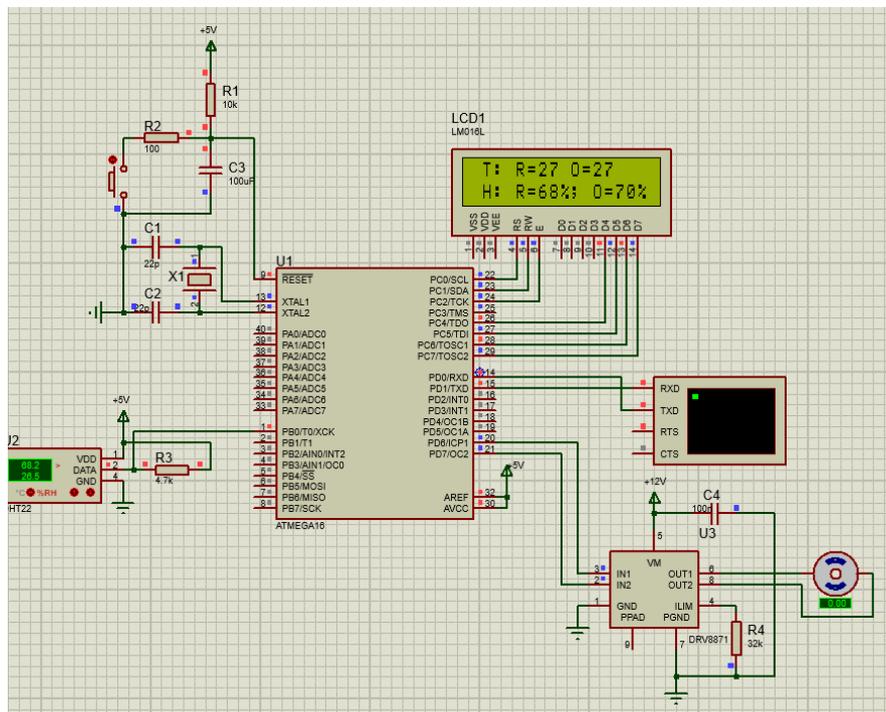


Рисунок 2 — Измерение температуры в среде моделирования

Результаты моделирования показывают правильность измерения датчиком *DHT22* температуры и относительной влажности воздуха внутри парилки. В данном случае ни температура, ни относительная влажность не превышают пороговых значений, при этом теплица остается закрытой, что можно определить по состоянию линейного толкателя. Когда один из порогов, например, температура, превышаетя, линейный толкатель начинает двигаться. Рисунок 3 иллюстрирует работу этого устройства в программной среде Proteus.

Как видно из результата моделирования новое значение пороговой температуры отобразилось на ЖКИ и при этом автоматически начался режим теплообмена теплицы с окружающей средой (рисунок 4).

Таким образом, устройство работает согласно Техническому заданию и разработанным алгоритмам.

В процессе последующей модернизации устройства планируется улучшить возможности управления через bluetooth модуль, добавив дополнительные функции.

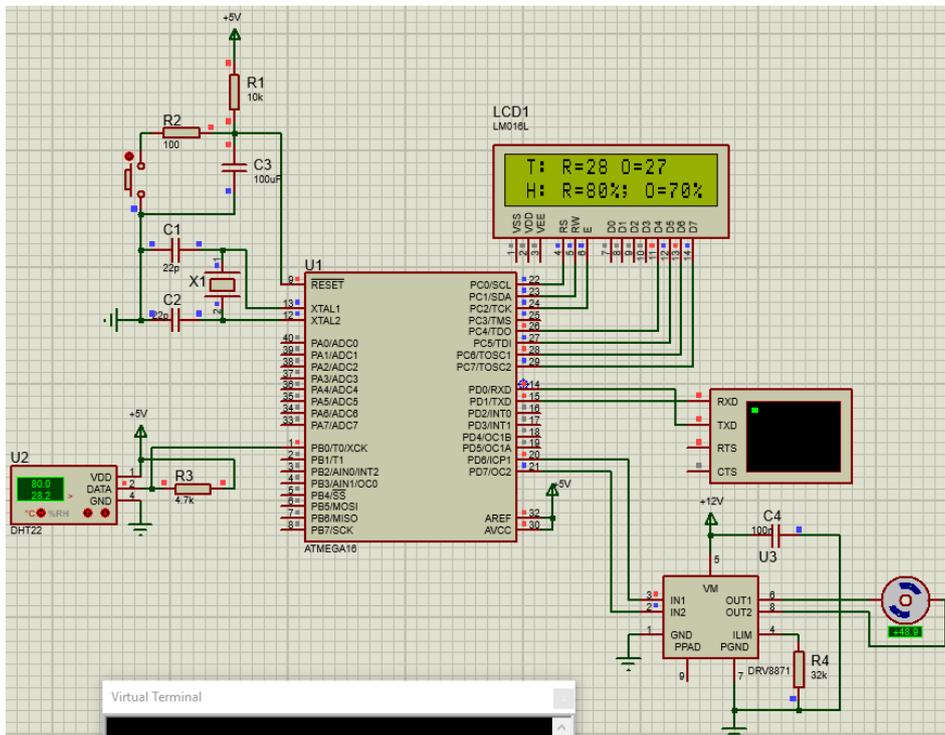


Рисунок 3 — Демонстрация работы линейного толкателя

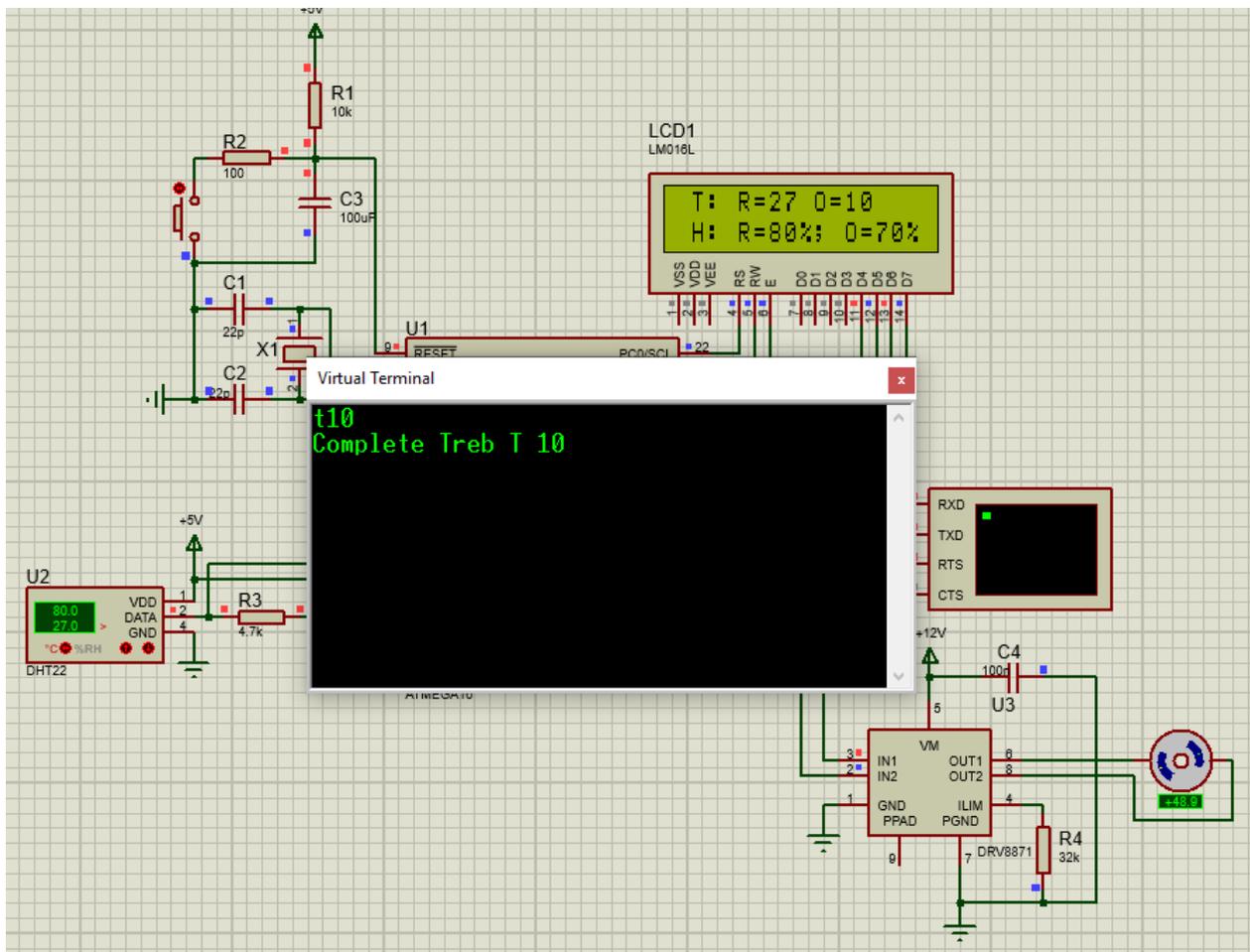


Рисунок 4 — Демонстрация работы режима теплообмена

Литература

1 Универсальный асинхронный приёмопередатчик [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Универсальный_асинхронный_приёмопередатчик (дата обращения 09.10.2023).

2 Ультразвуковой датчик расстояния Arduino HC-SR04 [Электронный ресурс] URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/> (дата обращения 09.10.2023).

*В.И. Бобков, д. т. н., доц.; Ю.И. Якименко, асп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В ДИАПАЗОНЕ 7,5–14 МКМ

В настоящее время большой интерес вызывает задача получения оптико-информационного обеспечения для реализации метода обнаружения беспилотного воздушного судна (БВС) роботизированной системой на сложном фоне [9, 10]. Информационным каналом роботизированной системы является пассивная оптико-электронная система (ПОЭС) с широким полем зрения, работающая в дальнем инфракрасном диапазоне (8–13 мкм). ПОЭС в процессе приема и обработки излучения атмосферного фона и БВС формирует на оконечном устройстве видеопоток, каждый кадр которого представляет собой двумерный массив, элементы которого содержат информацию об уровне энергетической яркости излучения в выбранном направлении. Видеоинформация для роботизированной системы о находящихся в поле зрения ПОЭС фоне и БВС после окончательной обработки представляется в бинарном виде. Атмосферный фон, на котором происходит обнаружение БВС, формируется излучением облачной атмосферы при наблюдении с земной поверхности. Особый интерес вызывает сложный фон, созданный кучевыми облаками различной балльности или другими классами облаков, имеющими разрывы.

В статьях [9, 10] рассмотрен метод обнаружения БВС на сложном фоне роботизированной системой основан на фоновом принципе извлечения информации. Его суть заключается в том, что при отсутствии априорной информации о наличии БВС в поле зрения ПОЭС необходимо отслеживать локальные изменения одного или нескольких параметров пространственно-временной структуры излучения АФ, отличные от знаний о природных закономерностях. Изменения этих параметров происходят вследствие искажения природных закономерностей пространственной структуры излучения АФ излучением БВС. Для реализации названного метода необходимо располагать тремя составляющими оптико-информационного обеспечения обнаружения: пространственной; пространственно-временной; временной.

Таким образом, разработанный метод оптико-информационного обеспечения обнаружения БВС роботизированной системой на сложном фоне основанный на фоновом принципе извлечения информации состоит из трех способов получения необходимых составляющих оптико-информационного обеспечения: временного; пространственно-временного; пространственного.

Способ получения временной составляющей оптико-информационного обеспечения позволяет оптимизировать выбор частоты подачи кадров из видеопотока для последующей обработки пространственным способом обнаружения БВС на АФ.

Способ получения пространственно-временного составляющей оптико-информационного обеспечения позволяет оптимизировать интервал времени, с периодичностью которого следует обновлять выбор размера сегмента. Это составляет основу способа получения пространственной составляющей оптико-информационного обеспечения, необходимые для реализации пространственного способа обнаружения БВС на АФ, состоящего из алгоритма сегментации ФЦИ и алгоритма пороговой обработкой.

Применение метода оптико-информационного обеспечения обнаружения позволит представить роботизированной системе информацию о наличие артефактов в поле зрения ПОЭС в виде бинарного ФЦИ, что в дальнейшем обеспечит возможностью определения координат БВС в пространстве.

Результатом происходящих термодинамических и турбулентных процессов в атмосфере формируются излучающие облачные неоднородности, плавно изменяющие свои размеры в пространстве (в горизонтальном и вертикальном направлении) и во времени.

В статье [1–3] представлен анализ результатов исследования пространственных структур излучения облачных неоднородностей различных форм в диапазоне 8–13 мкм. В этих работах был предложен способ получения пространственных характеристик [5] в виде взаимных корреляционных функций между последовательностями флуктуаций яркости горизонтальных сечений кадра изображений облачности АФ в зависимости от угла места наблюдения. Основной недостаток способа является недостаточное быстродействие, что приводит к погрешности в оценку этих характеристик, так как время регистрации изображения кадра размером $10^\circ \times 60^\circ$ сканирующей тепловизионной ОЭС с одноэлементным приемником, составляло в среднем более одной минуты.

Результаты эксперимента позволили оценить пространственные размеры кучевой облачности (C_u) в зависимости от балльности и угла места наблюдения (рисунок 1). Для этого фиксировались значения угла места по уровню 0,5 (радиусу корреляции) коэффициента взаимной корреляции между флуктуациями сечений изображений облачности.

Имеет место общая для всех типов облачности АФ тенденция к уменьшению радиусов корреляции взаимных корреляционных функций между последовательностями флуктуаций яркости горизонтальных сечений кадра изображений облачности в зависимости от угла места наблюдения. Это связано с уменьшением размеров излучающих облачных неоднородностей в горизонтальном направлении при приближении направления наблюдения к горизонту (рисунки 1).

В статье [4] представлен анализ результатов исследования пространственно-временной структуры излучения кучевой облачности (C_u) в диапазоне 8–13 мкм. В этой работе был предложен способ получения пространственно-

временных характеристик [5] в виде взаимных корреляционных функций между последовательностями флуктуаций яркости горизонтальных сечений кадра изображений облачности АФ в зависимости от времени.

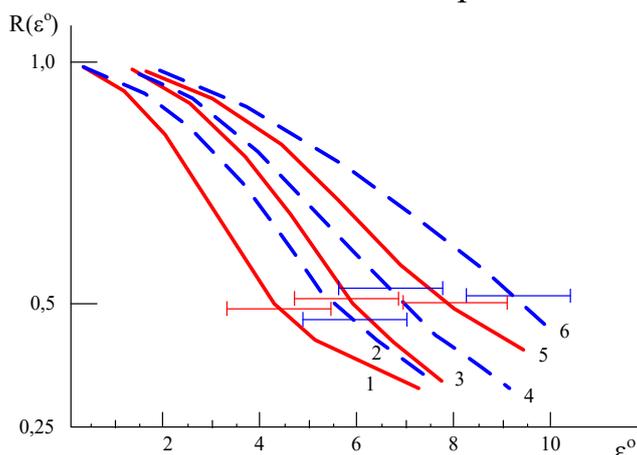


Рисунок 1 – Зависимости взаимных корреляционных функций между последовательностями флуктуаций яркости горизонтальных сечений кадра изображений кучевой (Cu) облачности в зависимости от угла места наблюдения в диапазоне 8–13 мкм: 1, 3, 5 – для 4–6 баллов; 2, 4, 6 – для 7–9 баллов; 1, 2 – для угла места $\varepsilon=10^\circ$; 3, 4 – для угла места $\varepsilon=20^\circ$; 5, 6 – для угла места $\varepsilon=30^\circ$. Здесь и в последующих случаях отрезками обозначены границы с 95 %-ми доверительными интервалами для средней величины.

Для улучшения быстродействия способа регистрировались одноэлементным приемником только первые три реализации, смещенные относительно друг друга на 6° по углу места. Затем через каждые 18–20 с регистрировались последующие реализации для тех же самых координат облачности, при которых получены первые три начальные реализации. Таким образом, было зарегистрировано 31 реализация для каждого сечения кадра изображения облачности в 3-х направлениях в течении 540 с.

Расчет коэффициентов взаимной корреляции между первыми и последующими реализациями проводился по формуле:

$$R[n(t), n_0, m] = \frac{\sum_{i=1}^N U_i^{n, m_j} U_i^{n_0, m_j} - N \bar{U}^{n, m_j} \bar{U}^{n_0, m_j}}{\left[\left(\sum_{i=1}^N (U_i^{n, m_j})^2 - N (\bar{U}^{n, m_j})^2 \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N (U_i^{n_0, m_j})^2 - (\bar{U}^{n_0, m_j})^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}}}$$

где m_j – номер сечения кадра изображения облачности ($j=1, 2, 3$), относящийся к углам места \square , равным $16^\circ, 22^\circ$ и 28° ;

n_0 - начальная (первая) реализация;

m_j - го сечения кадра изображения облачности, с которой сравниваются все последующие n реализаций ($n=2, 3, 4, \dots, 31$), каждая зарегистрирована через 18–20 с;

$U_i^{n_0, m_j}$ и U_i^{n, m_j} – значения энергетической яркости в i -й точке выборки m_j – го сечения кадра изображения облачности первой n_0 и последующих n реализаций соответственно;

\overline{U}^{n_0, m_j} , \overline{U}^{n, m_j} – средние значения энергетической яркости n -го сечения кадра изображения облачности n_0 -й и последующих n реализаций соответственно; i –номер точки выборки (отсчета) в реализации, $j=1, 2, 3, \dots N (> 600$ отсчетов).

Характер изменений взаимных корреляционных функций для трех сечений кадров изображений кучевой облачности (Cu) 4–6 баллов представлен на рисунке 2. По оси абсцисс отложено время смещения между первыми и последующими реализациями. Как видно из рисунка, для всех трех сечений кадров изображений кучевой (Cu) облачности 4–6 баллов поведение функций аналогично, хотя первая и третья несколько различаются между собой, что может быть связано с разными размерами облаков для разных сечений (размеры отличались из-за экранирования облаков друг другом). Корреляционные связи уменьшаются ниже уровня 0,5 за 2–3 мин., т.е. за это время пространственно-временная структура излучения кучевой (Cu) облачности полностью обновляется.

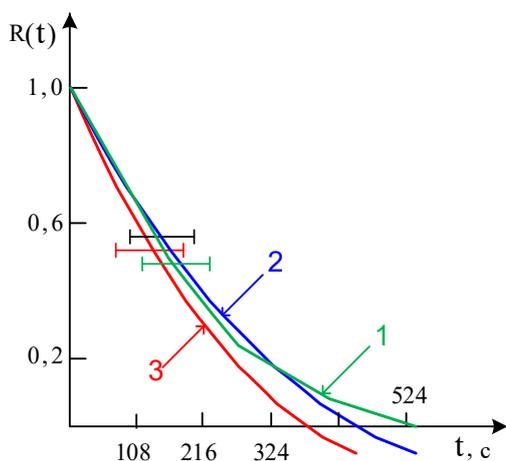


Рисунок 2 – Зависимости коэффициентов взаимной корреляции между первыми и смещенными по времени последующими сечениями кадров изображений кучевой облачности (Cu) 4–6 баллов: 1 – для угла места $\alpha = 16^\circ$; 2 – для угла места $\alpha = 22^\circ$; 3 – для угла места $\alpha = 28^\circ$.

Анализ результатов исследований других экспериментов для схожих условий показал, что корреляционные связи иногда **существовали 3–4 мин**, а в других случаях **8–12 мин**, что связано со скоростью протекания турбулентных и термодинамических процессов, происходящих в атмосфере. Основной недостаток способа получения пространственно-временных характеристик является недостаточное быстроедействие при измерении сканирующей тепловизионной ОЭС с одноэлементным приемником, что приводит к погрешности в оценке этих характеристик, так как время регистрации флуктуаций яркости горизонтальных сечений кадра изображений облачности АФ, составляло в среднем 18–20 с.

Процесс излучения АФ, связанный с термодинамическими и турбулентными процессами, происходящими в атмосфере, и являются случайным нестационарным как по пространству, так и по времени. Известно, что все случайные процессы при длительном рассмотрении по своей природе всегда нестационарны, но для каждого из них существует ограниченный интервал времени, когда случайный процесс можно считать стационарным. Для того, чтобы пространственное оптико-информационное обеспечение в рамках метода обнаружения содержало стационарные характеристики случайного процесса излучения АФ, необходимо их периодически уточнять [6–10].

Такую периодичность можно оценить, используя способ получения пространственно-временной составляющей оптико-информационного обеспечения обнаружения БВС на сложном фоне [6–10]. Основой такого способа является расчет коэффициента взаимной корреляции $R(t)$ между поступающими через равные промежутки времени кадрами видеопотока, получаемого многоэлементным приемником тепловизора в диапазоне 8–13 мкм. В отличие от рассмотренных выше способов это стало возможно благодаря высокому темпу развития тепловизионной аппаратуры, использующие многоэлементные приемники излучения, что привело к минимальным потерям информации из-за недостаточного быстродействия.

Экспериментальные исследования пространственно-временной структуры излучения облачных неоднородностей АФ позволяет оценить интервал времени, соответствующий уровню 0,5 коэффициента взаимной корреляции $R(t)$ между кадрами видеопотока, что в свою очередь позволяет оценить время стационарности – «время жизни» облачных неоднородностей АФ, т.е. интервал времени (радиус корреляции), с периодичностью которого следует обновлять пространственно-временное оптико-информационное обеспечение обнаружения БВС на сложном фоне [10].

Для проведения экспериментальных исследований была создана экспериментальная установка, которая включала в своем составе тепловизионную камеру Sii AT диапазона 7,5–14 мкм с неохлаждаемым многоэлементным приемником излучения с размером пиксела 17 мкм. Объектив камеры имел широкое поле зрения $73,2^\circ$ с фокусным расстоянием 8 мм. Камера позволяла получать видеопоток с размером кадра 640×480 и записывать его на жесткий диск видеорегистратора. Камера был установлен на треноге с жесткой фиксацией угла места наблюдения.

Экспериментальные исследования строились по алгоритму:

1. Фиксировался при помощи тепловизора видеопоток, соответствующий метеоситуации с определенным классом и балом облачности в течении интервала времени от 40 мин. до 3 ч.

2. Видеопоток разделялся на кадры через равные промежутки времени. Как правило первичное разделение кадров проводилось через 1 мин, для более детального анализа интервал уменьшался до 5 с.

3. Рассчитывался коэффициент взаимной корреляции между кадрами видеопотока в среде Matlab, завершающееся получением диагональной корреляционной матрицы.

В течении трех месяцев летом 2023 года было зафиксировано 90 видеопотоков, соответствующий метеоситуациям с определенным классом и балом облачности при в течении интервала времени от 40 мин. до 3 ч.

Для анализа зависимостей коэффициента взаимной корреляции $R(t)$ между кадрами видеопотоков на первом этапе исследования были выбраны метеоситуации, при которых определенный класс и балл облачности сохранял свои параметры неизменными в течении интервала времени от 40 мин. до 1 ч. Метеоситуации при которых класс и балл облачности менялся быстрее чем за 30–40 мин. либо небо содержало несколько классов облачности верхнего и нижнего яруса на первом этапе исследования игнорировались.

Оценки зависимостей коэффициента взаимной корреляции $R(t)$ между кадрами были получены для видеопотоков, содержащие изображения кучевой Cumulus (C_u) облачности с балльностью: 1–3; 4–6; 7–9 балла. Для сравнения были так же получены оценки зависимостей коэффициента взаимной корреляции $R(t)$ между кадрами видеопотоков, содержащие изображения высококучевой (A_c) облачности, кучево-дождевых Cumulonimbus (C_b) облаков и ясного (чистого) неба.

Усредненные оценки зависимостей коэффициента взаимной корреляции $R(t)$ между кадрами видеопотоков, содержащие изображения кучевой (C_u) облачности балльностью: 1–3; 4–6; 7–9 балла, а так же высококучевой (A_c) облачности, кучево-дождевых (C_b) облаков и чистого неба представлен на рисунке 3.

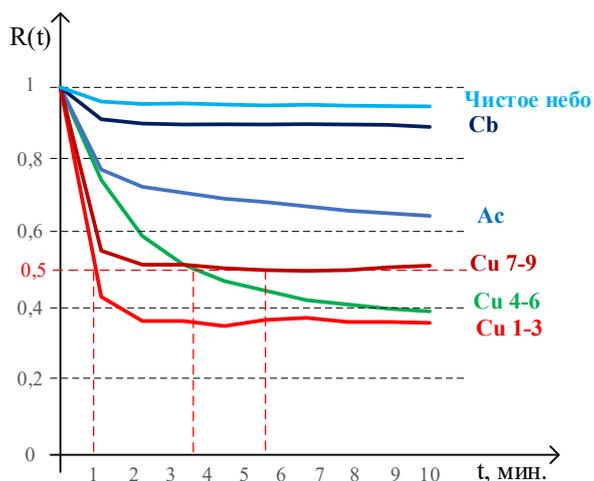


Рисунок 3 –Оценки зависимостей коэффициента взаимной корреляции $R(t)$ между кадрами видеопотока, взятыми дискретно через 1 мин., при наблюдении кучевой (C_u) облачности: 1–3; 4–6; 7–9 балла, а так же высококучевой (A_c) облачности, кучево-дождевых (C_b) облаков и чистого неба

По оси абсцисс отложено время с шагом в 1 мин. смещения между пер-

выми и последующими кадрами видеопотока. Как видно из рисунка 3, для изображений кучевой (C_u) облачности поведение функций аналогичны, наблюдается монотонное уменьшение величины коэффициента взаимной корреляции $R(t)$, отличающееся лишь скоростью изменения (обновления формы) облачности.

Коэффициенты взаимной корреляции $R(t)$ между кадрами видеопотоков кучевой (C_u) облачности 1–3 балла уменьшаются быстрее всех и достигает уровня 0,5 менее чем за 1 мин, т.е. за это время пространственно-временная структура излучения кучевой (C_u) облачности 1–3 балла полностью обновляется.

Исходя из этого, для более детального анализа процесса изменения пространственно-временной структуры излучения кучевой (C_u) облачности 1–3 балла был уменьшен интервал подачи кадров из видеопотока до 5 с в течении 1,5 мин. Результат усреднения оценки зависимости коэффициента взаимной корреляции $R(t)$ между кадрами видеопотоков при уменьшении интервала подачи кадров из видеопотока до 5 с, содержащих кучевую (C_u) облачность 1–3 балла представлен на рисунке 4.

По оси абсцисс отложено время с шагом 5 с смещения между первыми и последующими кадрами видеопотока. Как видно из рисунка, для изображений кучевой (C_u) облачности поведение функций $R(t)$ аналогично рисунку 3, т.е. наблюдается монотонное уменьшение ниже уровня 0,5 в интервале 45–75 с.

Коэффициенты взаимной корреляции $R(t)$ между кадрами видеопотоков кучевой (C_u) облачности 4–6 балла уменьшаются ниже уровня 0,5 через 3–4 мин, что коррелирует с результатами, полученными в [4]. Для кучевой (C_u) облачности 7–9 балла уменьшаются ниже уровня 0,5 через 5–6 мин., а для высококучевой (A_c) облачности, кучево-дождевых (C_b) облаков и чистого неба не наблюдается снижение ниже 0,5 за время превышающее время съемки более 1 ч.

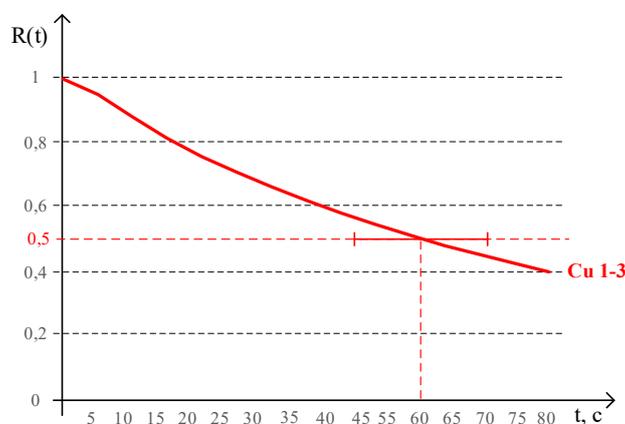


Рисунок 4 –Оценки зависимостей коэффициента взаимной корреляции $R(t)$ между кадрами видеопотока, взятыми дискретно через 5 с, при наблюдении кучевой (C_u) облачности: 1–3 балла

Таким образом, анализ результатов экспериментов исследований по оценке коэффициента взаимной корреляции $R(t)$ между кадрами видеопотока для кучевой облачности (C_u) позволил выявить закономерность – с увеличением балльности облачности увеличивается радиус корреляции $R(\tau) = 0,5$, т.е. уменьшается скорость полного обновления формы облачности. Знание скорости полного обновления форм облачности позволяет оценить время стационарности – «время жизни» характеристик пространственной структуры АФ. Это необходимо для своевременной корректировки параметров сегментации в ходе обработки изображения при реализации алгоритма в рамках метода оптико-информационного обеспечения обнаружения БВС роботизированной системой на сложном

Литература

1. Алленов А.М., Соловьев В.А. Объективная параметризация состояний облачной атмосферы по структуре ее собственного излучения в диапазоне 8-13 мкм // Оптический журнал. - 1999. - Т. 66, № 12. – С. 99–100.
2. Алленов А.М., Соловьев В.А. Корреляционные (пространственные) связи между флуктуациями яркости, создаваемыми облачными неоднородностями в диапазоне 8-13 мкм // Тр. ИЭМ. - М.: Гидрометеиздат, 1995. – Вып. 25 (160). – С. 3–14.
3. Алленов М.И. Структура оптического излучения природных объектов. – М.: Гидрометеиздат, 1988. – 164 с.
4. Алленов А.М., Иванова Н.П. Временная изменчивость пространственной структуры излучения неба в диапазоне 8–13 мкм при кучевой облачности // Оптический журнал. 2001. Т. 68. № 3. С. 43–44.
5. Алленов А.М., Буханцов Н.И., Герасимов В.В., Третьяков Н.Д. Сканирующий комплекс для измерения пространственной структуры излучения атмосферы в области 3-13 мкм // Тр. ИЭМ. - М.: Гидрометеиздат, 1990. – Вып. 11 (132). С. 54–61.
6. Алпатов Б.А., Блохин А.Н., Муравьев В.С., Алгоритм обработки изображений для систем автоматического сопровождения воздушных объектов // Цифровая обработка сигналов, 2010. №4.
7. Якименко, И. В. Методы, модели и средства обнаружения воздушных целей на атмосферном фоне широкоугольными оптико-электронными системами: монография / И. В. Якименко. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 176 с.
8. Оптико-информационный метод обнаружения беспилотных воздушных судов роботизированной оптико-электронной системой/ В.А. Смолин, И.В. Якименко, Д.С. Рассказа // ГрафиКон 2022: 32-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, Россия, с. 548–558.
9. Optical Information Support for Artifact Detection robotic system on a complex background/ I.V. Yakimenko, Yu.I. Yakimenko, V.I. Bobkov, V.A. Smolin, I.V. // Proceedings of International Symposium «Atmospheric Radiation and Dynamics» (ISARD-2023). Saint-Petersburg State University, 2023. pp. 80–82.
10. Якименко Ю.И., Бобков В.И., Якименко И.В., Метод обнаружения артефактов на сложном фоне оптико-электронной системой // Фотоника, 2023. №4.

*С.В. Дроздецкий, к. т. н., доц.; Т.В. Трояновская, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДСВЕТКИ СТУПЕНЕЙ ЛЕСТНИЦЫ

Любая лестница представляет собой комфортный человеку переход между участками разной высоты. Вне зависимости от местонахождения лестницы (улица, частный или многоквартирный дом) необходимо обеспечить безопасность использования такого перехода. Это комплексная проблема, решаемая эргономическими (корректные расчеты высоты и длины ступеней под ногу пользователя, наличие перил, особых нескользящих покрытий ступеней) и техническими методами. В условиях недостаточной освещенности необходимой

частью обеспечения возможности безопасной эксплуатации лестничного пролёта становится система подсветки лестницы.

Подсветка должна обеспечивать достаточный уровень освещенности, быть приятной глазу, экономичной и как можно более автоматизированной для обеспечения наибольшей автономности. Пример подходящего под данные требования расположения светильников, интегрированных в лестницу, приведен на рисунке 1.

Наиболее экономичным решением является использование светодиодной ленты.

В рамках проводимой разработки необходимо предусмотреть ряд функций, напрямую обеспечивающих технологические и эргономические показатели устройства для подсветки ступеней лестницы, а именно:

- возможность автоматического включения подсветки при недостаточном уровне освещенности;
- возможность автоматического включения устройства во время заданных пользователем временных интервалов;
- возможность автоматического включения подсветки в случае фиксации движения;
- возможность настройки различных режимов подсветки в зависимости от желания пользователя.

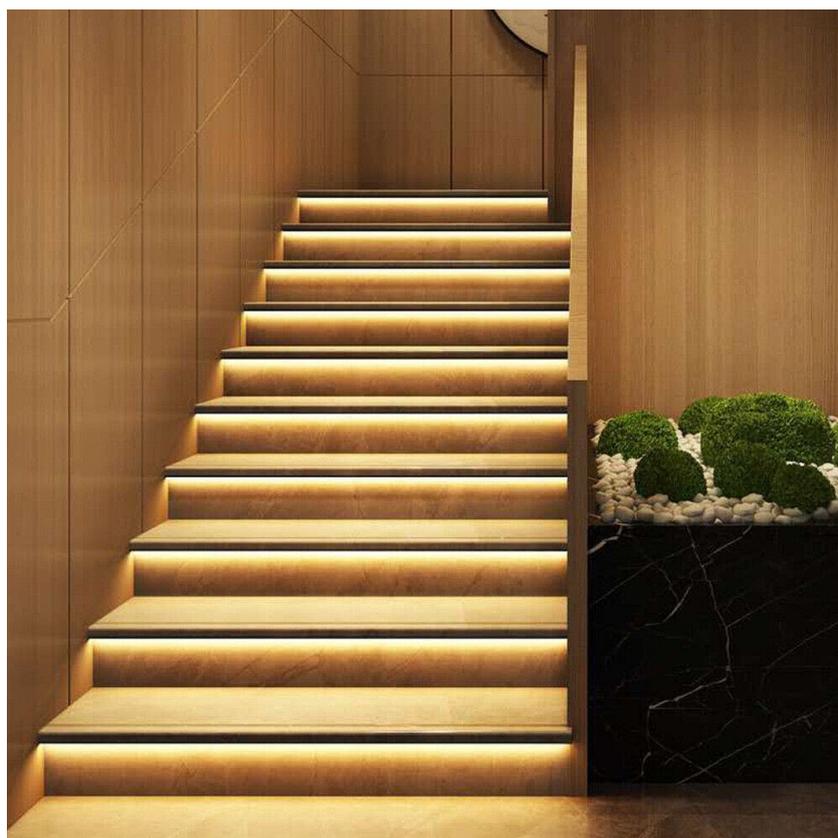


Рисунок 1 – Пример расположения светильников для качественного освещения лестницы

Структурная схема устройства, обеспечивающего указанные функции приведена на рисунке 2.

Благодаря наличию в устройстве микроконтроллера, обеспечивается возможность задания любых пользовательских режимов подсветки. В базовом варианте предполагается 2 режима работы:

- 1) Режим непрерывного освещения.
- 2) Экономичный режим.

Режим непрерывного освещения представляет собой постоянно включенную подсветку и идеально подходит для вечернего времени или утренних часов, когда пользователь ведет активную жизнь, часто пользуясь лестницей, а внешнего освещения недостаточно для безопасной эксплуатации лестницы.

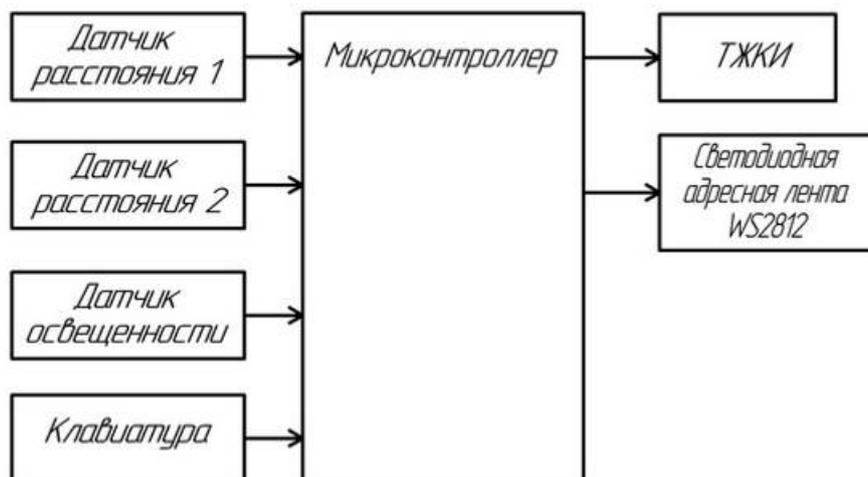


Рисунок 2 – Структурная схема электронного устройства для подсветки ступеней лестницы

Экономичный режим оптимально включать ночью, когда пользователь уже спит, для обеспечения подсветки лестницы лишь в тех редких случаях, когда необходимо воспользоваться лестницей единоразово.

Работает устройство в экономичном режиме следующим образом:

Датчики расстояния 1 и 2 расположены в начале и конце лестницы. Когда пользователь подходит близко к лестнице, датчики подают сигнал микроконтроллеру, выводя тот из энергосберегающего режима. Контроллер анализирует уровень освещенности помещения при помощи специального датчика.

В случае недостаточности освещенности для обеспечения безопасной эксплуатации лестничного пролета микроконтроллер подает команду активации адресной светодиодной ленты *WS2812*, постепенно наращивая уровень освещенности.

Как только данный параметр будет составлять приемлемую величину, произойдет фиксация состояния. Освещение лестницы будет производиться до

того момента, пока на микроконтроллер не придет сигнал со другого датчика расстояния (или повторно с первого), что будет указывать, что пользователь прошел потенциально опасный участок и нет необходимости в дальнейшей подсветке.

Клавиатура необходима для ввода пользовательских настроек, таких как цвет и режим свечения, его интенсивность, время перехода из режима непрерывного освещения в автоматический и обратно, время активности устройства.

Введенные данные и информация о текущем режиме работы устройства выводятся на текстовый жидкокристаллический индикатор для удобства пользователя.

Функциональная схема электронного устройства для подсветки ступеней лестницы приведена на рисунке 3.

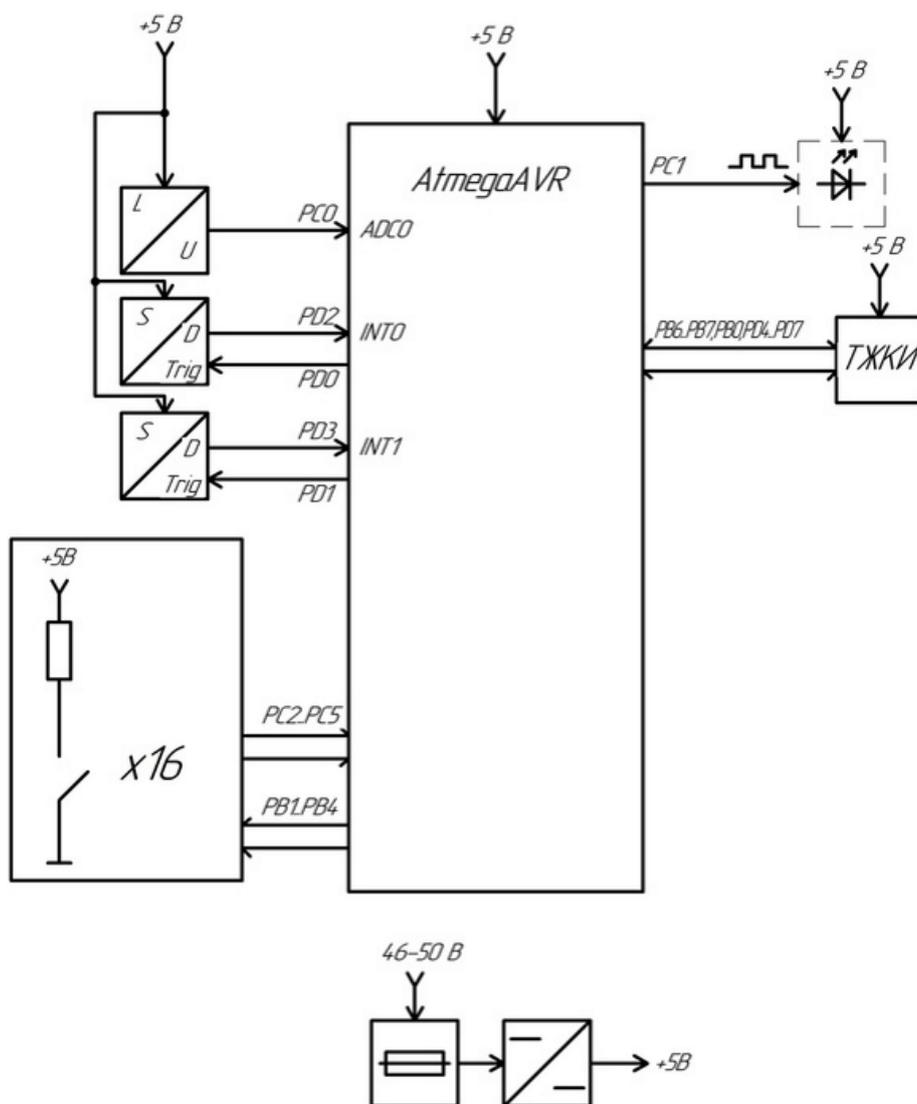


Рисунок 3 – Функциональная схема электронного устройства для подсветки ступеней лестницы

Светодиодная лента *WS2812* обладает возможностью адресного управления, что позволяет зажигать определенные сегменты на ней. Также, являясь *RGB* – лентой, это устройство обеспечивает возможность внесения эстетично-

сти подсветке и впишется в любой дизайн интерьера. Яркость свечения регулируется скважностью широтно-импульсной модуляции.

В качестве клавиатуры предлагается использовать матричный 16-кнопочный модуль, так как его функционал полностью удовлетворяет потребностям разработки.

Исходя из структурной схемы можно выявить ряд необходимых требований к используемому микроконтроллеру:

1. Наличие АЦП;
2. Наличие UART;
3. Наличие таймера в режиме широтно-импульсной модуляции;
4. Наличие таймера в режиме прерываний по фронту/срезу;
5. Наличие большого количества портов GPIO;

АЦП необходим для обработки информации с датчиков освещенности, UART нужен для взаимодействия с текстовым жидкокристаллическим индикатором. Таймера в режиме широтно-импульсной модуляции управляет яркостью светодиодной ленты, таймер в режиме прерываний по фронту/срезу позволяет обработать сигналы с датчиков расстояния. Большое количество портов GPIO позволит осуществить взаимодействие с матричной клавиатурой, светодиодными лентами и текстовым ЖКИ.

Наиболее подходящим микроконтроллером для выполнения описанной задачи выбран МК ATmega328P, так как он обладает всем необходимым для решения поставленной задачи функционалом.

Описанное в статье устройство позволяет с высокой эффективностью производить светодиодную подсветку ступеней лестницы.

Таким образом, предложенная структурная схема и описанный принцип функционирования электронного устройства для подсветки ступеней лестницы позволяет разработать устройство, обеспечивающее необходимую и достаточную эффективную подсветку ступеней лестницы, тем самым повышая безопасность использования лестничного перехода.

Литература.

1. Амелина М.А., Троицкий Ю.В. Программирование микроконтроллеров семейства AVR в устройствах промышленной электроники на языке Си. Лабораторный практикум в 2-х частях по курсу «Основы микропроцессорной техники». Часть 1. Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2015. 56 с.
2. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем.; под ред. А.Г. Алексеенко. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
3. Хоровиц П. Искусство схемотехники 7-ое издание / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ.; под ред. Т.Г. Хохлова. – М.: Мир, 2009. – 704 с.
4. Авдеев, В.А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование / В.А. Авдеев. - М.: ДМК, 2016. - 848 с.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ШУМОВ ЦИФРОВОЙ ФОТОКАМЕРЫ

Важнейшей характеристикой современных фотоаппаратов является шум. Цифровые шумы имеют случайную природу из-за неоднородности фоточувствительной матрицы и других электронных компонентов камеры (в частности, АЦП), отсюда следует, что чем больше значение шума, тем хуже показывается изображение, и шум уменьшает динамический диапазон фотосенсора. Когда сигнал, накопленный в элементе ПЗС, выводится из матрицы, преобразуется в напряжение и усиливается, в каждом элементе появляется дополнительный шум.

Менее заметный случайный шум обычно сложнее удалить, не снизив качество изображения. Компьютерам сложно отличить случайный шум от мелкодетальной текстуры, например, пыли или тумана, так что в попытке удалить случайный шум вы часто придёте к тому, что эти текстуры тоже пропадут.

В настоящее время структурный шум в современных цифровых фотоаппаратах создаёт минимальные проблемы, чем случайный. Минимальное значение структурного шума бывает заметнее на снимках, чем значение случайного шума.

Значения уровня шума меняются не только в зависимости от выдержки и модели камеры, могут происходить изменения в пределах одного изображения. Зависимость яркости от шума показана на рис.1. В цифровых фотокамерах тёмные части изображения содержат больше шума, чем яркие; для плёнки характерно обратное.

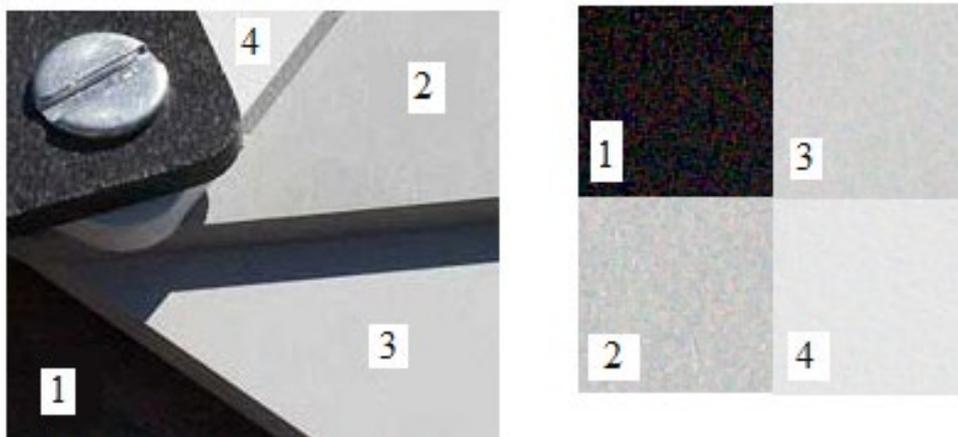


Рисунок 1 – Зависимость шума от яркости изображения: 1 – темная часть; 2,3,4-светлые части

В статье проводится измерение и оценка шума фотокамер Canon EOS 600D и Nikon D3100 [1].

Для экспериментальных исследований была разработана цветовая мишень, включающая образцы цветов RAL, расположенных по кругу на чёрном матовом фоне (рис. 2, а).

Эксперимент проводился в черной фотометрической комнате без цветовых помех. На фотометрической скамье был установлен эталонный источник света

лампа накаливания типа А, с номинальным напряжением 220 В на расстоянии 1,5 м от цветового круга. Фотографическая съёмка проводилась с применением разных значений выдержки и ISO под углом 45° относительно объекта исследования. Чем больше значение ISO, тем увеличивается показатель цифрового шума на снимке (Больше искажений при повышении сигнала). Сейчас фотокамеры чаще всего автоматически выставляют ISO, и в режиме Auto это значение находится в диапазоне 50-150, может быть от 100-400 ISO, для дорогостоящих фотоаппаратов диапазон ISO с приемлемым уровнем цифровых шумов будет больше [2].

За основу определения уровня шумов был принят показатель среднего квадратического отклонения от уровня яркости по красному, зеленому и синему каналом для каждого основного цвета. Определение среднего квадратического отклонения проводилось в программе ImageJ.

Пример работы программы показан рис. 2.

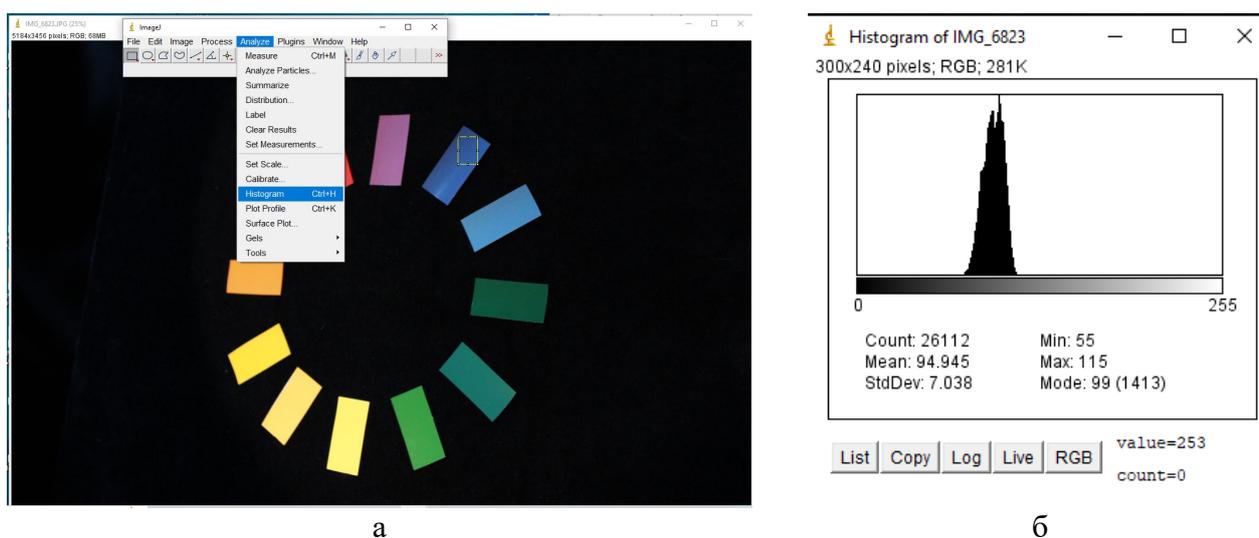


Рисунок 2 – Работа в программе ImageJ: а – загрузка снимка; б – вывод данных

Программа ImageJ может отображать, изменять, анализировать, обрабатывать, сохранять и печатать 8-битные, 16-битные и 32-битные изображения, а также возможно чтение разных форматов изображений, в частности, TIFF, PNG, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS, а также необработанных (англ. raw) данных. В ImageJ можно вычислять площади и статистические показатели пиксельных значений областей изображения, выделяемых вручную или с помощью пороговых функций, менять расстояния и углы, строить гистограммы плотности и рисовать профили линий. ImageJ допускает геометрические преобразования: масштабирование, поворот, отражение и т.д.

Для проводимых исследований в программу загружается фотоснимок, выделяется рабочая область образца синего цвета, затем выбирается функция Analyze, далее Histogram и программа выводит окно с результатами.

Результаты исследований для синего образца с исследуемых фотокамер представлены в табл. 1.

На рис. 3 и рис. 4 представлены графики результатов измерений по табл. 1. По графикам видно, что чем выше ISO, тем выше становятся шумы. У каждой камеры шумы начинают увеличиваться с 400. Причем, по красному каналу шумы практически пропадают. Для камеры Canon EOS 600D среднее отклонение по яркости наиболее интенсивно на 800 и на hi-1. Для камеры Nikon D3100 после 400 среднее отклонение начинает нарастать на всех каналах, кроме красного. Однако если смотреть по абсолютным значениям, то наиболее шумящей является камера Canon, т.к. значения максимальных шумов достигают 15, а у Nikon только – 7.

Таблица 1 – Результат обработки цифровых шумов разных камер для синего образца с выдержкой 1/4 для разных значений ISO

iso	Canon EOS 600D						Nikon D3100					
	100	200	400	800	1600	hi-1	100	200	400	800	1600	hi-1
StdDev												
Общая	1,69	2,1	2,52	2,97	1,49	5,04	0,38	0,66	0,76	2,28	3,04	3,03
R	1,98	1,75	1,55	0	0	0,76	1,07	1,003	1,83	0,09	0	0,34
G	1,58	2,3	2,77	3,24	1,11	0,78	0	0	0,36	3,72	4,45	4,39
B	2,35	3,03	3,89	6,07	3,76	14,35	0	1,15	0,34	4,95	4,97	6,62

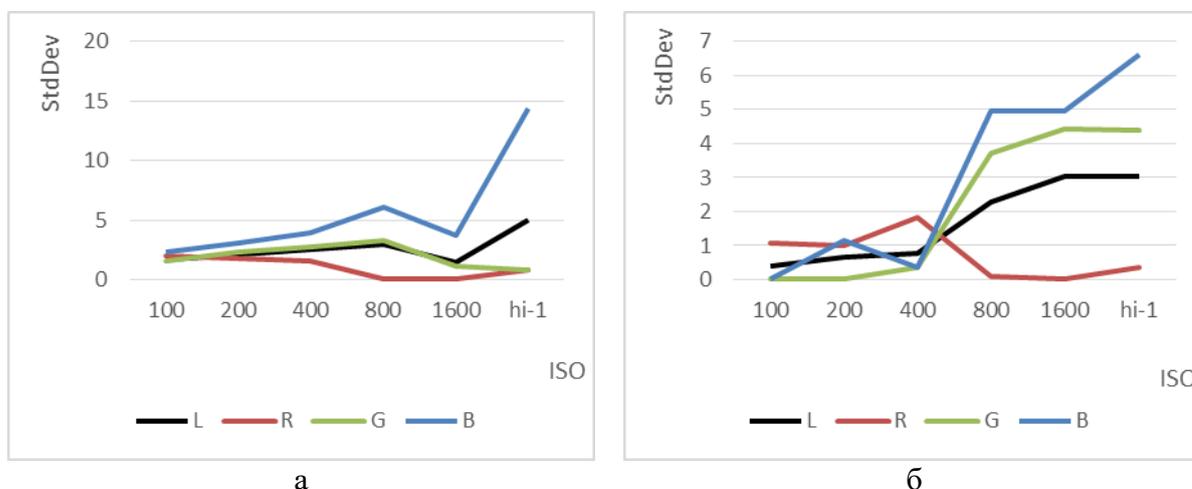


Рисунок 4 – График средних значений шумов для различного уровня ISO: а – для камеры Canon EOS 600D; б – для камеры Nikon D3100

По результатам моих исследований следует отметить, что не всегда отклонения по синему цвету возрастают с отклонениями по зеленому, а отклонения по красному – с отклонениями по зеленому. Хотя именно светофильтры матрицы по зеленому и синему цветам перекрываются спектрально, как и по зеленому и красному. Это может быть связано с математической обработкой фотоснимка в каждой камере.

Литература

1. Dangol, R.; Islam, M. S.; Hyvärinen, M.; Bhusal, P.; Puolakka, M.; Halonen, L., User acceptance studies for LED office lighting: Preference, naturalness and colourfulness. *Lighting Research & Technology* 2015, 47 (1), pp. 36-53.

2. Dugar, A. M.; Agarwal, D., A pilot study assessing short-term chromatic adaptation preferences for correlated colour temperature in India // *Light & Engineering* 2019, 27 (1).

3. Lin Y, Wei M, Smet KAG, Tsukitani A, Bodrogi P, Khanh TQ. Colour preference varies with lighting application // *Lighting Research and Technology* 2015. 49. pp.316-332.
4. Rea MS, Freyssinier JP. Color Rendering: Beyond Pride and Prejudice // *Color Research and Application* 2010; 35:401-409.

*В.Л. Жбанова, доц.; В.Р. Гафуров, студ.; Е.А. Бурькин, студ
(филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕТОДИОДА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИБОРА

Светодиоды (Light Emitting Diodes, LED) стали неотъемлемой частью современной техники и электроники благодаря их характеристикам, таким как высокая эффективность, долговечность и низкое энергопотребление. Они нашли широкое применение в различных областях, включая освещение, дисплеи, сигнальные индикаторы и многие другие приложения. Однако, чтобы обеспечить оптимальную работу светодиодов в различных условиях и задачах, необходимо тщательно изучать их характеристики, включая яркость и чувствительность [1].

Чувствительность светодиодов к внешним факторам, таким как температура, напряжение и текущая нагрузка, может оказать существенное влияние на их производительность и характеристики, особенно спектральные. Исследование спектральных характеристик светодиодов является важным этапом в понимании их работы и оптимизации для конкретных приложений [2-4].

В данной работе представлены результаты экспериментов, направленных на исследование спектральной характеристики светодиода на приборе «Флюорат-02-Панорама». Этот прибор обеспечивает точные измерения характеристик светодиодов в широком диапазоне параметров, что делает его отличным инструментом для исследования.

Для исследования использовался «Флюорат-02-Панорама» с программным обеспечением «PanoramaPro». Для калибровки прибора был применен источник света типа А. В фотометрической лаборатории была проведена калибровка прибора, в ходе которого был получен спектр внешнего излучения от источника на спектрофлуориметре в диапазоне длин волн от 380 до 770 нм с интервалом измерения 2 нм при высокой чувствительности. Графическое представление спектра излучения источника представлено на рис. 1, а.

Далее, для каждой длины волны, было выполнено умножение значения интенсивности на соответствующее значение относительной спектральной чувствительности глаза в условиях дневного зрения. Это позволило сформировать скорректированный спектр излучения внешнего источника, как показано на рис. 1, б.

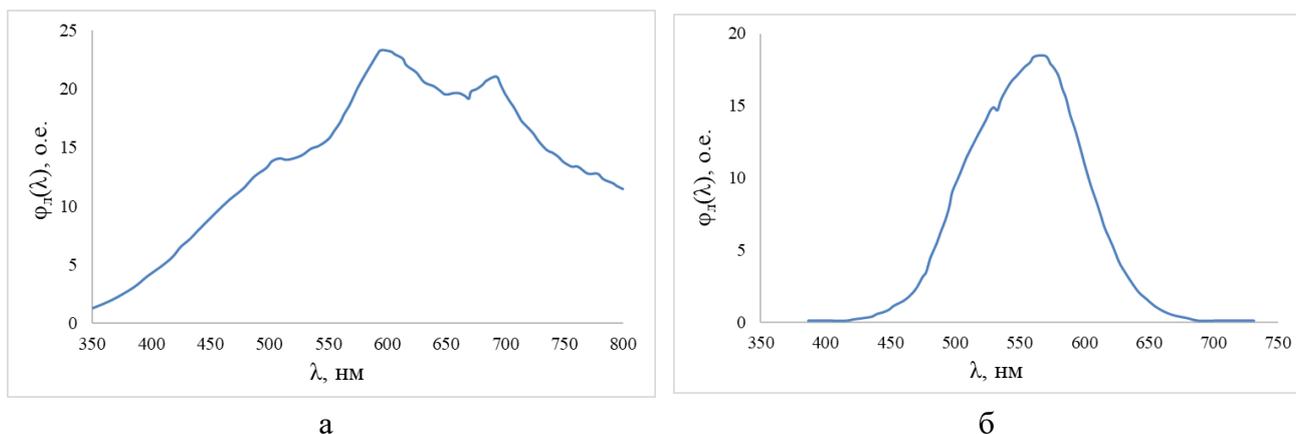


Рисунок 1 – Спектры источников излучения: а) спектр внешнего источника; б) скорректированный спектр внешнего источника

В результате измерения показали высокую точность и разрешение прибора, позволяя анализировать спектры излучения светодиодов в широком диапазоне длин волн.

Для исследования спектральных характеристик светодиодов необходимо:

1. Подготовка образцов светодиодов.
2. Установка светодиодов в определенное положение в приборе "Флюорат-02-Панорама".
3. Измерение спектров излучения светодиодов при различной чувствительности и в разных диапазонах длин волн.

На основе графических данных, представленных на рис. 2, можно сделать вывод о спектральных характеристиках светодиода. Обнаружено два основных пика интенсивности излучения в диапазонах длин волн от 420 до 480 нм и от 490 до 580 нм. Первый из них превышает второй примерно в 3 раза. Максимальная интенсивность излучения достигается при минимальной чувствительности фотоэлектронного умножителя (сверхнизкая 0,04) на длинах волн 450 нм и 530 нм, при этом первый пик в 2,9 раза выше второго. Минимальная интенсивность соответствует самой высокой чувствительности (сверхнизкая 2) на 450 и 540 нм. Это наблюдение подчеркивает наличие двух характерных спектральных компонентов светодиода, соответствующих длинам волн 450 нм и 530 нм, при этом интенсивность излучения на 450 нм превосходит 530 нм в 3 раза, что свидетельствует о яркой и доминирующей компоненте в синей области спектра.

Таким образом, в данном случае светодиод демонстрирует ярко выраженную спектральную особенность: сильную компоненту синего света и относительно слабую компоненту зеленого. Это наблюдение имеет значимость для исследований, которые зависят от колориметрических параметров.

Изменение чувствительности приемника оказывает существенное влияние на его способность регистрировать и усиливать слабые световые сигналы. Чем выше чувствительность приемника, тем более способен он регистрировать даже слабейшие световые сигналы. Поэтому использование более чувствительного приемника позволяет измерить более высокую интенсивность излучения свето-

диода. Однако, следует учитывать, что более чувствительные приемники могут подвергаться воздействию шумов и фоновых сигналов. Высокочувствительные приемники могут воспринимать случайные световые флуктуации как сигналы, что может привести к увеличению уровня шума. Поэтому при использовании более чувствительного приемника важно контролировать уровень шума для обеспечения точных измерений.

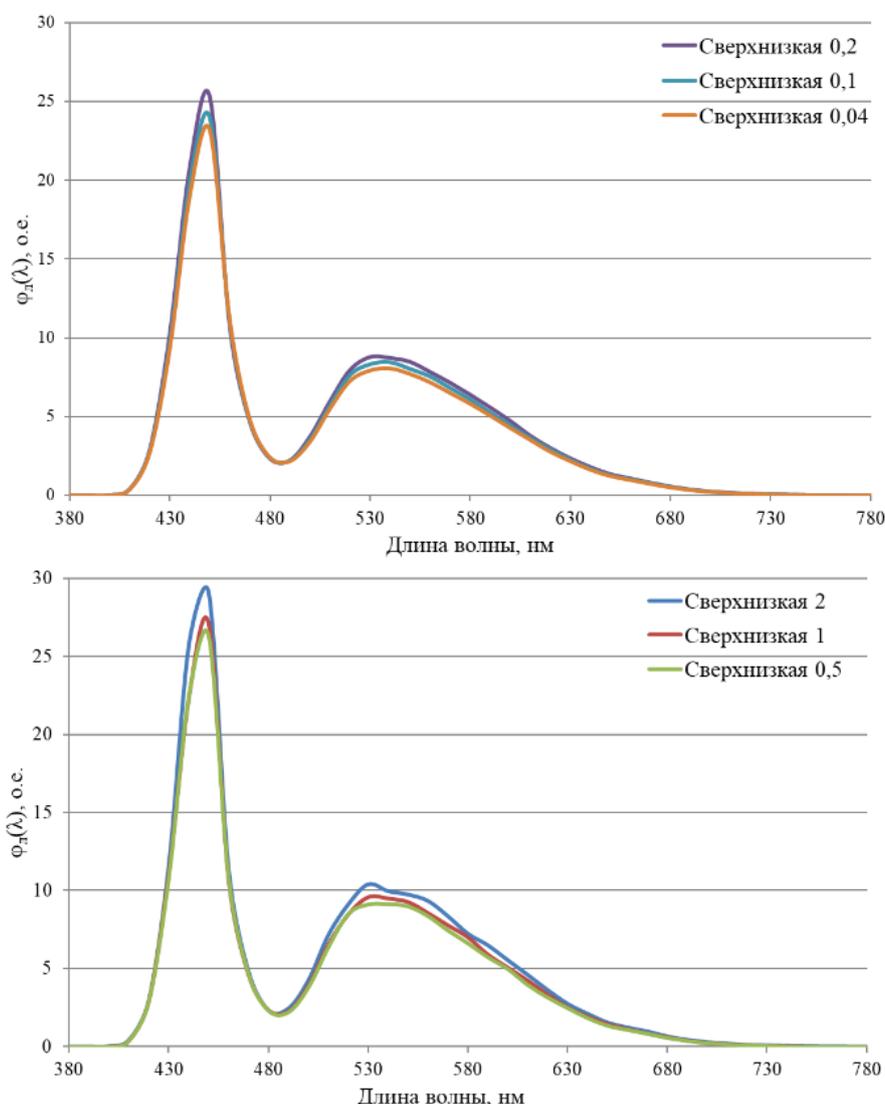


Рисунок 2 – Спектр излучения светодиода при различной чувствительности

Знание спектральных характеристик светодиода и различий в интенсивности его излучения на разных длинах волн пригодно для проектирования осветительных систем и дисплеев, где цветопередача и яркость играют ключевую роль. Также точное знание спектральных характеристик источника излучения необходимо при колориметрических измерениях в оптико-электронных приборах и системах.

Работа была выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям.

Литература:

1. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Оптика. Квантовая физика. 11 кл.: Учеб. для углубленного изучения физики. 2-е изд., стереотип. М.: Дрофа, 2002.
2. Мешков, В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники: Учеб. пособие для вузов: В 2-х ч. Ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 432 с.3. 17.
3. Афанасьев В.А. Оптические измерения. Издание 3-е, переработанное и дополненное. М.: Высшая школа. 1981.
4. Иванов, В.С. Основы оптико-электронных измерений в фотонике: учеб. пособие / В.С. Иванов. – Москва: Логос, 2004. – 496 с.

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

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ШУМОВ МАТРИЧНЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ СОВРЕМЕННЫХ СМАРТФОНОВ

В последние десятилетия мобильные телефоны стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Проводимые исследования выявили [1], что интеграция матричных фотоприемников в мобильные устройства с их выдающимися возможностями в области мобильности и телекоммуникаций изменила наше общественное восприятие и образ жизни.

Важно отметить, что камеры в смартфонах значительно превзошли профессиональные цифровые однообъективные зеркальные камеры во многих аспектах. Особенно актуальным стало использование мобильных устройств в новых технологиях мобильного зондирования, охватывающих области, такие как колориметрия, медицинская диагностика, контроль качества продуктов питания и мониторинг окружающей среды.

Типичные системы измерения в настоящее время часто включают камеру смартфонов в сочетании с внешними устройствами. Однако для успешного применения таких систем необходимо глубокое понимание спектральной чувствительности фотоприемника, что имеет критическое значение во многих областях, включая науку и технологию обработки изображений, компьютерное зрение, медицинскую визуализацию и приложения. И шум представляет одну из наиболее актуальных проблем, поскольку его наличие в полезном сигнале существенно влияет на точность передачи информации о цвете и яркости. Поэтому на этапе разработки необходимо учитывать шумовую составляющую, применяя различные методы [2-4].

В работе [5] был представлен анализ шумов спектральной характеристики матричного фотоприемника с использованием спектрального метода. Этот метод основан на распределении граничных значений кривых для каждого цвета в спектральном диапазоне. Распределение значений проводилось в контексте спектральных диапазонов, соответствующих цветам (красный от 580 до 720 нм, зеленый от 520 до 580 нм, синий от 580 до 720 нм). В данном исследовании метод спектрального анализа был применен для изучения шумов матричных фотоприемников в следующих мобильных устройствах: *Huawei P10 Lite*, *Samsung Galaxy S5* и *iPhone 8*.

На рис. 1 представлены спектральные характеристики рассматриваемых моделей смартфонов. Эти характеристики имеют в основном широкий охват спектра каждого

диапазона, местами несимметричные кривые, что может привести к «грязным» цветам в цифровых изображениях.

В табл. 1 представлены результаты исследования мобильного устройства *iPhone 8*. Диапазон красного канала в интервале 580-720 нм составляет 48,81% от общей площади, при этом шум составляет 12,7%, и наибольший процент шума приходится на зеленый канал (6,4%). В зеленом канале, охватывающем диапазон 520-580 нм, общая площадь составляет 99,99, а шум составляет 46,4%, особенно в диапазоне синего цвета (31%). Процентное соотношение шума к общей площади по синему каналу для 400-520 нм составляет 56,55%, при этом 14% приходится на шум синего канала, а 9,3% на шум зеленого канала.

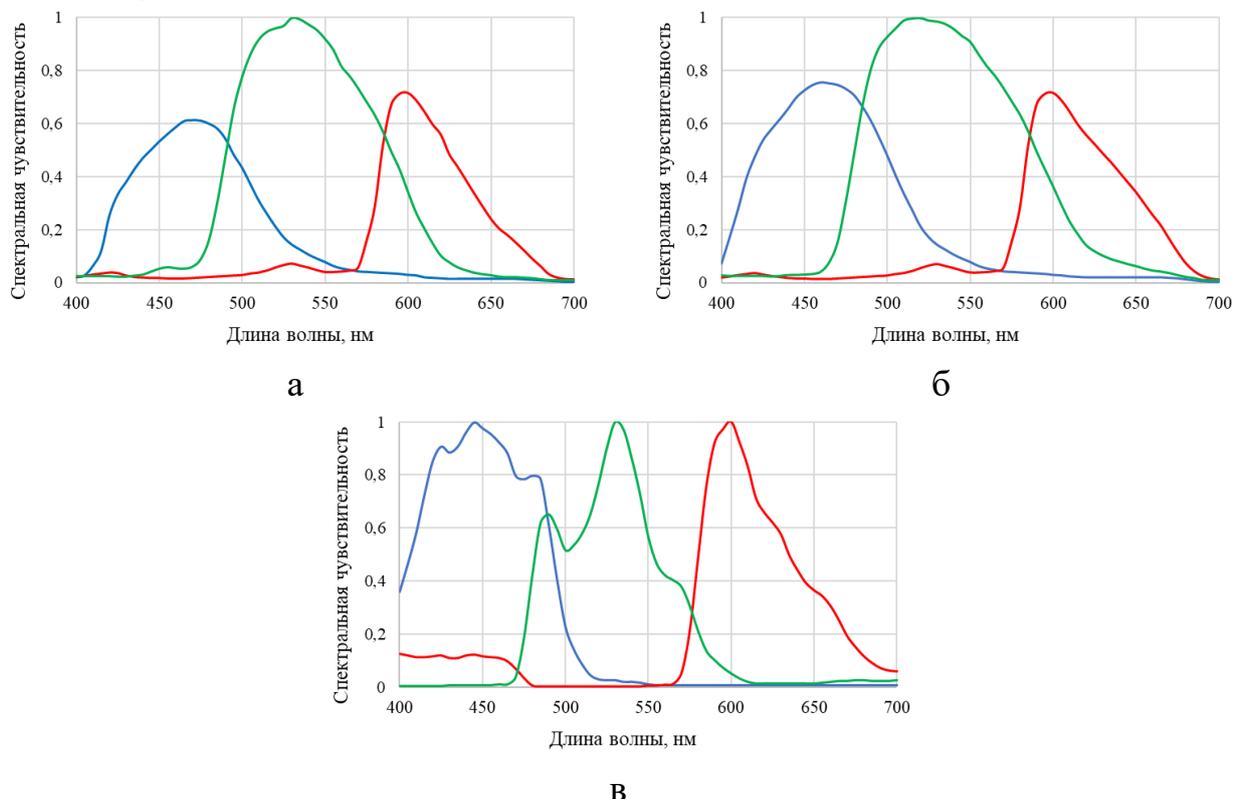


Рисунок 1 – Спектральные характеристики матричных фотоприемников смартфонов: а) *iPhone 8*; б) *Huawei P10 Lite*; в) *Samsung Galaxy S5*

Таблица 1 – Результаты исследования *iPhone 8*

Деление по спектральным диапазонам цветов										
Цвет	$\Sigma_{\text{общая}}$	Область, нм	$\Sigma_{\text{полезный}}$	Шум δ			$\Sigma \delta$	%		
				R	G	B		R	G	B
R	48,81	580-720	41,43	-	3,14	3,08	6,22	-	6,4	6,3
G	99,99	520-580	49,25	16,42	-	30,98	47,40	16,4	-	31,0
B	56,55	400-520	48,94	2,12	5,27	-	7,39	3,7	9,3	-

Исходя из полученных данных, можно заключить, что шум занимает значительную часть общей площади спектральных каналов, при этом отсутствует превышение полезного сигнала. Наивысший процент шума отмечается в зеленом канале (46,4%), в то время как наименьший относится к красному каналу (12,7%).

Таблица 2 – Результаты исследования *Huawei P10 Lite*

Деление по спектральным диапазонам цветов										
Цвет	$\Sigma_{общая}$	Область, нм	$\Sigma_{полезный}$	Шум δ			$\Sigma\delta$	%		
				R	G	B		R	G	B
R	52,69	580-720	45,30	-	3,14	3,07	6,21	-	6,0	5,8
G	111,59	520-580	48,90	18,93	-	40,42	59,36	17,0	-	36,2
B	73,27	400-520	65,27	2,51	5,27	-	7,78	3,4	7,2	-

По результатам анализа шума фотоприемника смартфона *Huawei P10 Lite* (табл. 2), могут быть сделаны следующие выводы: в красном канале с общей площадью 52,69, полезный сигнал составляет 45,3%, в то время как на шум приходится 6% на зеленый и 5,8% на синий каналы от общей площади. В зеленом с площадью 111,59, значение шума в красном диапазоне составляет 18,93, а в синем – 40,42, что составляет 53,2% от общей площади. Самое низкое значение шума было обнаружено в синем канале, площадь которого составляет 73,27, с полезным сигналом 65,27, где на шум приходится 10,6%. Эти результаты подчеркивают наличие различий уровня шума в разных цветовых каналах смартфона *Huawei P10 Lite*. Важно отметить, что синий диапазон имеет самое низкое значение шума, в то время как зеленый и красный имеют более высокую шумовую составляющую.

Из данных в табл. 3, где представлены исследования для камеры *Samsung Galaxy S5*, видно, что в области зеленого цвета наибольший процент шума составляет 44,6%. В красном диапазоне общий шум составил 13,7%, и здесь шум синего канала (12,2%) превышает шум зеленого канала (1,5%). В синем диапазоне общий шум составляет 1,9%, при этом шум красного канала составляет 0,9%, а шум зеленого канала – 1,0%.

Таблица 3 – Результаты исследования *Samsung Galaxy S5*

Деление по спектральным диапазонам цветов										
Цвет	$\Sigma_{общая}$	Область, нм	$\Sigma_{полезный}$	Шум δ			$\Sigma\delta$	%		
				R	G	B		R	G	B
R	68,80	580-720	57,29	-	1,06	8,39	9,45	-	1,5	12,2
G	67,79	520-580	36,16	3,99	-	26,23	30,23	5,9	-	38,7
B	80,88	400-520	79,32	0,72	0,78	-	1,50	0,9	1,0	-

Полученные результаты свидетельствуют о характерных особенностях шумовой составляющей в разных цветовых диапазонах камеры *Samsung Galaxy S5*. Особенно важно отметить, что в зеленом диапазоне обнаружено наибольшее значение шума.

Эти показатели подчеркивают различия в уровнях шума в разных цветовых каналах смартфонов *iPhone 8*, *Huawei P10 Lite* и *Samsung Galaxy S5*. Важно отметить: наибольшее значение шума обычно связано с зеленым каналом, и это может иметь ключевое значение при коррекции и оптимизации цифровых изображений для улучшения информации о цвете и яркости. Полученные показатели могут быть полезны при выборе смартфона в качестве устройства регистрации цветных изображений в научных исследованиях, особенно колориметрических.

Работа была выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям.

Литература:

1. Statista. Number of Smartphone Subscriptions Worldwide from 2016 to 2026. Available online: <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide> (дата обращения: 25 сентября 2023).
2. Федосеев В.И. Шумовые параметры матричных фотоприемников // Оптический журнал. 2012. № 6. с. 59-66.
3. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники: учеб. пособие для вузов в 2-х ч. Ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 1989. 432 с.
4. Harold F. Langworthy. Color sensor using dichroic mirrors to displace components. U.S.Patent 4654698. 1987.
5. Гафуров В.Р. Анализ возможных шумов фотоприемника // XXI Международная научно-техническая конференция «Новые технологии в учебном процессе и производстве». Рязань, 2023. 12 – 14 апреля 2023 г. в Рязанском институте (филиале) Московского политехнического университета. 890 с. 190 - 192.

*В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.; А.О. Дерябина, студ
(Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИ МИКРОСКАНИРОВАНИЯ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ

В настоящее время матрицы являются неотъемлемой частью оптико-электронных приборов, систем и комплексов, а их качество, техническое совершенство и пороговые параметры являются показателями качества. Для матрицы наиболее важными показателями являются: чувствительность, размер, разрешающая способность и качественное исполнение отдельных компонентов матрицы.

Главное преимущество матриц заключается в моментальности получения полного кадра, в отличие от сканирующих оптических систем. Конечно же, существуют и некоторые недостатки. Ячейки располагаются в плоскости матрицы на некотором расстоянии друг от друга, в котором находится обвязка пикселей. При попадании точечного объекта на участок, где располагается обвязка, он может быть вовсе не зарегистрирован, что, в свою очередь, приводит к понижению разрешения изображения. Даже при увеличении площади светочувствительной ячейки данный недостаток не получается полностью устранить. Для решения такой проблемы без модификации устройства самой матрицы было предложено использование при съемке вспомогательных устройств с микро-сканированием [2].

При применении технологии микросканирования, фотоприемная матрица производит съемку одного изображения в минимум четырех различных положениях при однократном проходе траектории. Следовательно, мы получаем четыре проекции для одного изображения. При этом данные пикселей накладываются друг на друга, усиливая цвета и получая намного большее их количество.

Частым способом смещения матрицы в устройствах является плоскопараллельная пластина, которая приводится в движение с помощью электродвигателем или пьезоэлементом. К сожалению, такая конструкция слишком громоздкая для внедрения технологии в область медицины, где при микрокопировании разрешающая способность тоже немаловажна, но вполне пригодна для аэрофотосъемки и картографии. С развитием микроэлектроники появляется все больше способов уменьшения габаритов устройств микросканирования, но к сожалению, пока что этого недостаточно для более массового использования. На рис. 1 показан вариант исполнения механизма смещения фотоприемного устройства.



Рисунок 1 – Устройство микросканирования УМС-1 [1]

Механизм работы микросканера заключается в следующем: для начала определяется количество кругов сканирования, которые будет проходить матрица. Их не должно быть слишком много, т.к. это может привести к появлению большого количества шумов и переизбытку данных. Затем выбирается шаг микросканирования, на который будет сдвигаться матрица например, равный целому числу p . Таким образом, размер шага микросканирования по горизонтали и вертикали составляет $1/p$ от размера одного пикселя матрицы. Матрица посредством пьезотолкателей проходит по заданной траектории, в результате чего получается несколько проекций изображения. Затем эти проекции объединяются в соответствии с положением сканирования для построения изображения [3]. Как ранее упоминалось, в результате нескольких повторных прохождений траекторий получается изображение с переизбытком цветов, что делает их некорректными. Для решения данной проблемы предлагается проведение последующей интерполяции изображения.

Существуют разные траектории сдвига матрицы, например, вертикальное, диагональное, горизонтальное. На рис. 2 приведены фазы сдвига матрицы при микросканировании на различные шаги, которые подбираются в процессе обработки.

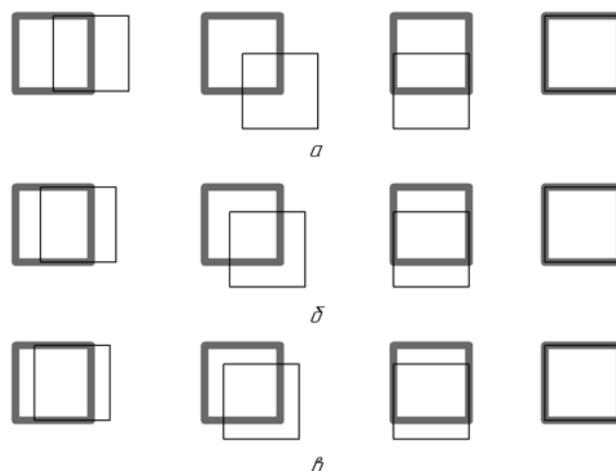


Рисунок 2 – Фазы сдвига матрицы: а – сдвиг на 1/2 пикселя; б – сдвиг на 1/3 пикселя; в – сдвиг на 1/4

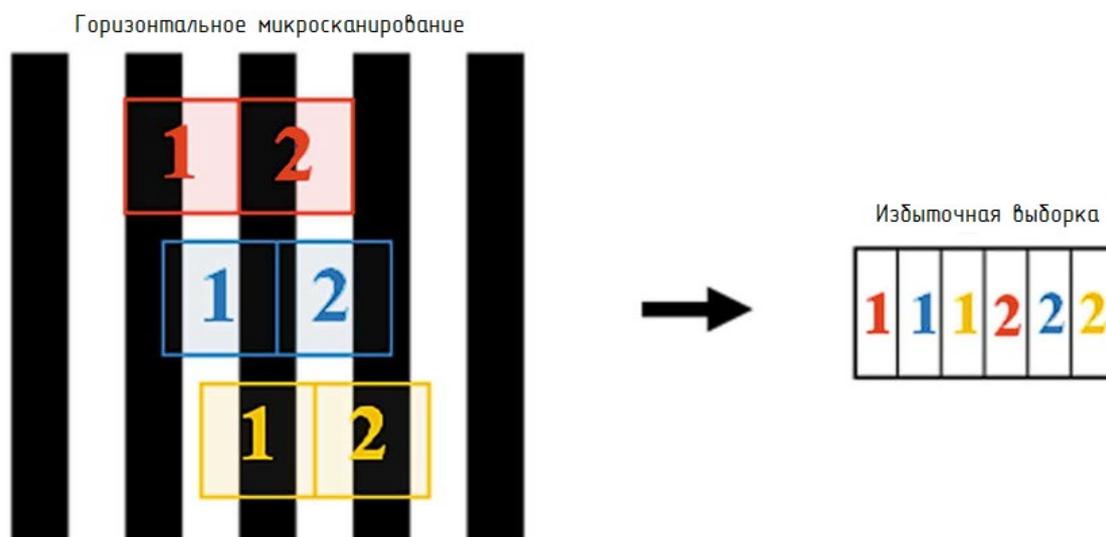


Рисунок 3 – Избыточная выборка при вертикальном микросканировании [3]

Стоит отметить, что вертикальная траектория является особым случаем (рис. 3), когда из-за сильной разницы в интенсивности между соседними пикселями происходит преобладание одного цвета [3]. Например, когда в большей степени начинают преобладать зелёные субпиксели, все изображение приобретает зеленоватый оттенок.

На сегодняшний день уже существуют устройства в которых нашла свое применение теория метода микросканирования.

Тепловизионная камера с микросканированием ВИКТОРИЯ-ЗРДМ является одной из последних отечественных разработок. Она предназначена для наблюдения при неблагоприятных погодных условиях, а именно в дождливую и снежную погоду. В ее состав входит устройство микросканирования УМС-1 (рис. 1). Его работа заключается в получении изображения большого формата с помощью матрицы, которая способна регистрировать изображение меньшего формата.

Конструкция устройства представляет собой электродвигатель и ротор, на который установлена плоскопараллельная пластина (диск). На двигатель подается напряжение, значение которого определяет частоту вращения диска [4]. Достоинствами устройства являются относительно низкая стоимость реализации, простота и возможность юстировки в процессе использования.

Микросканер, в котором проекция изображения смещается на плоскости матрицы фотоприемного устройства (рис. 4), основан на сдвиге оптического компонента при помощи электромагнитным приводом. Отличие данного прибора заключается в том, что фиксирование сцен при микросканировании производится путем перемещения оптического компонента системы, а не матрицы, как в предыдущих случаях.

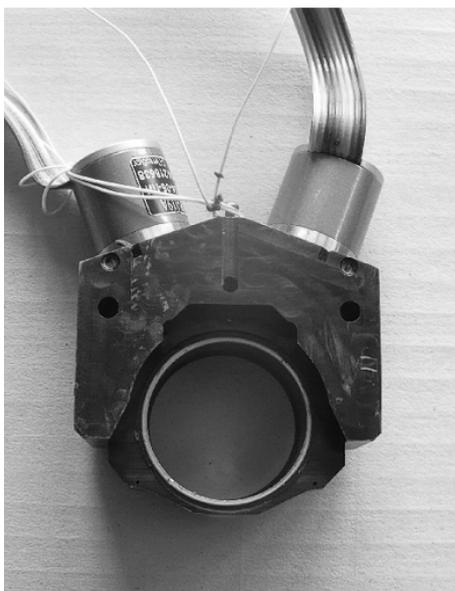


Рисунок 4 – Микросканер на основе смещения оптического компонента с электромагнитным приводом [5].

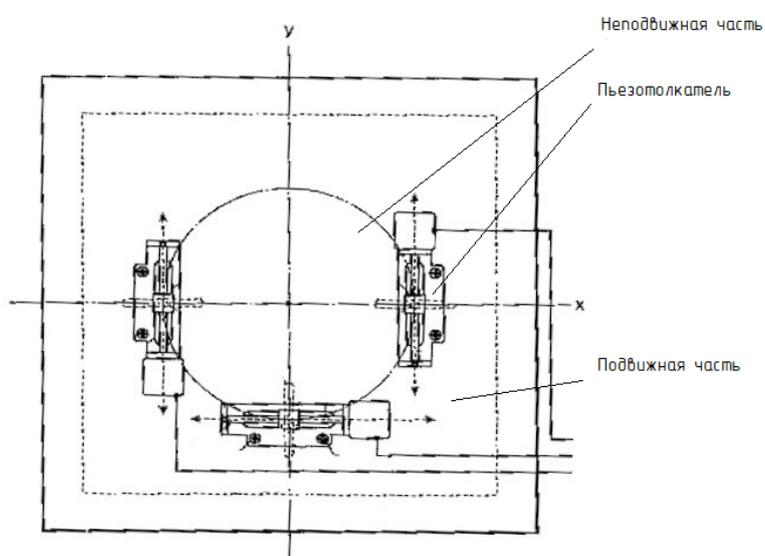


Рисунок 5 – Устройство системы стабилизации матрицы [6]

В дополнение к уже существующим устройствам можно предложить использование системы стабилизации матрицы, состоящей из неподвижной части, на которой закреплены пьезотолкатели, и подвижной, позволяющей сдвигать матрицу (Рис. 5).

В данном варианте механизма предполагается использование трех и более приводных устройств которые в свою очередь имеют собственную траекторию. Смещение производится по осям, осуществляется линейно и относительно центра матрицы. При правильном задании траектории каждого из пьезотолкателей матрица будет способна двигаться не только вертикально и горизонтально, но и по окружности, что может позволить проводить микросканирование с более интересными фазами сдвигов. Предположительно, применение подобной системы может способствовать созданию более компактных микросканеров и дальнейшими широкому применению их в микроскопических и тепловизионных системах, а также в фотоаппаратах.

Литература

1. Новосибирский Филиал ИНСТИТУТА ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ СО РАН: [Электронный ресурс] URL: https://ktipm.isp.nsc.ru/product/ustroystvo_microskanir
2. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Некоторые пути совершенствования тепловизионных систем // Специальная техника. 2004. № 2.
3. Plouraboue F, Cloetens P, Fonta C, Steyer A, Lauwers F, Marc-Vergnes JP. X-ray high-resolution vascular network imaging. // J Microsc. 2004.
4. Кремис И. И., Гладков Р. А. Устройства микросканирования для тепловизоров диапазона 8–12 мкм на основе вращающихся пластин из Ge // Успехи прикладной физики. 2019 Т. 7 № 4.
5. Кремис И.И., Моисеев В. А., Шатунов К. П. Системы микросканирования для тепловизоров третьего поколения // Успехи прикладной физики, 2017, том 5, № 2
6. U.S. Patent 2006133786 A1 Teramoto Tougo. Driving mechanism, driving system, anti-shake unit, and image sensing apparatus. Jun. 22, 2006.

*В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.; А.О. Дерябина, студ.
(Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЕЙШИХ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ СОВМЕСТНО С ТЕХНОЛОГИЕЙ МИКРОСКАНИРОВАНИЯ

Интерполяцией изображения называется процесс увеличения разрешения цифрового изображения без потери качества. При этом предполагается, что интерполяционные пиксели добавляются между исходными, а новые значения этих пикселей вычисляются по уже имеющимся данным.

После применении технологии микросканирования, изображение имеет достаточную или избыточную выборку, что может упростить последующее улучшение его разрешения.

Существует несколько методов интерполяции изображений, включая билинейную, бикубическую и сплайновую интерполяции. Выбор метода зависит от требуемого качества результата и характеристик исходного изображения. К

сожалению, большинство методов являются достаточно вычислительно трудоемкими, и для решения задачи по упрощению интерполяции изображения предлагается ее совмещение с технологией микросканирования.

Существует методика интерполяции по соседним пикселям (рис. 1), представленная в 2009 году. Ее суть заключается в вычислении значений интерполяционных пикселей, располагающихся по горизонтали и вертикали, рассчитывается по известным значениям двух окружающих пикселей. Вычисление производится с использованием среднего значения верхнего и левого интерполяционных пикселей [1].

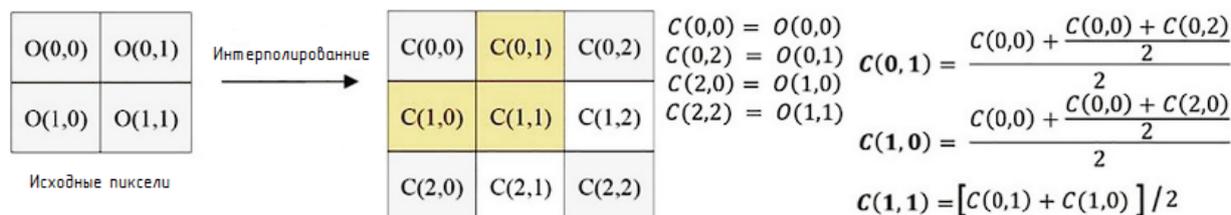


Рисунок 1 – Пример интерполяции по соседним пикселям [1]

Данная экспериментальная методика показывает более высокое качество проводимой интерполяции, а также улучшенную встраиваемость, благодаря сокращению максимального количества исходных пикселей до четырех.

В 2013 была предложена методика, в которой значения горизонтальных и вертикальных пикселей вычисляется аналогично предыдущему методу, главным отличием является вычисление значений диагональных интерполируемых пикселей по средним значениям четырех окружающих [2]. Пример данного усовершенствованного метода интерполяции по среднему значению показан на рис. 2.

Метод позволяет достигать лучшего встраивания, но в отличие от метода интерполяции по соседним пикселям требует большего количества исходных данных.

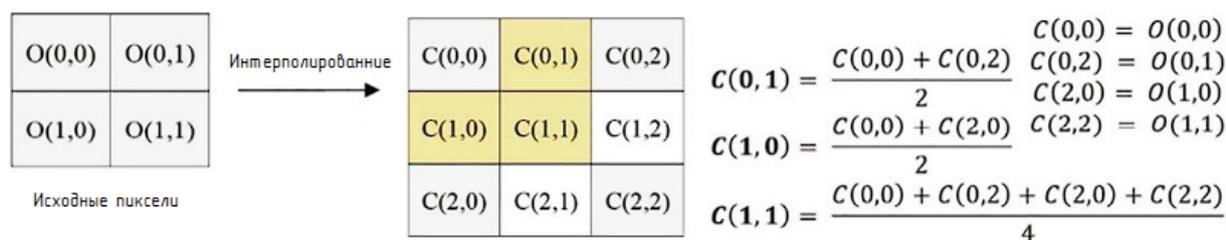


Рисунок 2 – Пример усовершенствованного метода интерполяции по среднему значению [1]

Еще одним улучшенным методом интерполяции среднего соседнего значения является методика Малика (рис. 3). Значения интерполяционных пикселей вычисляются по данным четырех окружающих исходных пикселей, аналогично предыдущему методу. Его отличие в том, что значения интерполируемых

пикселей, расположенных горизонтально или вертикально, производится по данным двух окружающих исходных пикселей и одного интерполированного по диагонали [3].

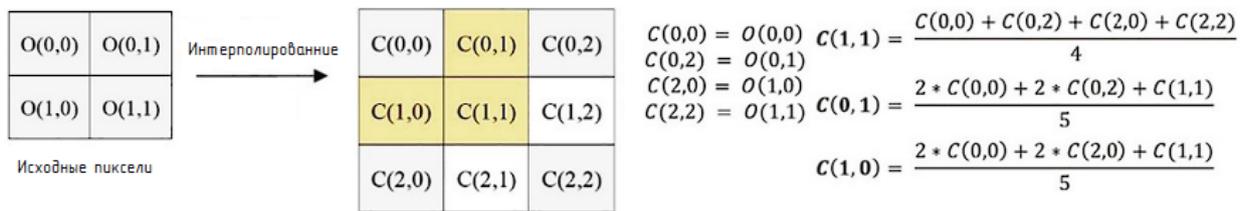


Рисунок 3 – Пример метода интерполяции Малика [1]

Методика интерполяции Малика показывает наибольшую производительность, а также позволяет получать изображение лучшего качества, по сравнению с предыдущими методами.

Еще одним не менее интересным способом является параболическая интерполяция (рис. 4).

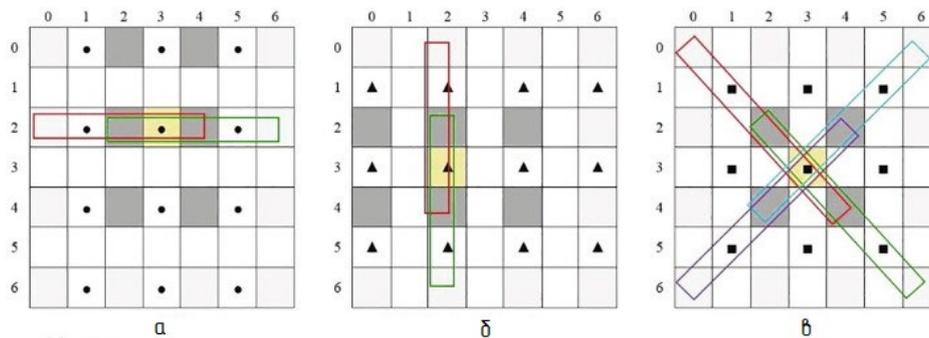


Рисунок 4 – Параболическая интерполяция: а – горизонтальное направление; б – вертикальное направление; в – диагональное направление [1]

Ее использование может быть весьма трудоемким, но в противовес этому значимому недостатку следует выставить способность метода производить интерполяцию лишь по двум пикселям. Исходные пиксели могут располагаться как по вертикали, так и по горизонтали, а также можно использовать комбинацию двух диагональных линий.

В каждом столбце и строке находят неизвестные значения, затем все три метода объединяют для использования и проведения интерполяции блоков размером 5 на 5 пикселей (рис. 5). Встраивание этой модели производится по исходным пикселям.

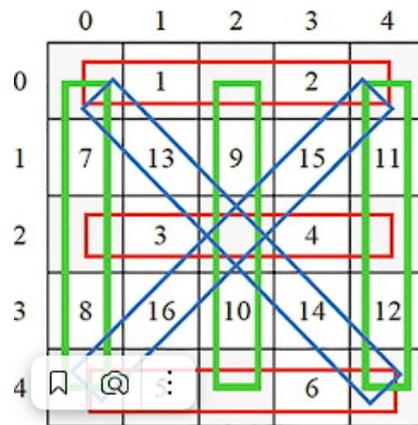


Рисунок 5 – Пример параболической интерполяции для блока размером 5 на 5 пикселя [1]

Параболическая интерполяция может найти применение для улучшения качества изображения с недостаточной выборкой. Изъяном данного метода является его сложное блочное встраивание.

В дальнейшем, для сравнения методик, а также нахождения оптимальных, рассмотренные методы интерполяции будут применены к многослойному матричному фотоприемнику с инфракрасным слоем (рис. 6).

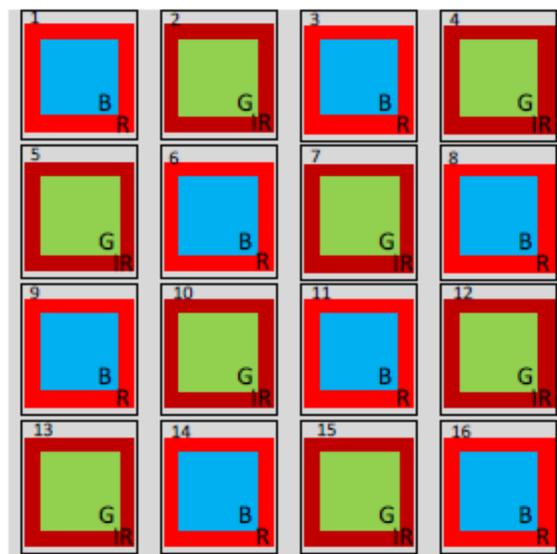


Рисунок 6 – Пример многослойного матричного фотоприемника

Также эти методы будут применены к полученным субпикселям матрицы после проведения микросканирования (рис.7).

Микросканирование является перспективным решением в улучшении качества регистрируемого оптического изображения, позволяющим упростить процесс интерполирования. Разумно использовать более простые способы интерполяции, например, линейную или метод ближайшего соседа, ведь основная идея объединения двух способов повышения качества изображения в том, чтоб облегчить процесс вычисления, но простые методы не всегда дают изображение требуемого качества.

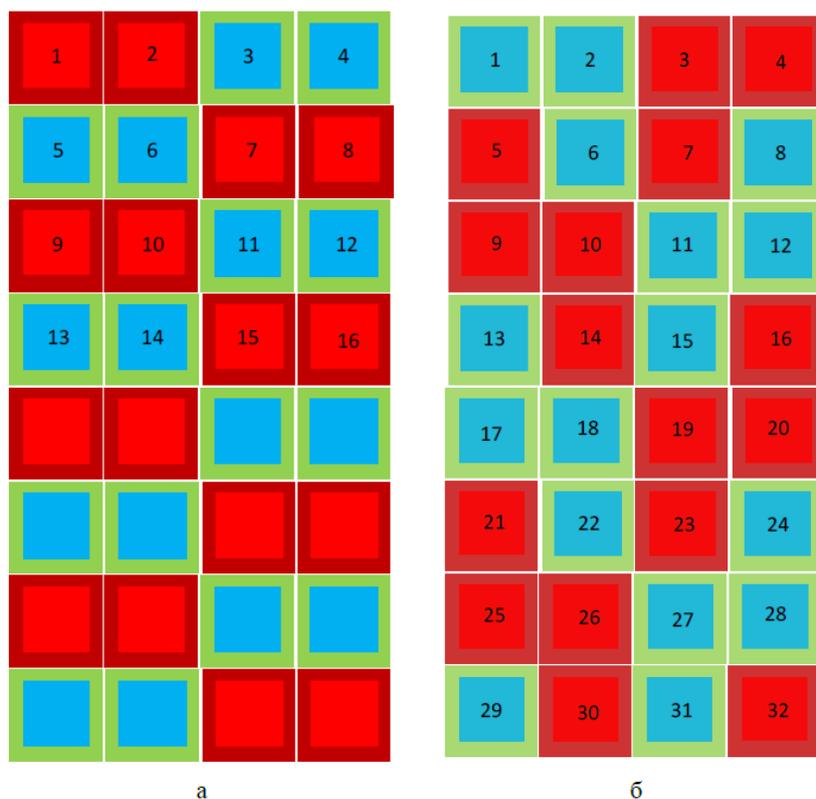


Рисунок 7 – Полученные субпиксели: а – горизонтально; б – вертикально

Усовершенствованный метод интерполяции по среднему значению может использоваться в тех случаях, когда имеется достаточное количество данных, а встраиваемость интерполированных пикселей затруднена. Метод интерполяции Малика является более трудоемким, но в тоже время способствует получению изображения наилучшего качества по сравнению с менее сложными методами, что будет доказано на примере предложенных двухслойных матриц с микро-сканированием.

Литература

7. Hassan F.S., Gutub A. Novel embedding secrecy within images utilizing an improved interpolation-based reversible data hiding scheme. // Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences. Volume 34. Issue 5. 2022.
8. Chang, Y.T., Huang, C.T., Lee, C.F., Wang, S.J. Image interpolating based data hiding in conjunction with pixel-shifting of histogram. // J. Supercomput 66. 2013.
9. Malik, A., Sikka, G., Verma, H.K. // Image interpolation based high capacity reversible data hiding scheme. Multimed. Tools Appl. 76. 2017.

*В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.; Я.В. Корогодова, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ЦВЕТА ЦИФРОВЫМ МИКРОСКОПОМ

Обеспечение точного воспроизведения и записи цветов имеет первостепенное значение для всех систем обработки изображений цифровых микроскопов. Датчик камеры имеет другую спектральную чувствительность, чем чело-

веческий глаз. Кроме того, поскольку спектр света монитора ПК основан на сигнале RGB, он не может воспроизводить тот же спектр, что и физический образец, это приводит к различиям между изображением, отображаемым с камеры микроскопа, и тем, что пользователь фактически видит через микроскоп.

Для изучения стабильности восприятия цвета цифрового микроскопа был выбран USB-микроскоп МИКМЕД LCD со встроенным ЖК-экраном (рис. 1). Данный микроскоп имеет 5-мегапиксельную камеру, которая передает картинку на экран в реальном времени и позволяет вести фото- и видеосъемку. Максимальное увеличение микроскопа составляет 500 крат – этого вполне достаточно для детального изучения микроструктур образцов живой и неживой природы. Работать можно только с непрозрачными образцами, исследования ведутся по методу светлого поля. Подсветка представляет собой 8 светодиодов, которые расположены вокруг объектива и освещают образцы сверху. Яркость подсветки регулируется пользователем.



Рисунок 1 – Цифровой USB-микроскоп МИКМЕД LCD

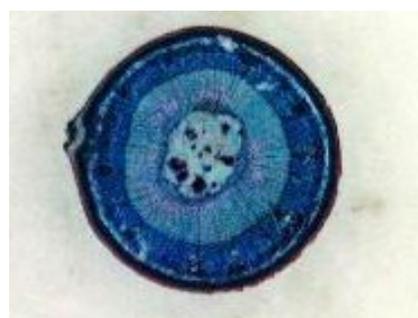
Для изучения цветопередачи микроскопа были выбраны образцы с ярко выраженными цветами: красным, зеленым и синим (рис.2).



а



б



в

Рисунок 2 – Образцы для исследования: а – красный (нематода), б - зеленый (стебель древесный двудольный), в – синий (стебель ксилофита двудольного)

С помощью микроскопа были отсняты три объекта по пять снимков каждого, при одинаковых лабораторных условиях, для отслеживания стабильности регистрации микроскопом различных цветов. Далее, в программе ImageJ, при выделении однородных цветовых областей, были получены зависимости числа пикселей с определенным уровнем цвета от самого уровня цвета (табл. 1 – табл. 6). Диаграммы стабильности чувствительности микроскопа представлены на рис. 3 – рис. 5.

Таблица 1 – Координаты RGB однородной области для образца нематоды

Координата цвета	Значение					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
R	196	200	202	196	202	199,2
G	6	13	13	7	12	10,2
B	21	24	22	20	25	22,4

Таблица 2 – Процент отклонения от среднего значения RGB однородной области для образца нематоды

Координата цвета	Значение, %					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
R	1,61	-0,40	-1,40	1,61	-1,40	1,28
G	41,18	-27,45	-27,45	31,37	-17,65	29,02
B	6,25	-7,14	1,78	10,71	-11,61	7,50

Таблица 3 – Координаты RGB однородной области для образца стебля древесного двудольного

Координата цвета	Значение					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
R	0	0	0	0	0	0
G	167	169	169	170	170	169
B	136	138	141	141	139	139

Таблица 4 – Процент отклонения от среднего значения RGB однородной области для образца стебля древесного двудольного

Координата цвета	Значение, %					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
R	0	0	0	0	0	0
G	1,18	0	0	-0,59	-0,59	0,47
B	2,16	0,72	-1,44	-1,44	0	1,15

Таблица 5 – Координаты RGB однородной области для образца стебля ксилита двудольного

Координата цвета	Значение					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
R	31	19	7	12	11	16
G	61	67	48	60	60	59,2
B	88	82	79	77	80	81,2

Таблица 6 – Процент отклонения от среднего значения RGB однородной области для образца стебля ксилофита двудольного

Координата цвета	Значение, %					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
R	-93,75	-18,75	56,25	25	31,25	45
G	-3,04	-13,18	18,92	-1,35	-1,35	7,57
B	-8,37	-0,99	2,71	5,17	1,48	3,74

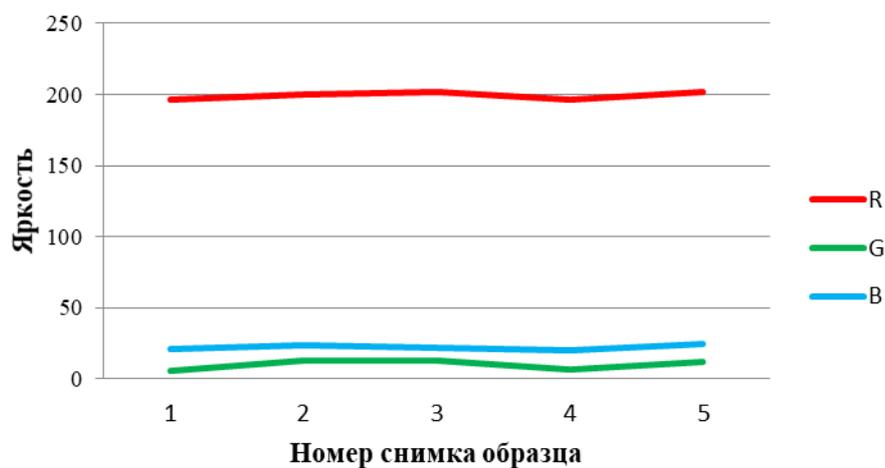


Рисунок 3 – Графики чувствительности RGB для образца нематоды

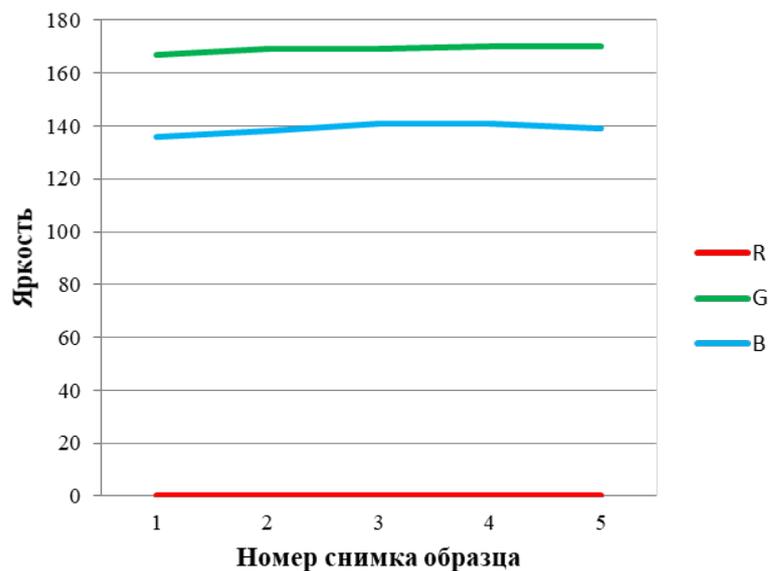


Рисунок 4 – Графики чувствительности микроскопа к красным, зеленым и синим цветам на образце стебля древесного двудольного

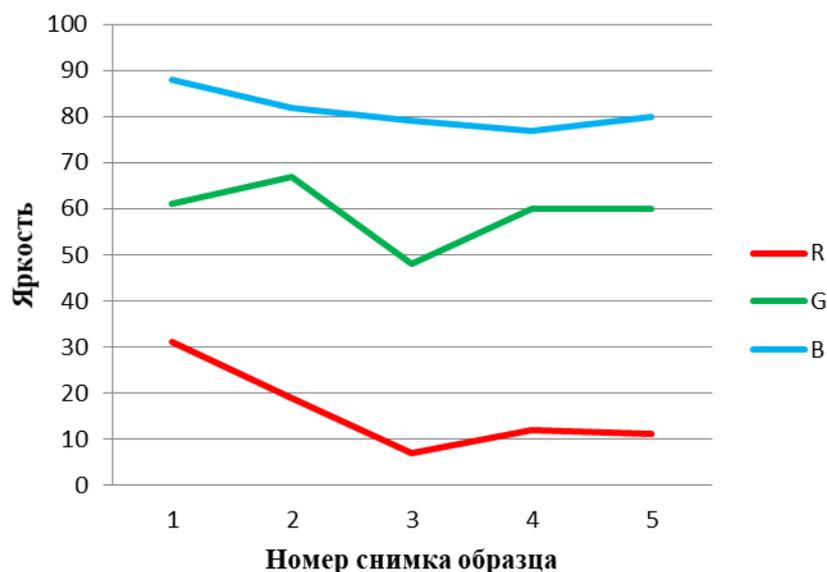


Рисунок 5 – Графики чувствительности микроскопа к красным, зеленым и синим цветам на образце стебля ксилофита двудольного

Из полученных графиков видно, что микроскоп МИКМЕД LCD одинаково стабильно воспроизводит все цвета. Однако, из процентного отклонения от среднего значения, видно, что наименьшим отклонением от среднего значения обладает образец с доминантным синим цветом (стебель ксилофита двудольного), это говорит о том, что микроскоп МИКМЕД LCD наиболее стабильно воспроизводит цвета синих, затем зеленых и потом уже красных образцов.

Литература

1. Shooohana Singh, Thajasvarie Naicker The Shift in Power from Conventional to Digital and Virtual Microscopy. Microscopy Techniques for Biomedical Education and Healthcare Practice, 2023. PP.41-53.
2. Benjamin Midtvedt, Saga Helgadottir, Aykut Argun Quantitative digital microscopy with deep learning. Applied Physics Reviews, 2021.
3. Shuai Pan, Bo Yang, Xinru Xie Image restoration and color fusion of digital microscopes. Applied Optics 58(9), 2019.

*В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.; И.В. Никитин, студ.
(Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАСЧЕТ КОЛЛИМАЦИОННОГО ОБЪЕКТИВА ЛАЗЕРНОГО КАНАЛА СПЕКТРОМЕТРА

Рассматриваемый спектрометр является Раман-спектрометром, т.е. спектр вещества определяется методом комбинационного рассеяния света (КРС). Это рассеяние оптического излучения на молекулах вещества сопровождающееся заметным изменением частоты излучения. В спектре рассеянного излучения появляются спектральные линии, которых нет в спектре первичного света (источника излучения). Число и расположение появившихся линий определяется молекулярным строением вещества, т.е. определяется его спектр.

Система коллимационного объектива предназначена для создания равномерного потока излучения от лазерного источника и с угловой расходимостью,

не превышающей допустимые углы падающего излучения на полосовой фильтр.

Основные требования, в соответствии с которыми проводился расчет осветительного объектива приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные требования

Длина волны лазерного излучения, λ , нм	785
Диаметр источника лазерного излучения, $D_{л}$, мм	0,105
Угловая апертура лазерного излучения, $2\sigma_{л}$, град	25
Размер светового пятна на объекте, $D_{ии}$, мм	от 0,4 до 0,8
Диаметр коллимированного пучка, мм	4

Расчет объектива будет проводиться в ПО Zemax. Вид коллимационного объектива в программе представлен на рис. 1.

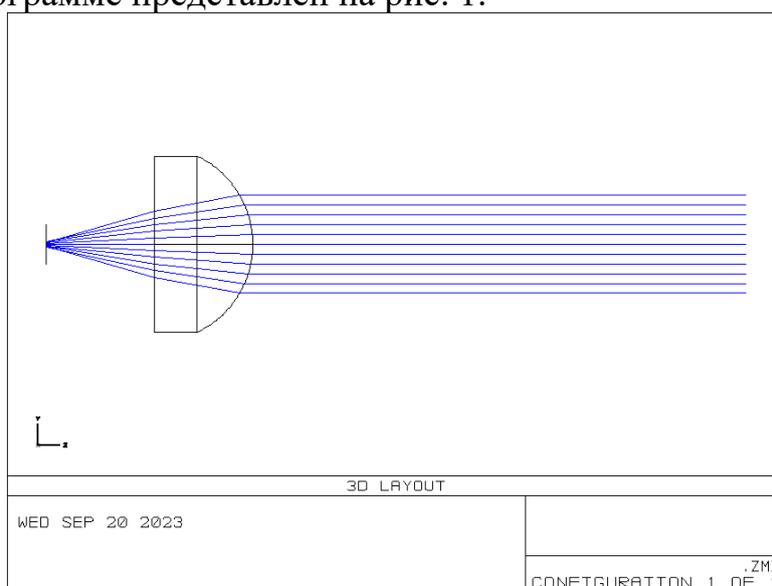


Рисунок 1 – Коллимационный объектив

Так как источник излучения представляет собой монохроматический точечный источник с длиной волны $\lambda = 785$ нм и размером 105 мкм, то для формирования равномерного потока достаточно использовать одну линзу.

В качестве объектива предлагается использовать одну плосковыпуклую линзу, выполненную из оптического материала К8.

Объектив располагается плоской поверхностью к источнику для минимизации сферической аберрации.

Фокусное расстояние рассчитанного объектива составляет 9,8 мм. При таком фокусе, угловой расходимости от лазерного источника 25 град и размере объекта 105 мкм, на выходе получается квазипараллельный пучок диаметром 4 мм с расходимостью на выходе $2\sigma = 0,26$ град.

В качестве оптического материала для изготовления объектива предлагается использовать стекло К8.

В таблице 2 приведены основные конструктивные параметры осветительного объектива лазерного канала.

Таблица 2 – Конструктивные параметры линзы осветительного объектива лазерного канала

Радиус первой поверхности r_1 , мм	infinity
Радиус второй поверхности r_2 , мм	5
Материал линзы	K8
Размер линзы, мм	9
Толщина линзы, мм	5

График пропускания коллимационного объектива лазерного канала приведен на рисунке 2. Пропускание составляет порядка 0,96%.

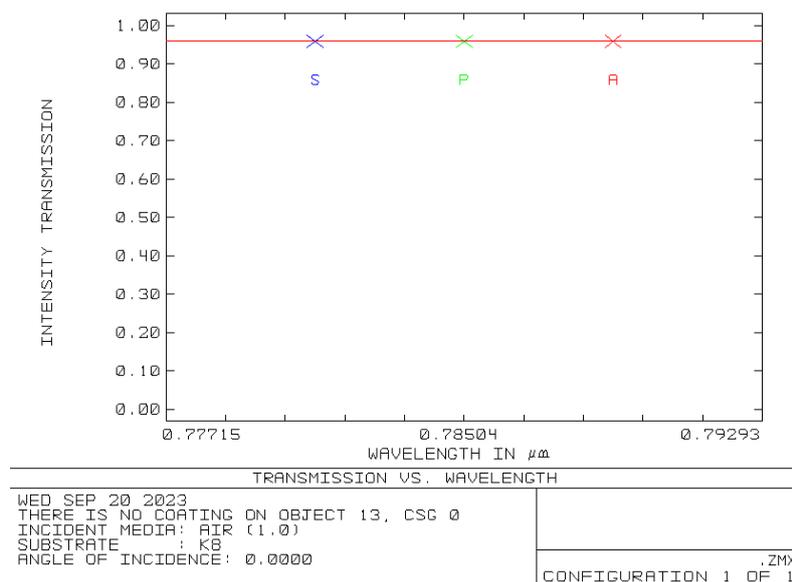


Рисунок 2 – График пропускания коллимационного объектива

На рис. 3 приведена полная система формирования излучения от лазерного источника на исследуемом объекте. Система включает в себя: коллимационную линзу; полосовой фильтр; дихροичное зеркало; осветительный объектив.

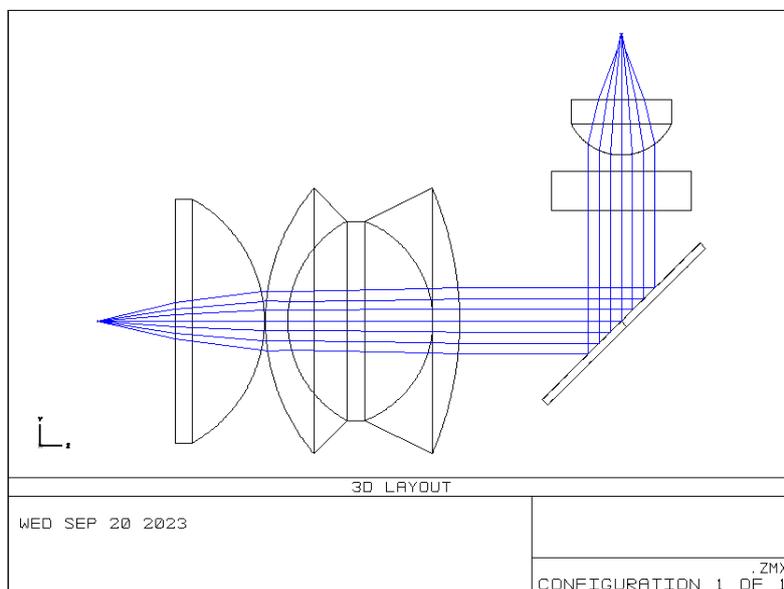


Рисунок 3 – Система подсветки исследуемого объекта

Передний рабочий отрезок коллимационного объектива равняется $S = 6,5$ мм. При таком положении размер области подсветки составляет 0,2 мкм. При дефокусировке положения торца лазерного волокна относительно коллимационной линзы до 5,5 мм область подсветки на исследуемом объекте увеличивается до 0,44 мм. При расстояниях 5 мм или 6 мм диаметр фокусируемого излучения на исследуемом объекте будет равен 0,8 мм.

График пропускания системы подсветки исследуемого объектива представлен на рис. 4

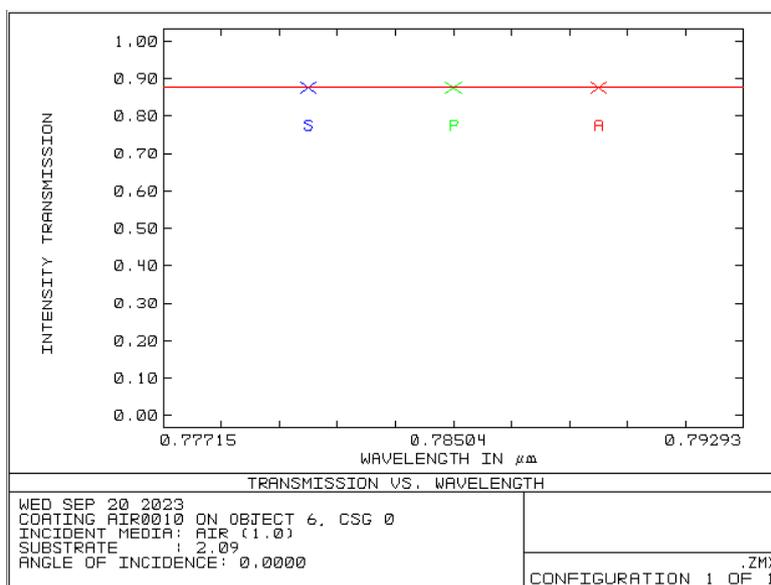


Рисунок 4 – График пропускания система подсветки исследуемого объекта

На рис. 4 приведен график пропускания всей оптической системы подсветки исследуемого объекта лазерным источником при просветлении оптических компонент $\rho = 1\%$. Пропускание системы равняется 0,87%. Исходя из этого графика, можно с уверенностью сказать, что осветительная система спектрометра выдает достаточную светосилу для регистрации КРС.

Представленные расчеты коллимационного объектива лазерного канала спектрометра исследуемого прибора Раман-спектрометра в программе ZEMAX показывают превосходный результат. Поэтому нет необходимости в оптимизации каких-либо параметров или замене линз.

Литература

1. Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.А. Теория оптических систем., М.: Машиностроение, 1992.
2. Запрягаева Л.А., Свешникова И.С. Расчет и проектирование оптических систем. Учебник для ВУЗов. М.: Логос, 2000.
3. Артюхина, Н. К. Компьютерное проектирование оптических систем : учебно-методическое пособие : в 2 ч. / Н. К. Артюхина, В. А. Марчик. – Минск : БНТУ, 2007. – Ч. 2 : Оптимизация центрированных оптических систем. – 62 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ АБЕРРАЦИЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СПЕКТРОМЕТРА

Осветительная система спектрометра представлена на рис. 1. Излучение от лазерного источника с длиной волны $\lambda = 785$ нм и угловой апертурой $NA = 0,22$ падает на коллимационный объектив 1, на котором происходит формирования квазипараллельного пучка излучения, и проходит через полосовой фильтр 2, предназначенный для подавления шумовых составляющих лазера вне основной длины волны. После этого монохроматическое излучение падает на дихроичный фильтр 3, установленный под 45 град и отражающий все излучение в диапазоне до 800 нм и пропускающий излучение от 800 нм, преломляется под углом 90 град и с помощью согласующего осветительного объектива 4 фокусируется на исследуемом образце.

Анализируемое излучение комбинационного рассеяния света от исследуемого объекта проходит через осветительный объектив 4, на котором происходит его формирование до квазипараллельного, проходит через дихроичный фильтр 3.

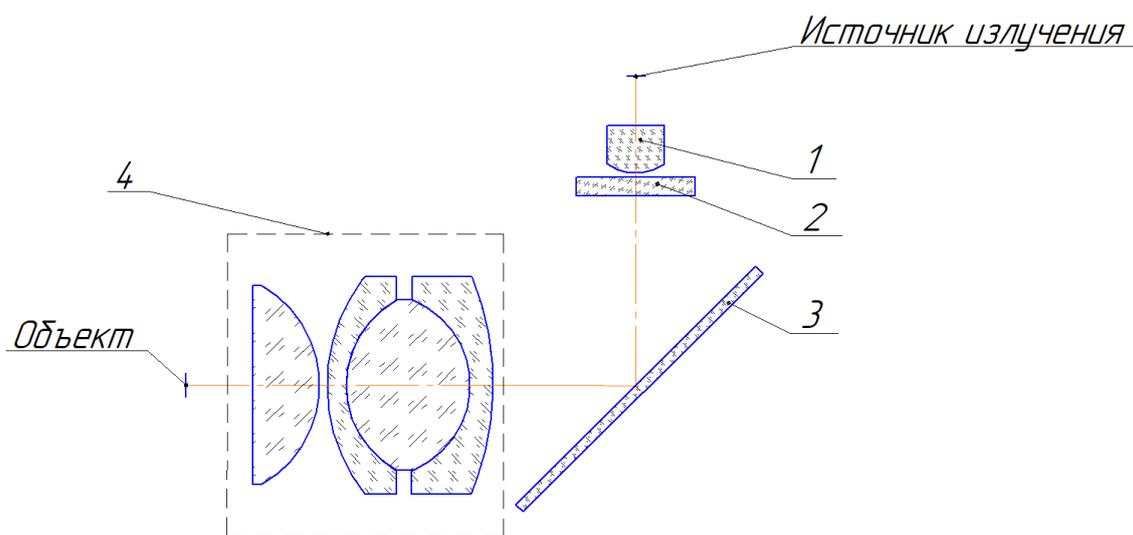


Рисунок 1 – Осветительная система спектрометра

Для увеличения светосилы всей оптической системы осветительный объектив рассчитывался исходя из требования регистрации излучения КРС от протяженного объекта с размером 2 мм^2 в максимальной угловой апертуре и на расстоянии не менее 7 мм.

Основные требования, в соответствии с которыми проводился расчет осветительного объектива, приведены в таблице 1.

Двухлинзовый склеенный объектив не может обеспечить требуемое качество освещающего пучка, поэтому он дополнен двумя дополнительными линзами.

Таблица 1 – основные требования к системе

Спектральный диапазон излучения, $\Delta\lambda$, нм	от 800 до 1100
Диаметр источника излучения, D_{III} , мм	от 0,4 до 0,8
Диаметр освещающего пучка, D_{OCB} , мм	16,1
Расстояние до исследуемого объекта, мм	7
Угловая апертура на входе, не менее $2\sigma_{OCB}$, град	70
Выходной зрачок $S'_{ЗР}$, мм	70
Угловой размер источника излучения $2W_{III}$, град	4

Осветительная система блока Раман-спектрометра приведена на рис. 2. Система состоит из четырех линз – одиночной плосковыпуклой линзы и склейки. Для компенсации хроматизма и сферической aberrации осветительный объектив выполнен из оптических материалов с разными показателями преломления. Одиночная плосковыпуклая линза изготавливается из тяжелого флинта ТФ5. Для простоты конструкции первая поверхность линзы делается плоской. Склейка включает положительную линзу, выполненную из стекла К8, и две боковые линзы – из тяжелого флинта ТФ10 и флинта Ф1.

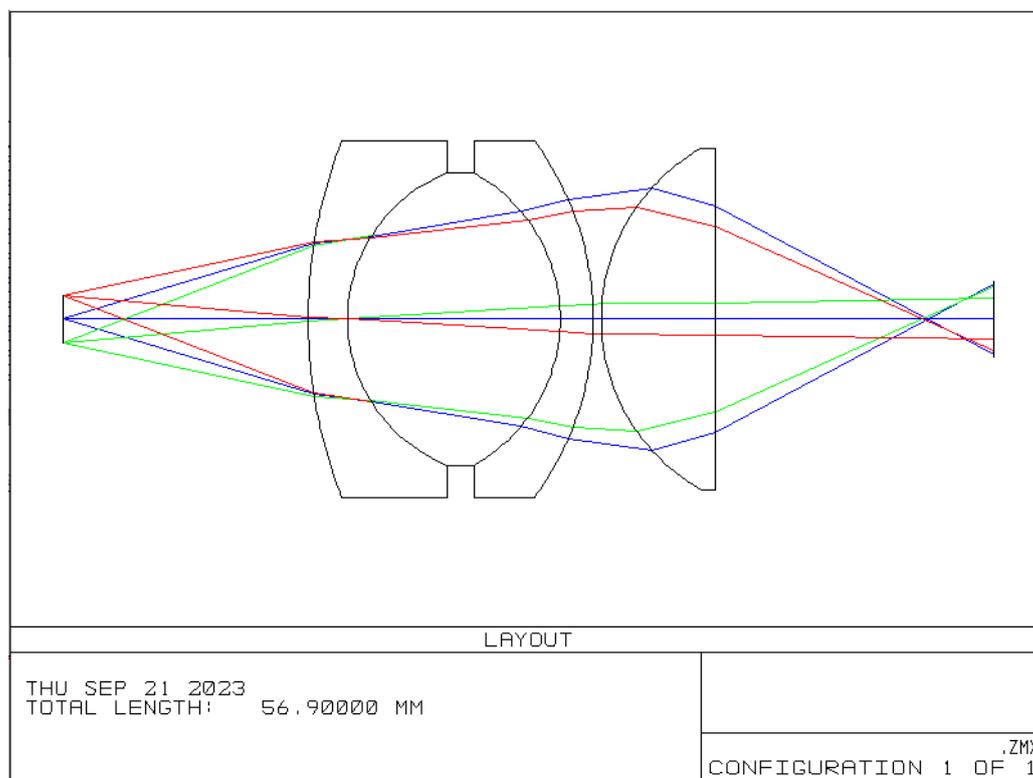


Рисунок 2 – Осветительный объектив в обратном ходе

$$D_{III} = 0,8 \text{ мм}, D_{OCB} = 16,1 \text{ мм}, 2W_{III} = 3,5^\circ$$

Конструктивные параметры линз осветительного объектива основного канала приведены в табл. 2. Расчеты aberrаций производились в ПО Zemax.

Таблица 2 – Конструктивные параметры осветительного объектива

Параметры	Линза 1	Линза 2	Линза 3	Линза 4
Радиус первой поверхности r_1 , мм	infinity	18,7	10,3	9,7
Радиус второй поверхности r_2 , мм	12,1	10,3	9,7	30,6
Материал линзы	ТФ5	ТФ10	К8	Ф1
Размер линзы, мм	21	22	18	22
Толщина линзы, мм	7	2	13	2,4

Исходя из графиков, представленных на рис. 3, можно сказать, что каждая линза по отдельности имеет сильные аберрации, но система четырех линзового объектива компенсирует большую их часть, наглядно это видно на рис. 4 представленным ниже.

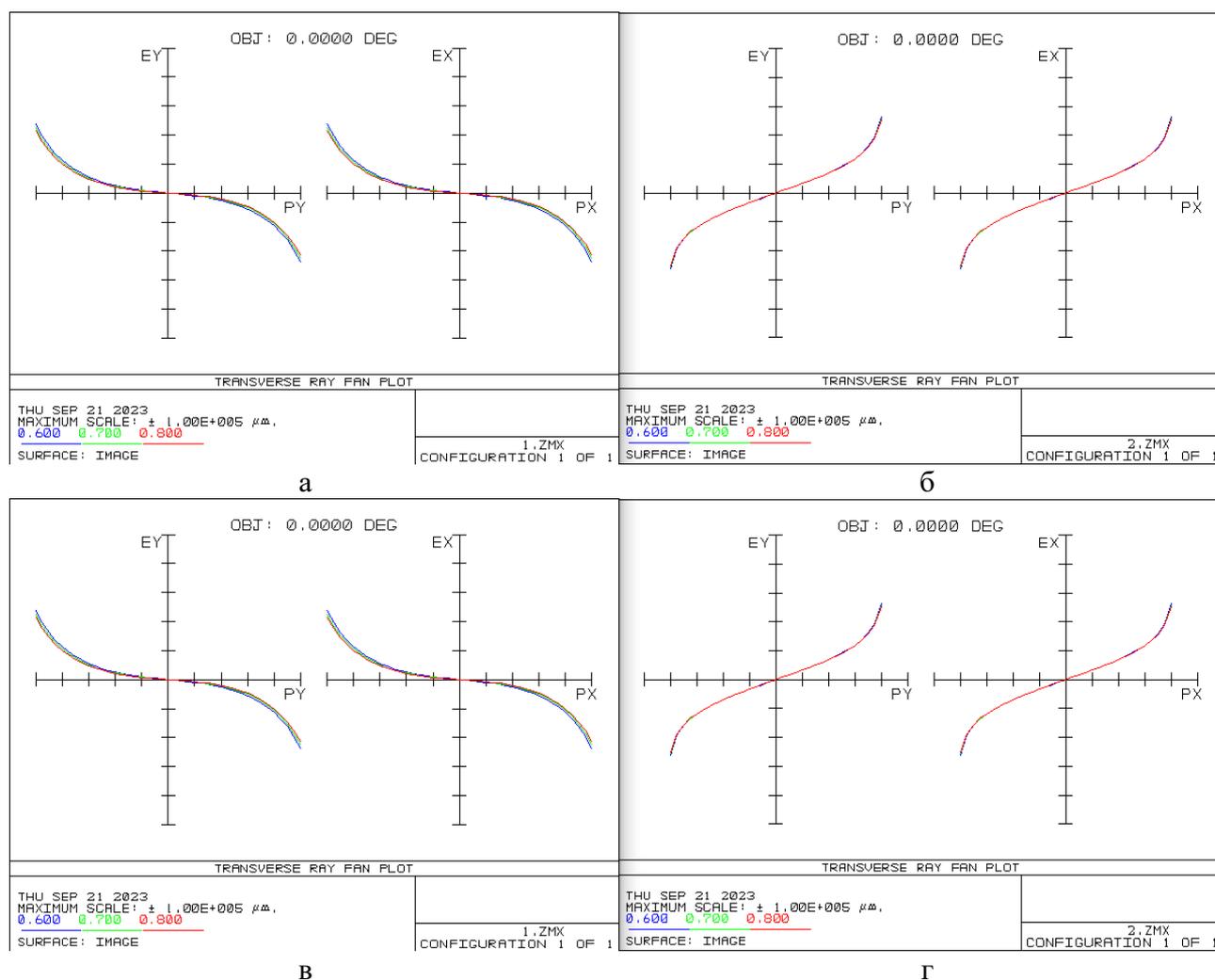


Рисунок 3 – Графики аберраций: а – линзы 1; б – линзы 2; в – линзы 3, г – линзы 4

На рис. 4 видно, что большая часть аберраций стала минимальной. Полностью от аберраций не избавиться, но и такой результат удовлетворяет ТЗ, т.к. при формировании изображения интерференционной картины аберрации осветительного объектива (сферическая аберрация, кома и хроматизм положения) не добавляются к аберрациям зеркальной проекционной системы и не влияют

на качество интерференционной картины. Поэтому на осветительный объектив не накладываются такие же жесткие требования по абберационной коррекции.

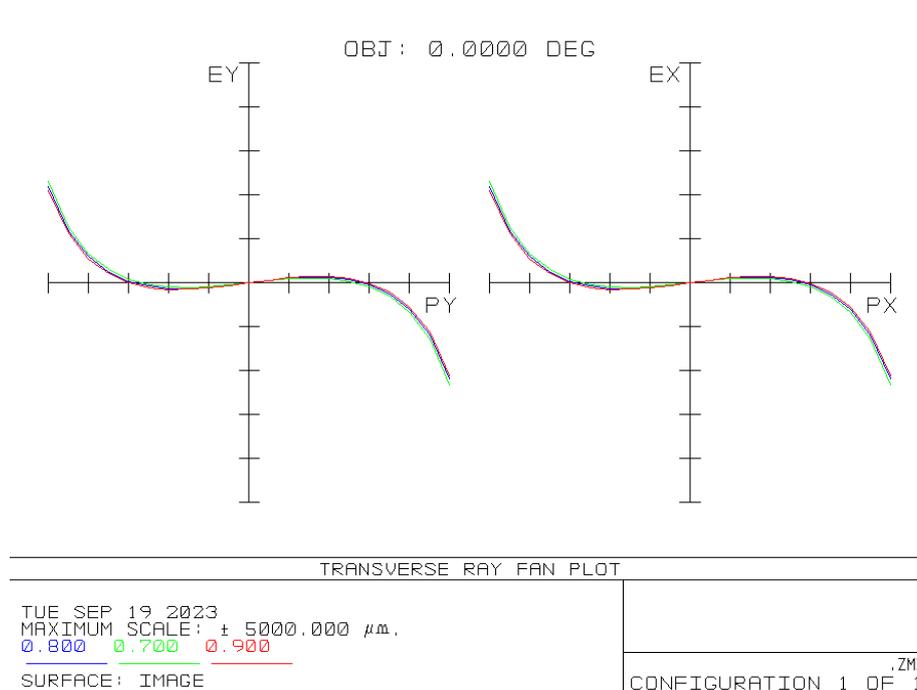


Рисунок 4 – График аббераций осветительного объектива

Литература

1. Вычислительная оптика. М.М.Русинов, А.П. Грамматин и др. Под ред. М.М. Русинова. Л.: Машиностроение, 1984.
2. Артюхина, Н. К. Теория и расчет оптических систем : учебное пособие : в 2 ч. / Н. К. Артюхина. – Минск : БНТУ, 2004. – Ч. 1. – 134 с.

*К.А. Зинченко, асс.; В.А. Павловская, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ НЕПРЕРЫВНОГО ТОКА

Последовательно-параллельный преобразователь относится к типу импульсных преобразователей. Отличительная способность таких преобразователей заключается в высоком КПД (до 90%), работе в широком диапазоне частот – от 100кГц до 1МГц, а также в малых габаритах и массе [1].

Использование импульсных преобразователей позволяет получить повышенное, пониженное или инвертированное выходное напряжение. Однако наибольший интерес вызывает последовательно-параллельный преобразователь за счет возможности его работы в различных режимах.

Последовательно-параллельный преобразователь состоит из последовательно подключенного ключа К1, параллельного ключа К2, диодов VD1 и VD2, индуктивности L1, конденсатора фильтра С1 и сопротивления нагрузки R1 (рис.1).

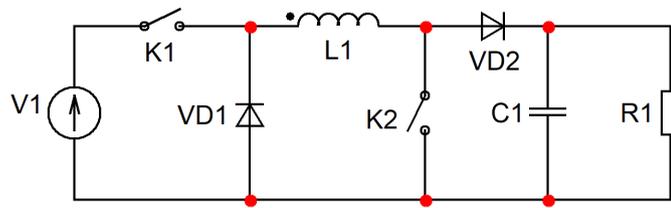


Рисунок 1 — Последовательно-параллельный преобразователь

В зависимости от состояния ключей K1 и K2, выделяют четыре режима работы преобразователя (табл. 1).

Таблица 1 — Режимы работы преобразователя в зависимости от состояния ключей

Режим работы	Понижающий	Повышающий	SEPIC-конвертор	Хранение накопленной энергии.
Состояние ключей	K1 = ШИМ, K2 = 0	K1 = 1, K2 = ШИМ	K1 = ШИМ, K2 = ШИМ	K1 = 0, K2 = 1
Регулировочная характеристика	$\frac{U_{\text{н}}}{E} = \gamma$	$\frac{U_{\text{н}}}{E} = \frac{1}{1-\gamma}$	$\frac{U_{\text{н}}}{E} = \frac{\gamma}{1-\gamma}$	—

Регулирование уровня выходного напряжения преобразователя осуществляется путем изменения скважности управляющего ШИМ сигнала. Стабилизация выходного напряжения осуществляется за счет использования обратной связи: при изменении выходного напряжения происходит автоматическое изменение ширины импульсов.

Как было сказано выше, в импульсных источниках питания всех топологий используется дроссель для накопления энергии и передачи на выходной конденсатор. Существует два режима работы: режим непрерывного тока (РНТ) и режим прерывистого тока (РПТ) через дроссель. В рамках данной статьи будет рассмотрена работа преобразователя в режиме РНТ [2].

Расчет основных параметров преобразователя заключается в расчете индуктивности дросселя L, емкости конденсатора C и максимального тока ключа $I_{L(\text{макс})}$.

Выразим длительность импульса:

$$D = \frac{t_{\text{н}}}{T} \rightarrow t_{\text{н}} = D \cdot T = \frac{D}{f_{\text{к}}}$$

где D – коэффициент заполнения импульсного сигнала,

$f_{\text{к}}$ – частота коммутации.

Найдем индуктивность дросселя:

$$U_L = L \frac{2\Delta I_L}{\Delta t} = L \frac{2P_{\text{н}}/f_{\text{к}}}{U_{\text{внх}} \cdot (1-D)D} \rightarrow L = \frac{U_{\text{вх}} U_{\text{внх}} \cdot (1-D)D}{2P_{\text{н}} f_{\text{к}}}$$

где $U_{\text{вх}}$ – входное напряжение,

$U_{\text{внх}}$ – выходное напряжение,

$P_{\text{н}}$ – мощность нагрузки,

Входное напряжение, а также выходная мощность, указывается в некотором диапазоне, для того, чтобы преобразователь работал в РНТ, следует использовать максимальное значение индуктивности на границе РНТ и РПТ, что

соответствует минимальной мощности нагрузки $P_{н(мин)}$ и максимальному входному напряжению $U_{вх(макс)}$.

Расчет максимального тока ключа будет вестись из соображений максимального тока дросселя. В РНТ максимальный ток ключа будет рассчитываться следующим образом:

$$I_{L(макс)} = \frac{P_{н} \cdot (U_{вх} + U_{вых})}{(U_{вх} \cdot U_{вых})} + \frac{U_{вх} \cdot U_{вых}}{2 \cdot L \cdot f_k \cdot (U_{вх} + U_{вых})}$$

Расчет будет проводиться для режима с максимальной мощностью нагрузки и минимальным входным напряжением: $P_{н(макс)}$, $U_{вх(мин)}$.

Расчет максимального напряжения на транзисторе будет проводиться для максимального входного напряжения с учетом запаса в 30%.

$$U_{VT} = (U_{вх(макс)} + U_{вых}) \cdot 1.3$$

Мощность, рассеиваемая на транзисторе, рассчитывается по следующим формулам:

$$I_{кп} = I_L \cdot D, I_L = \frac{I_{н}}{1 - D}, I_{кп} = \frac{I_{н} \cdot D}{1 - D}, I_{н} = \frac{P}{U_{вых}}$$

Расчет тока заряда конденсатора производится по следующим формулам:

$$I_C = C \frac{dU_C}{dt} = C \frac{dU_{вых}}{dt}$$

$$I_{н} = \frac{2 \cdot K_{п} \cdot U_{вых(ср.)}}{D \cdot T_k} \rightarrow C = \frac{I_{н} \cdot D}{2 \cdot K_{п} \cdot U_{вых(ср.)} \cdot f_k}$$

$$I_C = C \frac{dU_C}{dt} = C \frac{dU_{вых}}{dt}$$

$$I_{н} = \frac{2 \cdot K_{п} \cdot U_{вых(ср.)}}{D \cdot T_k} \rightarrow C = \frac{I_{н} \cdot D}{2 \cdot K_{п} \cdot U_{вых(ср.)} \cdot f_k}$$

Найдем емкость конденсатора:

$$C = \frac{I_{н} \cdot \frac{U_{вых}}{U_{вх} + U_{вых}}}{2 \cdot K_{п} \cdot U_{вых(ср.)} \cdot f_k} = \frac{P_{н}}{2 \cdot K_{п} \cdot U_{вых} \cdot f_k \cdot (U_{вх} + U_{вых})}$$

где $K_{п}$ – коэффициент пульсаций,

Для того, чтобы преобразователь работал в РНТ, следует использовать максимальное значение емкости на границе РНТ и РПТ, что соответствует максимальной мощности нагрузки $P_{н(макс)}$ и минимальному входному напряжению $U_{вх(мин)}$.

Кроме того, для стабильной работы дросселя и конденсатора в РНТ необходимо выбрать номинал индуктивности дросселя и номинал емкости конденсатора с запасом 30%.

Выполним моделирование работы преобразователя по описанной выше методике. В качестве исходных данных возьмем:

Входное напряжение $U_{вх} = 12 - 25$ В, выходное напряжение $U_{вых} = 18$ В, мощность нагрузки $P_{н} = 3 - 8$ Вт, частоту коммутации $f_k = 100$ кГц и коэффициент пульсаций $K_{п} = 0.01$.

Рассчитываем основные параметры регулятора по указанным в данной методике формулам, учитываем запас 30% и подбираем максимально близкие значения параметров с учетом ряда E24.

Получаем следующие значения:

$$L_{rp} = 240 \text{ мкГн}, C_{rp} = 9.1 \text{ мкФ}, I_L = 1.15 \text{ А}.$$

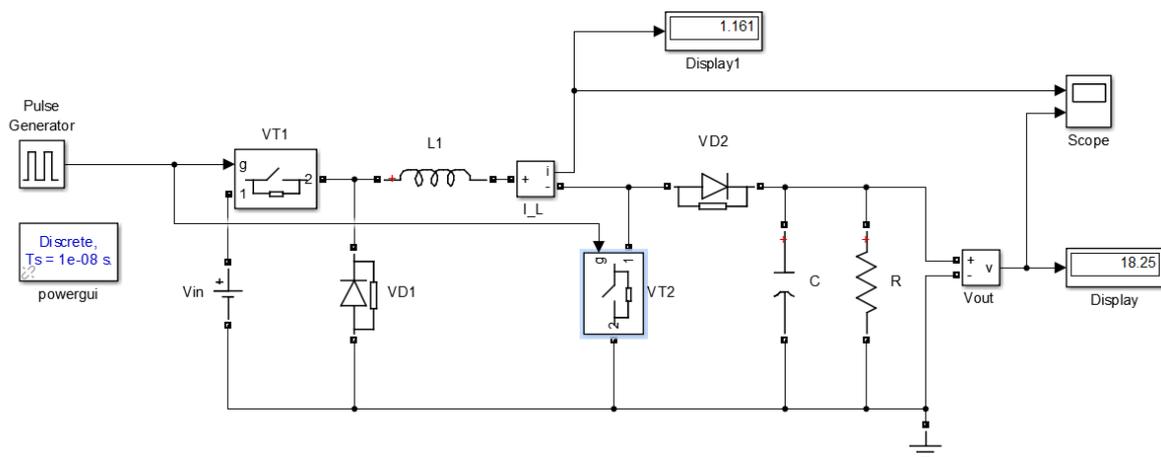


Рисунок 2 — Схема преобразователя в MATLAB

Как видно из результатов погрешность полученного выходного напряжения составляет 1,39 %.

Осциллограммы тока дросселя и выходного напряжения показывают, что преобразователь работает в РНТ, а максимальный ток ключа соответствует рассчитанному току $I_L = 1.15 \text{ А}$.

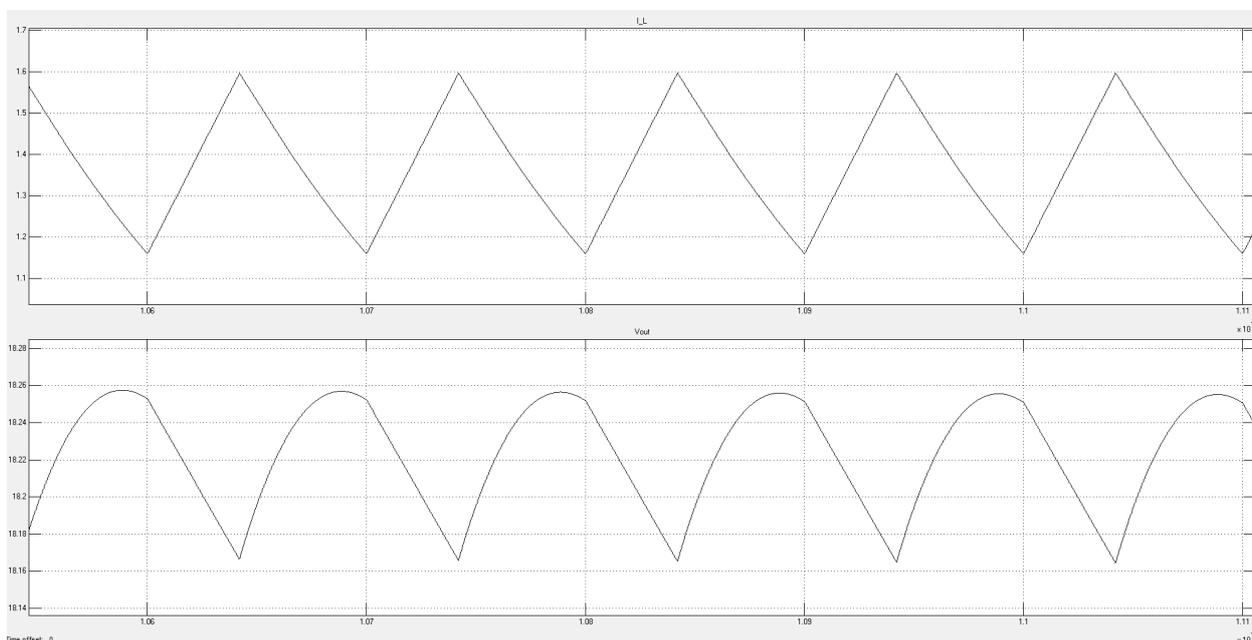


Рисунок 3 – Осциллограммы тока дросселя и выходного напряжения

Результаты моделирования подтверждают работоспособность предложенной методологии расчета для последовательно-параллельного преобразователя.

Литература

1. Лиханова, М. Д. Исследование параллельно-последовательного преобразователя / М. Д. Лиханова. — Молодой ученый. — 2017. — № 51 (185). — С. 64-67. — URL: <https://moluch.ru/archive/185/47461/> (Дата обращения: 07.09.2023).

2. Режим непрерывного / прерывного (прерывистого) тока через дроссель [Электронный ресурс] URL: <https://gyrator.ru/power-nepreryvnyi-rezhim> (Дата обращения: 07.09.2023).

*К.А. Зинченко, асс.; В.А. Павловская, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Принцип формирования последовательно-параллельного преобразователя основан на комбинации классических схем понижающего и повышающего преобразователей, где голубым цветом обозначен понижающий, а зеленым цветом повышающий преобразователь (рис.1).

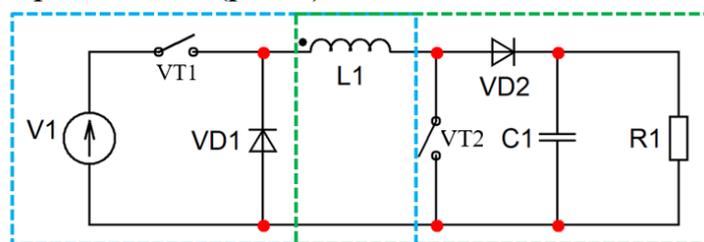


Рисунок 1 — Формирование последовательно-параллельного преобразователя

Исходя из схемы, такой преобразователь еще называют понижающе-повышающий преобразователь, что полностью отражает его принцип работы. Такая схема соединения позволяет как увеличивать, так и уменьшать входное напряжение, в зависимости от задачи. Например, если требуется уменьшить входное напряжение, необходимо отключить повышающий каскад, за это отвечает выключение транзистора VT1. Аналогично, если требуется увеличить входное напряжение, необходимо отключить понижающий каскад, за это отвечает уже включение транзистора VT1.

В статье рассматривается алгоритм выполнения ручной и машинной линеаризации для последовательно-параллельного преобразователя. Приводится методика построения непрерывной нелинейной модели, а также выполняется моделирование работы преобразователя в MATLAB. Кроме того, исследуется влияние активного сопротивления дросселя и эквивалентного сопротивление конденсатора на работу преобразователя.

Принцип работы преобразователя можно описать с помощью усредненной системы уравнений. Подобная система уравнений позволяет перейти от импульсной к непрерывной системе. Для упрощения математического аппарата и возможности применения простых методов теории автоматического управления (ТАУ) требуется осуществить переход от нелинейной к линейной модели. Данный процесс называется линеаризацией [1].

Для построения непрерывной модели необходимо рассмотреть преобразователь на интервалах импульса (рис.2) и паузы (рис.3).

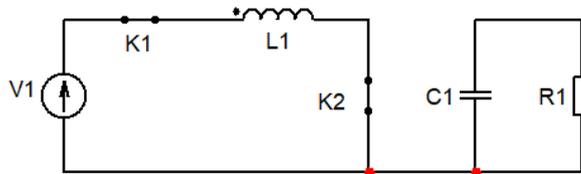


Рисунок 2 — Схема работы преобразователя на интервале импульса

Система уравнений для интервала импульса t_{II} :

$$\begin{cases} U_{вх} = U_L \\ I_C = -I_{н} \end{cases}$$

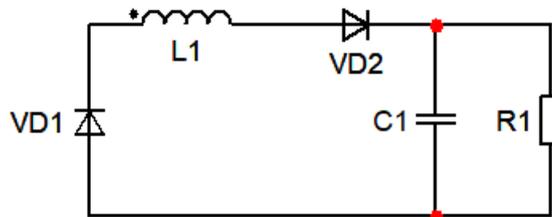


Рисунок 3 — Схема работы преобразователя на интервале паузы

Система уравнений для интервала паузы t_{II} :

$$\begin{cases} 0 = U_L + U_C \\ I_C = I_L - I_{н} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} U_L = -U_C \\ I_C = I_L - I_{н} \end{cases}$$

Для получения нелинейной системы уравнений необходимо умножить систему уравнений для интервала импульса на коэффициент заполнения D , а для интервала паузы на $(1-D)$, после чего сложить уравнения системы.

Для последовательно-параллельного преобразователя нелинейная система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{cases} U_L = U_{вх} \cdot D + (-U_C)(1-D) \\ I_C = -I_{н} \cdot D + (I_L - I_{н})(1-D) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} U_L = U_{вх} \cdot D - U_C + U_C \cdot D \\ I_C = -I_{н} \cdot D + I_L - I_L \cdot D - I_{н} + I_{н} \cdot D \end{cases} \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{cases} U_L = U_{вх} \cdot D - U_C + U_C \cdot D \\ I_C = I_L - I_L \cdot D - I_{н} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} U_L = U_{вх} \cdot D + (-U_C)(1-D) \\ I_C = I_L(1-D) - I_{н} \end{cases} \rightarrow$$

Для перехода к линейной системе необходимо заменить ток дросселя, напряжение на конденсаторе, входное напряжение и коэффициент заполнения импульсов на сумму малосигнального возмущения и стационарного значения.

$$U_{вх} \rightarrow U_{вх} + \tilde{u}_{вх}, I_L \rightarrow I_L + \tilde{i}_L, U_C \rightarrow U_C + \tilde{u}_C, D \rightarrow D + \tilde{d}, U_L \rightarrow L \frac{d\tilde{i}_L}{dt},$$

$$i_C \rightarrow C \frac{d\tilde{u}_C}{dt}, i_{н} = \frac{u_C}{R_{н}} \rightarrow \frac{\tilde{u}_C}{R_{н}} + \frac{U_C}{R_{н}}$$

Выполним подстановку в систему нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} L \frac{d\tilde{i}_L}{dt} = (U_{вх} + \tilde{u}_{вх})(D + \tilde{d}) - (U_C + \tilde{u}_C)(1 - D - \tilde{d}) \\ C \frac{d\tilde{u}_C}{dt} = (I_L + \tilde{i}_L)(1 - D - \tilde{d}) - \frac{U_C}{R_{н}} - \frac{\tilde{u}_C}{R_{н}} \end{cases}$$

Применим операторный метод:

$$\begin{cases} L\tilde{i}_L s = U_{\text{ВХ}}D + U_{\text{ВХ}}\tilde{d} + \tilde{u}_{\text{ВХ}}D + \tilde{u}_{\text{ВХ}}\tilde{d} - U_C + U_C D + U_C \tilde{d} - \tilde{u}_C + \tilde{u}_C D + \tilde{u}_C \tilde{d} \\ C\tilde{u}_C s = I_L - I_L D - I_L \tilde{d} + \tilde{i}_L - \tilde{i}_L D - \tilde{i}_L \tilde{d} - \frac{U_C}{R_H} - \frac{\tilde{u}_C}{R_H} \\ L\tilde{i}_L s = U_{\text{ВХ}}D + U_{\text{ВХ}}\tilde{d} + \tilde{u}_{\text{ВХ}}D + \tilde{u}_{\text{ВХ}}\tilde{d} - U_C + U_C D + U_C \tilde{d} - \tilde{u}_C + \tilde{u}_C D + \tilde{u}_C \tilde{d} \\ R_H C \tilde{u}_C s = R_H I_L - R_H I_L D - R_H I_L \tilde{d} + R_H \tilde{i}_L - R_H \tilde{i}_L D - R_H \tilde{i}_L \tilde{d} - U_C - \tilde{u}_C \end{cases}$$

В результате применения операторного метода, необходимо выразить отношение малосигнального возмущения напряжения на конденсаторе к малосигнальному возмущению тока на входе. В случае двухконтурных систем управления (а именно систем по пиковому или среднему току) нужно принимать равным нулю возмущение входного напряжения и коэффициента заполнения. Также можно сократить произведения двух стационарных значений, а именно $I_L R_H$, $I_L D R_H$, U_C .

$$R_H C \tilde{u}_C s = R_H \tilde{i}_L - R_H \tilde{i}_L D - \tilde{u}_C$$

$$\tilde{u}_C (R_H C s + 1) = \tilde{i}_L (R_H - R_H D)$$

Для системы управления по пиковому току необходимо вывести передаточную характеристику «ток ключа – выходное напряжение» [2].

$$\tilde{i}_L = \frac{\tilde{u}_C (R_H C s + 1)}{R_H (1 - D)}$$

Усредненный на периоде коммутации входной ток:

$$\tilde{i}_{\text{ВХ}} = \tilde{i}_L D$$

Отсюда получаем:

$$\tilde{i}_{\text{ВХ}} = \frac{D \tilde{u}_C (R_H C s + 1)}{R_H (1 - D)} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} \tilde{u}_C (R_H C s + 1)}{U_{\text{ВХ}} + U_{\text{ВЫХ}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} \tilde{u}_C (R_H C s + 1)}{R_H U_{\text{ВХ}}}$$

$$\tilde{i}_{\text{ВХ}} R_H U_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВЫХ}} \tilde{u}_C (R_H C s + 1)$$

$$\frac{\tilde{u}_C}{\tilde{i}_{\text{ВХ}}} = \frac{R_H U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВЫХ}} (R_H C s + 1)}$$

Выполним построение логарифмической частотной характеристики непрерывной нелинейной модели по результатам ручной линеаризации. В качестве исходных данных были взяты следующие значения:

Входное напряжение $U_{\text{ВХ}} = 12 - 25$ В, выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = 18$ В, мощность нагрузки $P_H = 3 - 8$ Вт, частота коммутации $f_H = 100$ кГц, коэффициент пульсаций $K_n = 0.01$.

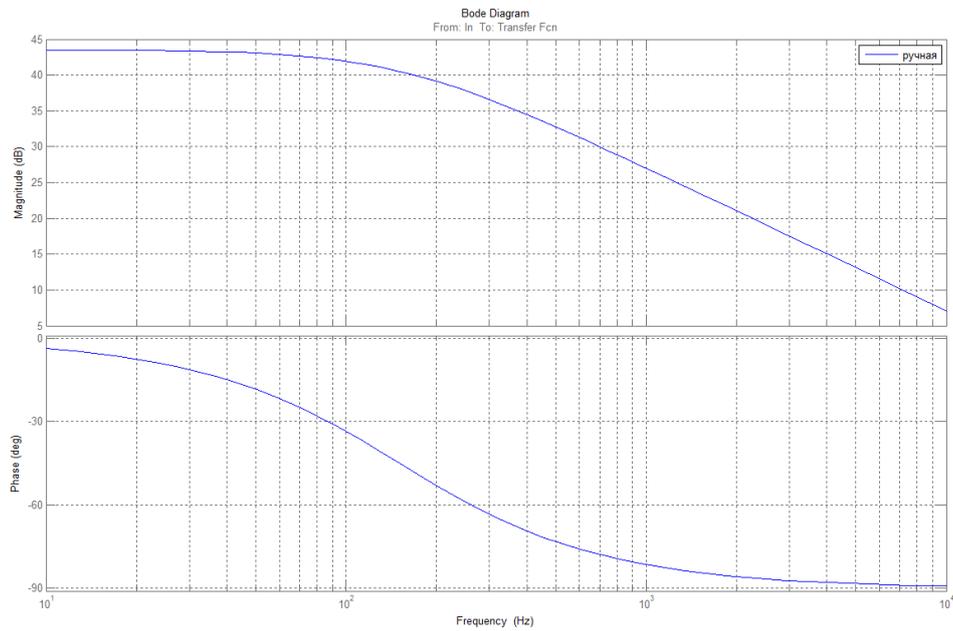


Рисунок 4 — Частотные характеристики

В программе MATLAB была построена непрерывная нелинейная модель преобразователя (рис.5).

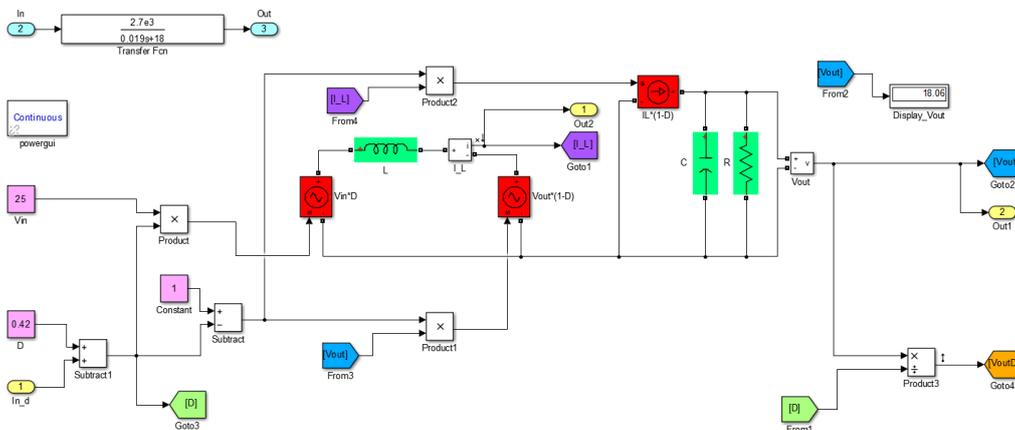


Рисунок 5 — Непрерывная линейная модель, построенная в MATLAB

Построим и сравним логарифмические частотные характеристики модели, построенной в среде MATLAB и рассчитанной вручную (рис. 6).

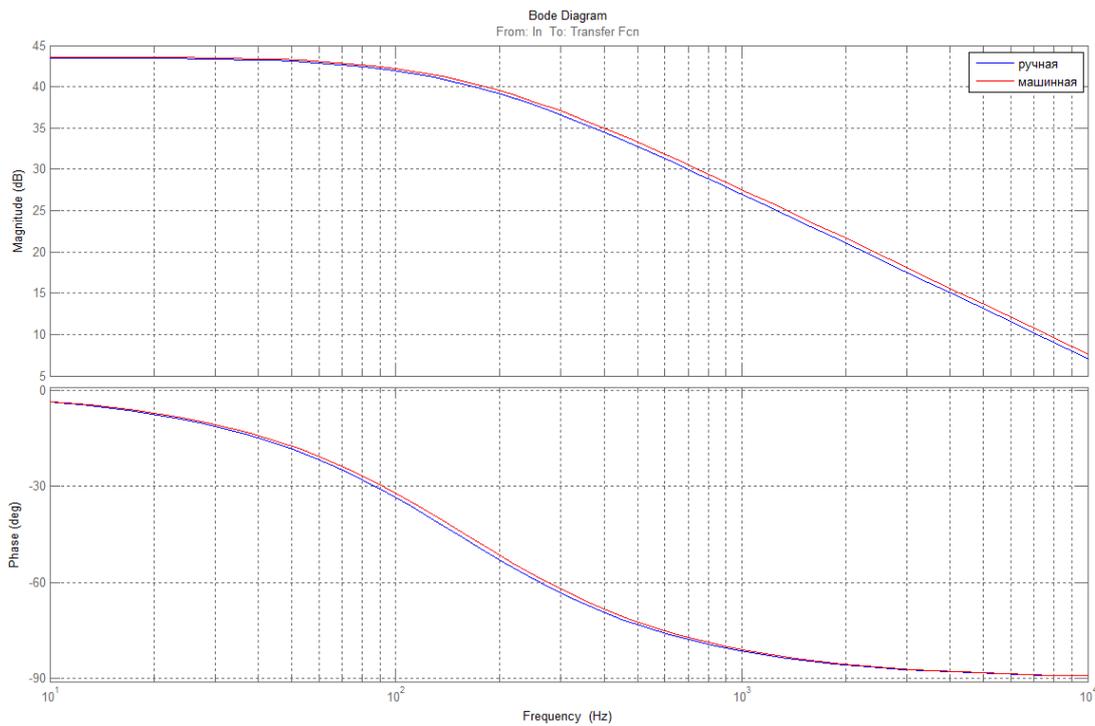


Рисунок 6 — Частотные характеристики ручной и машинной линейзации.

Как видно из рисунка 6, полученные зависимости идентичны и накладываются друг на друга.

Добавим в непрерывную модель активное сопротивление дросселя и эквивалентное сопротивление конденсатора (рис.7).

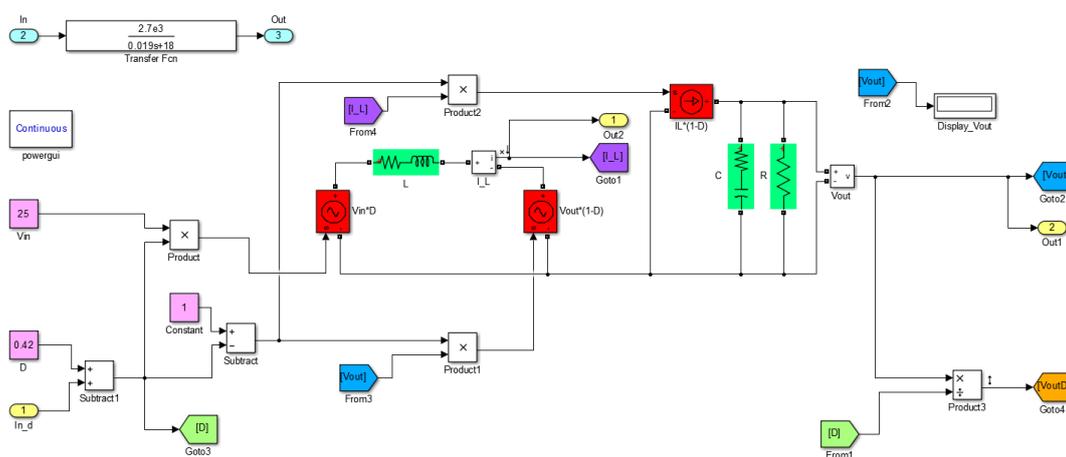


Рисунок 7 — Непрерывная линейная модель, построенная в MATLAB

Построим частотные характеристики силового контура с учетом и без учета паразитных сопротивлений (рис.8).

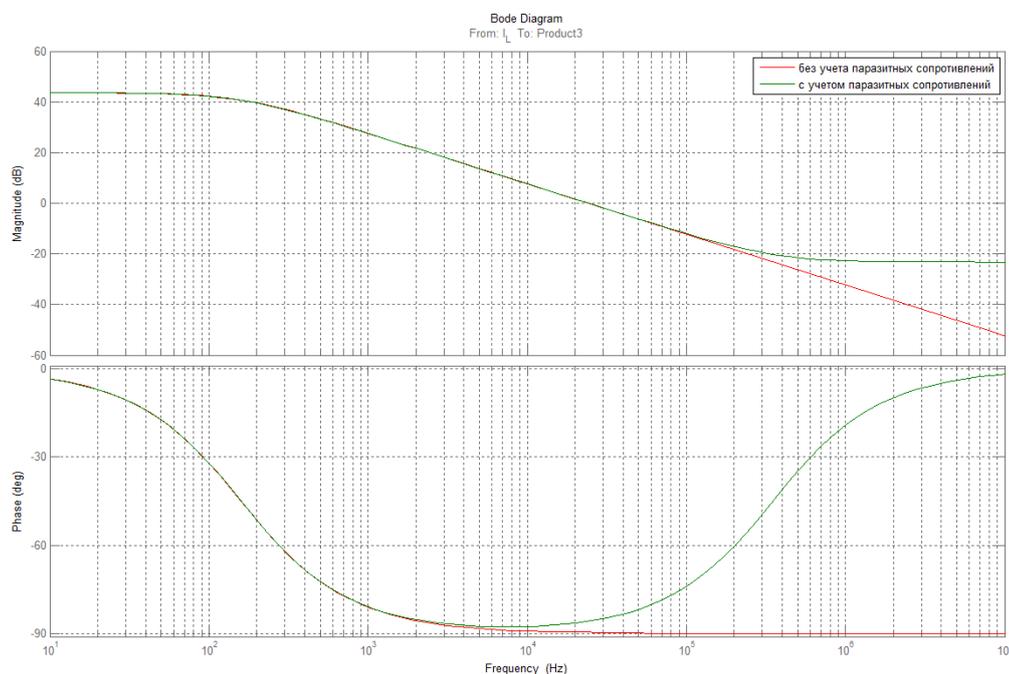


Рисунок 8 — Частотные характеристики без влияния паразитных параметров и с влиянием паразитных параметров

Из полученных зависимостей видно, что на частоте 5 МГц наклон амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) с учетом паразитных параметров изменился, график фазо-частотной характеристики (ФЧХ) также поменял свой вид. ФЧХ без учета паразитных сопротивлений уходит вниз, в то время как ФЧХ с учетом паразитных сопротивлений, разворачивается на 90 градусов и стремится к нулю. Причем стоит отметить, влияние оказывает лишь паразитное сопротивление конденсатора.

Литература

1. Суть и способы линеаризации нелинейных динамических систем [Электронный ресурс] URL: <https://libtime.ru/modelirovanie/sut-i-sposoby-linearizacii-nelineynyh-dinamicheskikh-sistem.html> (Дата обращения: 07.09.2023).
2. Амелина М. А., Амелин С. А., Фролков О. А. Усовершенствование непрерывной модели импульсного регулятора напряжения. – Вестник МЭИ. 2016. № 2. С. 70–74.

*К.А. Зинченко, асс.; В.А. Павловская, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Обратноходовой преобразователь представляет собой импульсный [преобразователь напряжения](#) с [гальванической развязкой](#) первичных и вторичных цепей.

Достоинствами обратноходового преобразователя являются:

- простота конструирования;
- дешевизна;
- работа на емкостную нагрузку;

- нечувствительность к [короткому замыканию](#) нагрузки.

В связи с этим большинство сетевых источников питания мощностью от 30 Вт до 50 Вт выполняются по этой топологии.

Поведение преобразователя можно описать с помощью усредненной системы уравнений. Данная система уравнений позволяет перейти от импульсной к непрерывной системе. Для упрощения математического аппарата и возможности применения простых методов теории автоматического управления (ТАУ) требуется осуществить переход от нелинейной к линейной модели. Данный процесс называется линеаризацией [1].

В статье приводится методика построения непрерывной нелинейной модели, а также рассматривается влияние паразитной емкости и паразитной индуктивности на частотную характеристику обратного преобразователя.

Для построения непрерывной модели необходимо рассмотреть принцип работы преобразователя на интервалах импульса (рис. 1) и паузы (рис. 2).

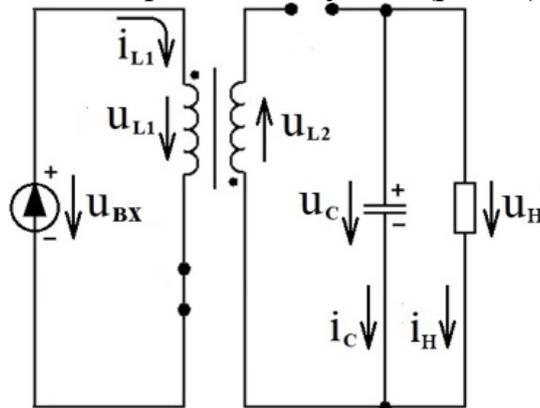


Рисунок 1 — Схема работы преобразователя на интервале импульса

Принцип работы преобразователя, на интервале импульса, описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} U_{L1} = U_{BX} \\ i_C = -i_H \end{cases} \quad (1)$$

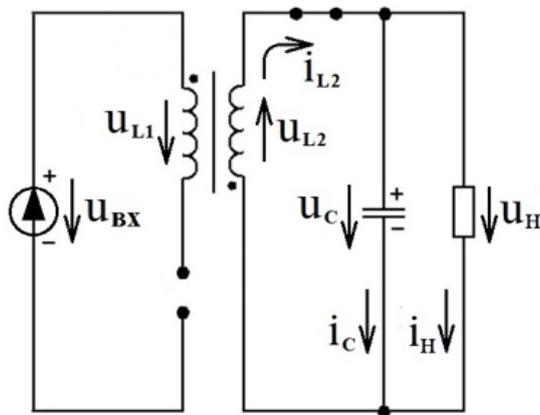


Рисунок 2 — Схема работы преобразователя на интервале паузы

Принцип работы преобразователя, на интервале паузы, описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} U_{L2} = -U_C \\ i_C = i_{L2} - i_H \end{cases} \quad (2)$$

Как видно из системы уравнений (1) и (2), уравнения на интервале импульса записаны относительно напряжение на первичной обмотке (U_{L1}), а уравнения на интервале паузы записаны относительно напряжение на вторичной обмотке (U_{L2}). Для разработки системы управления необходимо перезаписать уравнения относительно напряжения на первичной обмотке, поскольку в данной части схемы расположен коммутирующий ключ, который осуществляет управление токовым контуром и контуром напряжения.

Используется следующее уравнение:

$$K_{\text{тр}} = \frac{N1}{N2} = \frac{U_{L1}}{U_{L2}} = \frac{i_{L2}}{i_{L1}} \quad (3)$$

Отсюда выводятся следующие уравнения:

$$i_{L2} = i_{L1} * K_{\text{тр}} \quad (4)$$

$$U_{L2} = \frac{U_{L1}}{K_{\text{тр}}} \quad (5)$$

С учетом выполненных преобразований, система уравнений имеет следующий вид:

На интервале импульса:

$$\begin{cases} U_L = U_{\text{вх}} \\ i_c = -i_{\text{н}} \end{cases} \quad (6)$$

На интервале паузы:

$$\begin{cases} U_L = -U_c * K_{\text{тр}} \\ i_c = i_L * K_{\text{тр}} - i_{\text{н}} \end{cases} \quad (7)$$

Применим метод усреднения к системам уравнений (6) и (7):

$$\begin{cases} U_L = U_{\text{вх}} * D - U_c * K_{\text{тр}} * (1 - D) \\ i_c = -i_{\text{н}} * D + (i_L * K_{\text{тр}} - i_{\text{н}}) * (1 - D) \end{cases} \quad (8)$$

Для удобства запишем непрерывную нелинейную модель в следующем виде:

$$\begin{cases} U_{\text{вх}} * D = U_L + U_c * K_{\text{тр}} * (1 - D) \\ (i_L * K_{\text{тр}}) * (1 - D) = i_c + i_{\text{н}} \end{cases} \quad (9)$$

Регулировочная характеристика обратноходового преобразователя представлена ниже:

$$\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{1}{K_{\text{тр}}} * \frac{D}{1 - D} \quad (10)$$

где D — коэффициент заполнения.

Отсюда получаем формулы для расчета коэффициента заполнения.

$$D = \frac{K_{\text{тр}} * U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}} + K_{\text{тр}} * U_{\text{вых}}} \quad (11)$$

Для проверки правильности вывода передаточных характеристик, была собрана непрерывная модель в среде *MatLab*, построение выполнено на основе системы уравнений (9).

В качестве исходных данных были взяты следующие значения:

Входное напряжение $U_{\text{вх}} = 21 - 27$ В, выходное напряжение $U_{\text{вых}} = 12$ В, мощность нагрузки $P_{\text{н}} = 21 - 27$ Вт, частота коммутации $f_{\text{к}} = 105$ кГц. Получим следующую непрерывную модель (рис.3):

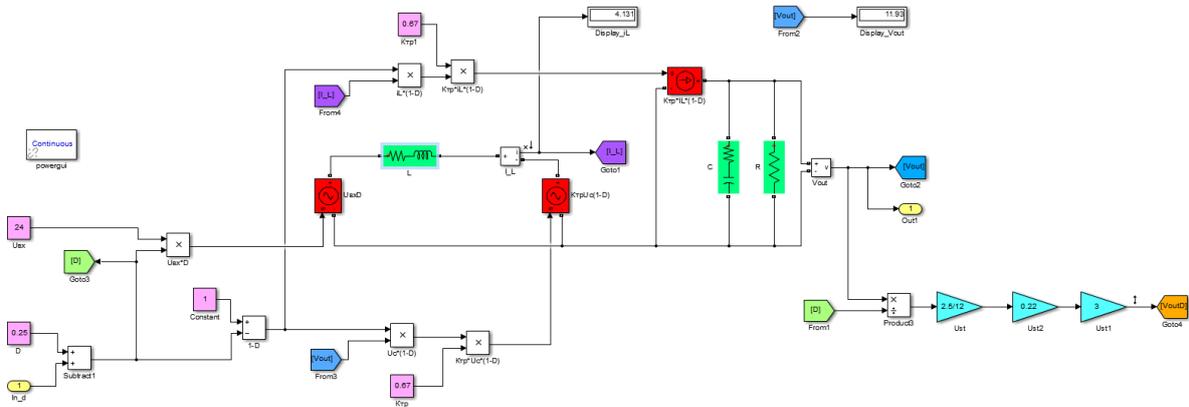


Рисунок 3 — Непрерывная модель с учетом паразитных параметров

В результате моделирования были получены следующие частотные характеристики силового контура с учетом паразитных параметров и без них (рис.4).

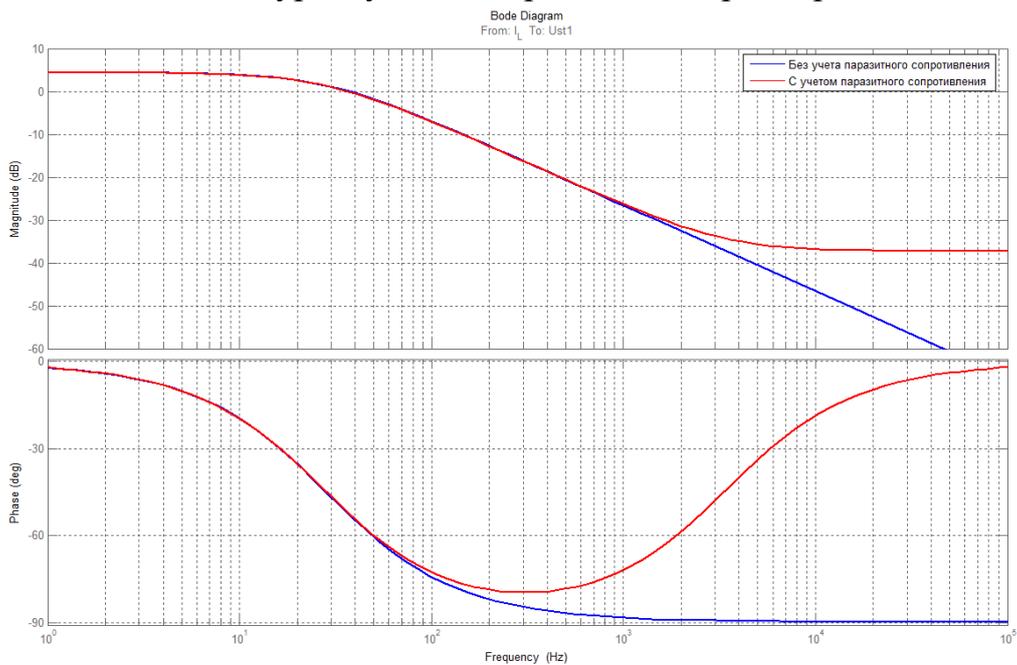


Рисунок 4 — Частотная характеристика силового контура с учетом и без учета паразитных параметров

По результатам моделирования видно, погрешность выходного напряжения составляет менее 1%. Паразитное сопротивление выходного конденсатора добавляет ноль в передаточную функцию. В то время как, паразитное сопротивление индуктивности не оказывает существенного влияния на характеристику.

Литература

3. Суть и способы линеаризации нелинейных динамических систем [Электронный ресурс] URL: <https://libtime.ru/modelirovanie/sut-i-sposoby-linearizacii-nelineynyh-dinamicheskikh-sistem.html> (Дата обращения: 07.09.2023).

*К.А. Краснинский, спец.; Д.В. Полозов, студ.
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Москве)
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ)» в г. Москве)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СООТВЕТСВИЯ МАКЕТОВ ОСНАСТОК С МОДЕЛЯМИ В САПР ДЛЯ ЛУЧШЕГО ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОСКОВЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Поиск способов уменьшения потерь в оснастках, а также наилучшего согласования при измерении высокочастотных (ВЧ) полосковых фильтров является важной задачей в области моделирования и проектирования устройств ВЧ и СВЧ диапазона [1, 2], поскольку такие фильтры обычно предназначены для установки на печатную плату и не имеют разъёмов для подключения векторного анализатора цепей и при измерении их параметров требуется использовать оснастку. Данное исследование позволяет получить численные значения вносимых потерь оснасток и определить способы их уменьшения. Исследование проводится при измерении одного и того же фильтра с использованием двух различных оснасток. За основу оснастки с использованием печатной платы была взята копланарная линия передачи с волновым сопротивлением 50 Ом [3].

Для исследования был использован фильтр шестого порядка X - диапазона с полосой пропускания 1500 МГц на основе симметричной полосковой линии. В ходе работы будут проводиться измерения вносимого подавления фильтра на оснастках на краях требуемой полосы пропускания 8625 и 9375 МГц и центральной частоте 10125 МГц, требуемый КСВН не более 1.5.

Было проведено электродинамическое моделирование фильтра с использованием двух оснасток. Первая оснастка представляет собой печатную плату с разорванной копланарной линией передачи с волновым сопротивлением 50 Ом, по обе стороны к линии припаяны коаксиальные разъёмы для подключения измерительного оборудования. При измерении фильтр устанавливается в разрыв линии таким образом, чтобы его входные контакты лежали на линии передач. Внешний вид данной оснастки приведён на рисунке 1.

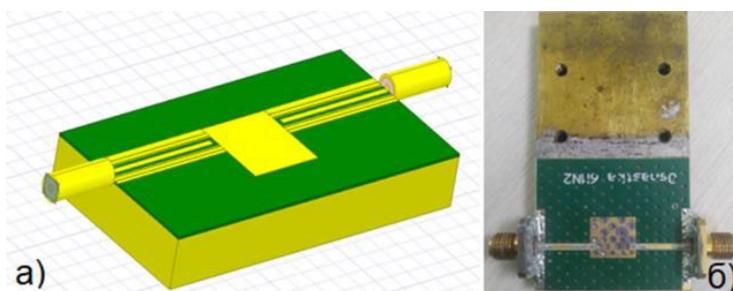


Рисунок 1 – Внешний вид оснастки с использованием платы а) модель в САПР, б) макет

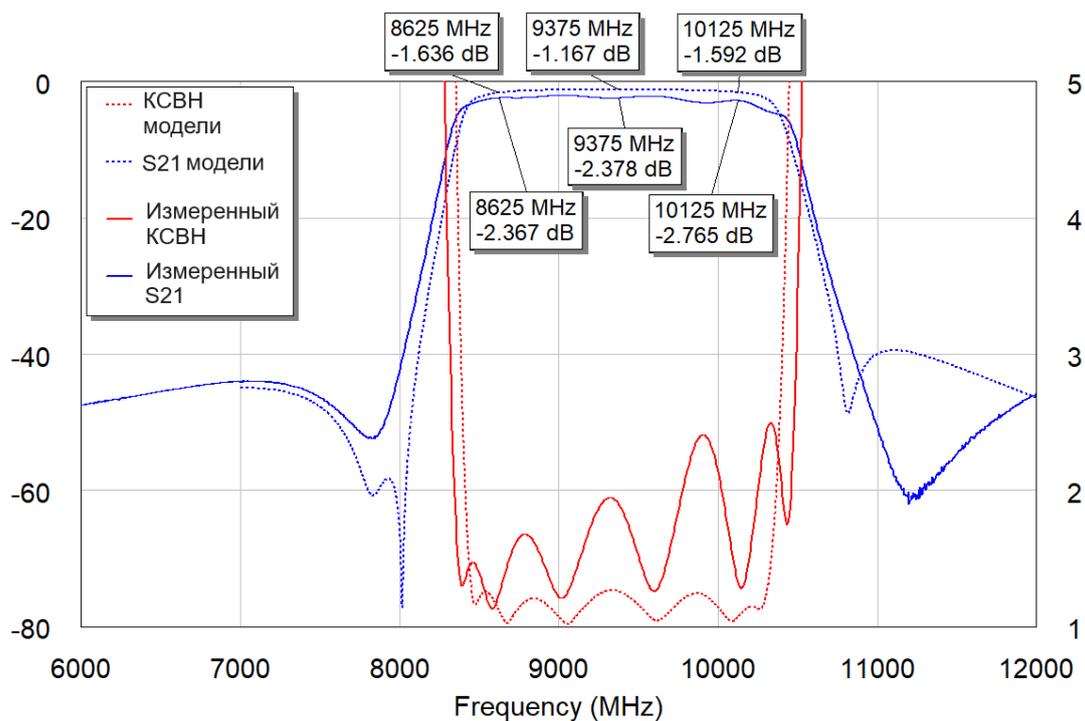


Рисунок 2 – Смоделированные в САПР и измеренные на оснастке с длинной полосковой линией характеристики фильтра

Приведенные на рисунке 2 характеристики показывают, что среди рассматриваемых точек максимальные потери составляют 1,6 дБ при моделировании в САПР и 2,7 дБ при измерении на первой оснастке. Измеренные потери в полосе пропускания хуже расчётного на 1,1 дБ, так же заметен рост рассогласования с ростом частоты. Предполагается, что различие смоделированных и измеренных характеристик вызвано увеличением потерь и ухудшением согласования длинной копланарной линии, поэтому для более точных измерений предложен второй тип оснастки без такой линии.

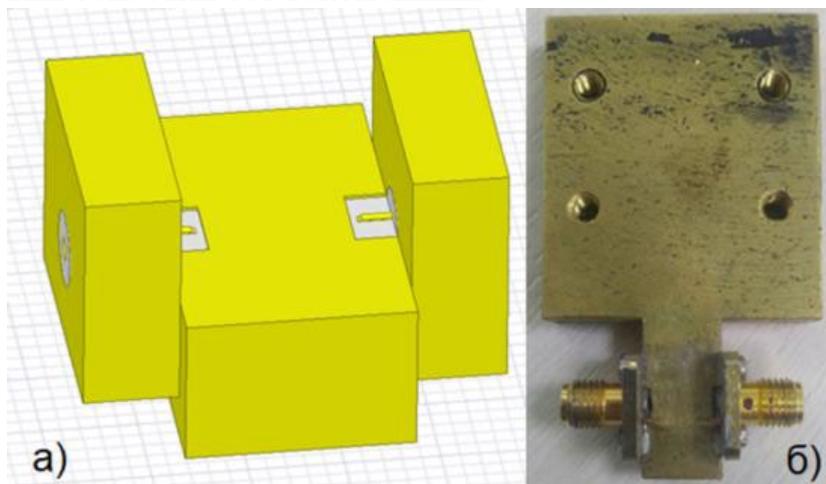


Рисунок 3 – Внешний вид оснастки без использования платы а) модель в САПР, б) макет

Вторая измерительная оснастка представляет собой металлическую основу с двумя коаксиальными разъёмами, на выступающих внутрь частях верх ди-

электрика убран для доступа к внутренним жилам разъёмов. При измерении фильтр устанавливается входными контактами на внутренние жилы разъёмов и прижимается сверху к основанию для лучшего контакта. Внешний вид оснастки приведён на рисунке 3.

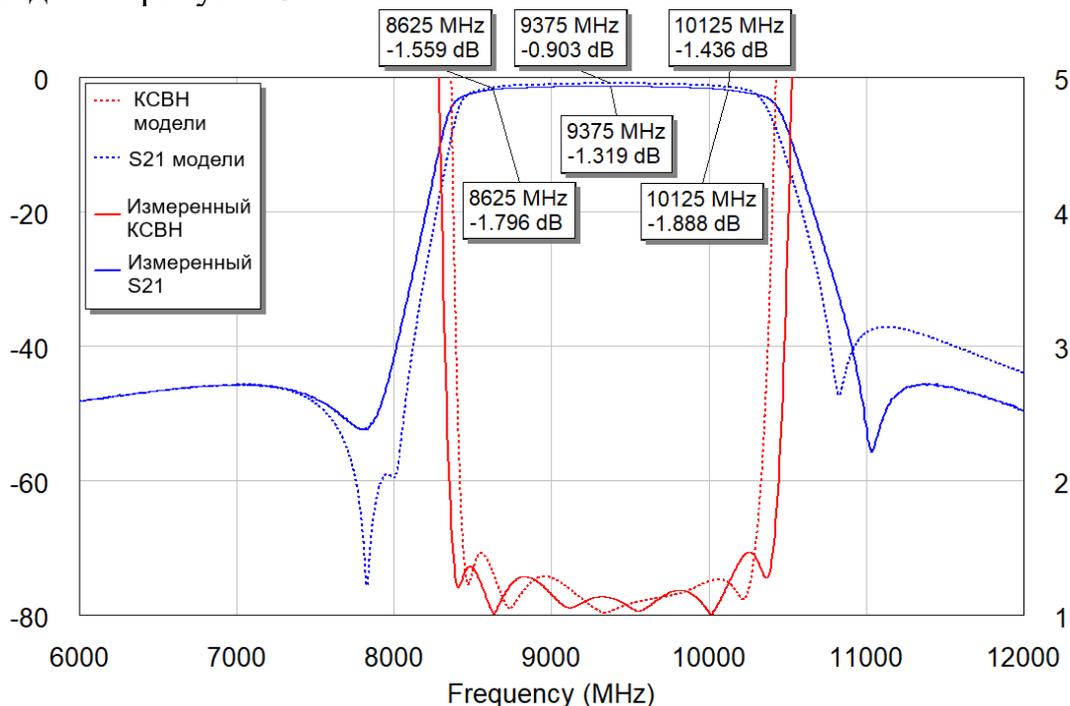


Рисунок 4 – Смоделированные в САПР и измеренные на оснастке без полосковой линии характеристики фильтра

Приведенные на рисунке 4 характеристики показывают, что среди рассматриваемых точек максимальные потери составляют 1,6 дБ при моделировании в САПР и 1,9 дБ при измерении на оснастке без полосковой линии. Измеренное подавление в полосе пропускания хуже расчётного на 0,3 дБ, что значительно лучше, чем при использовании первой оснастки. Потери, вносимые оснасткой без полосковой линии меньше, чем для оснастки с длинной полосковой линией приблизительно на 0,8 дБ.

Так же в данном случае не наблюдается ухудшение согласования при росте частоты и в целом результаты измерений характеристик фильтра лучше соотносятся с результатами электродинамического моделирования.

Оснастка на основе разрывной микрополосковой линии простая и показывает хорошие результаты при измерении параметров фильтров вплоть до X-диапазона, в котором вносимые такими оснастками потери и паразитные эффекты оказывают значительное влияние на результаты измерений. Для их уменьшения целесообразно уменьшать длину линии передачи или полностью избавиться от неё, что сделано во второй оснастке. Сравнивая полученные результаты видно, что практическое применение второй модели является более точным. Отметим, что допустимо использовать как первый тип оснастки, так и второй, однако, выбор стоит делать исходя из технического задания. Оснастка должна совпадать с конечным местом установки фильтра.

Литература

1. Сазонов ДМ. Антенны и устройства СВЧ. Москва, Высшая школа, 1988, 432 с.
2. Семерня, Р. Е. АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА МИКРОВОЛНОВЫХ КВАЗИЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ С ЧАСТОТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА : специальность 05.12.07 "Антенны, СВЧ устройства и их технологии" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Семерня Роман Евгеньевич. – Москва, 2019. – 134 с.
3. Возбуждение электромагнитных волн круговой поляризации полосковыми линиями передачи / Д.В. Полозов, Д.А. Габриелян, А.Р. Сафин, Д.В. Калябин // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. 2022. № 4. С. 351-358.

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

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПРОЕКЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Более ста лет назад, когда киноиндустрия только начинала свое развитие, братьями Люмьер было создано проекционное устройство, способное не только выводить изображение с пленки на экран, но и снимать фильмы. С тех пор проекционное оборудование стало сложнее, позволяя выводить изображение на большую диагональ в хорошем качестве.

Существует несколько видов проекционного оборудования. Рассмотрим некоторые из них. Жидкокристаллический проектор или LCD проектор пришел на смену первым пленочным проекторам. При его создании разработчики заменили пленку на LCD матрицу. Устроено проекционное оборудование данного вида следующим образом (рис.1): световой поток, излучаемый проекционной лампой, сначала проходит через конденсатор, затем через две линзы Френеля, между которыми находится TFT-матрица, а после через объектив.

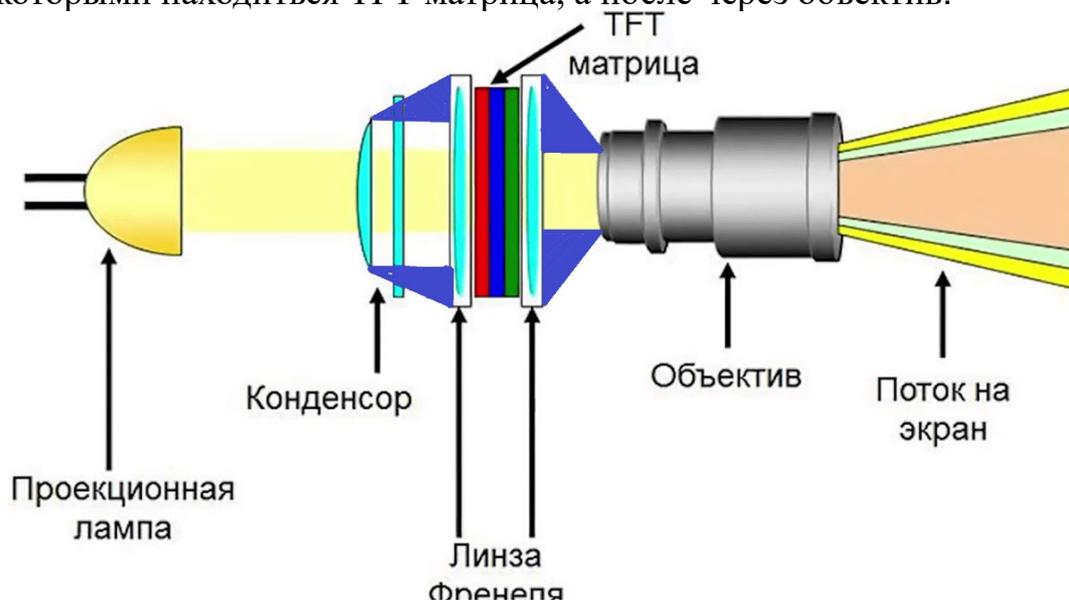


Рисунок 1 – «Устройство LCD проектора»

LCD проекторы имеют существенные недостатки. Во-первых, проекционное оборудование данного вида проецирует картинку с явно

выраженными субпикселями, это связано с тем, что в цветных жидкокристаллических-дисплеях пиксели состоят из трех RGB – субпикселей (рис.2), стоящих рядом. Во-вторых, жидкокристаллические-матрицы перегорают от яркого света ламп. Исправить данный недостаток возможно только при снижении мощности, что понижает яркость проецируемой картинке, в обратном же случае, владелец данного устройства будет вынужден постоянно менять перегоревшие матрицы. В-третьих, жидкокристаллические матрицы могут работать только при условии обдува холодным воздухом (температура матрицы не должна достигать 40° по Цельсию), что приводит к образованию слоя пыли на поверхности матрицы.

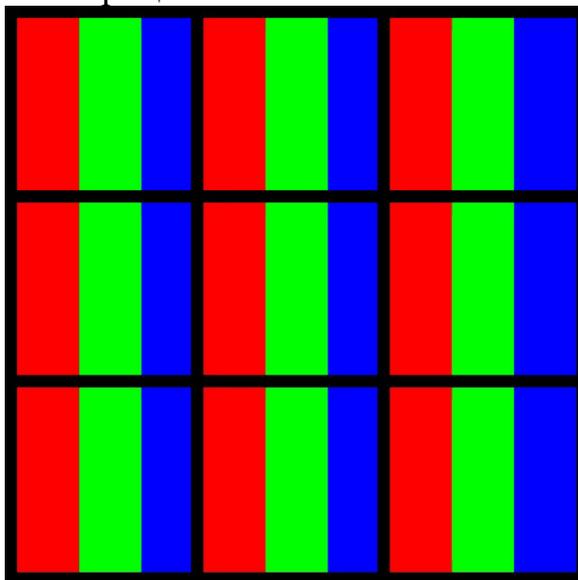


Рисунок 2 — «RGB-субпиксели»

После LCD-проекторов, которые имели существенные недостатки, разработчики создали 3LCD-проектор. Данное проецирующее устройство имеет три монохромных LCD-матрицы в отличие от прародителя, который имеет только одну цветную LCD-матрицу. В 3LCD-проекторах (рис.3) световой поток делится на три канала-RGB с помощью системы зеркал. Каждый канал-RGB попадает на три жидкокристаллические матрицы, после чего с помощью призмы сливаются в многоцветную картинку.

В результате, 3LCD-проекторы, в отличие от LCD-проекторов, имеют преимущества. Во-первых, разработчики, сделав более сложное устройство, смогли избавиться от RGB-субпикселей. Во-вторых, проецируемое на экран изображение стало более ярким и насыщенным. Однако, 3LCD-проекторы унаследовали от прародителя существенный недостаток – три LCD-матрицы нуждаются в постоянном охлаждении, что, соответственно, приводит к покрытию матрицы слоем пыли. Еще один недостаток 3LCD-проекторов – юстировка, совмещение трёх изображений в одну картинку достаточно сложный процесс.

LCoS-проекторы – следующее поколение проекционного оборудования, в котором разработчикам удалось устранить некоторые недостатки предшественников (рис.4). LCoS-проекторы устроены следующим образом:

изображение, выводимое на экран, формируются, как в 3LCD-проекторах, световые лучи проходят через матрицы, отражаясь от слоя зеркал. В данном виде проекционного оборудования разработчики смогли повысить качество изображения, благодаря пикселям, которые расположены вплотную друг к другу. В LCoS-проекторах слой транзисторов располагается за отражающим слоем. Эта особенность позволила избавиться от пикселей.



Рисунок 3 — «3RGB-проекторы»

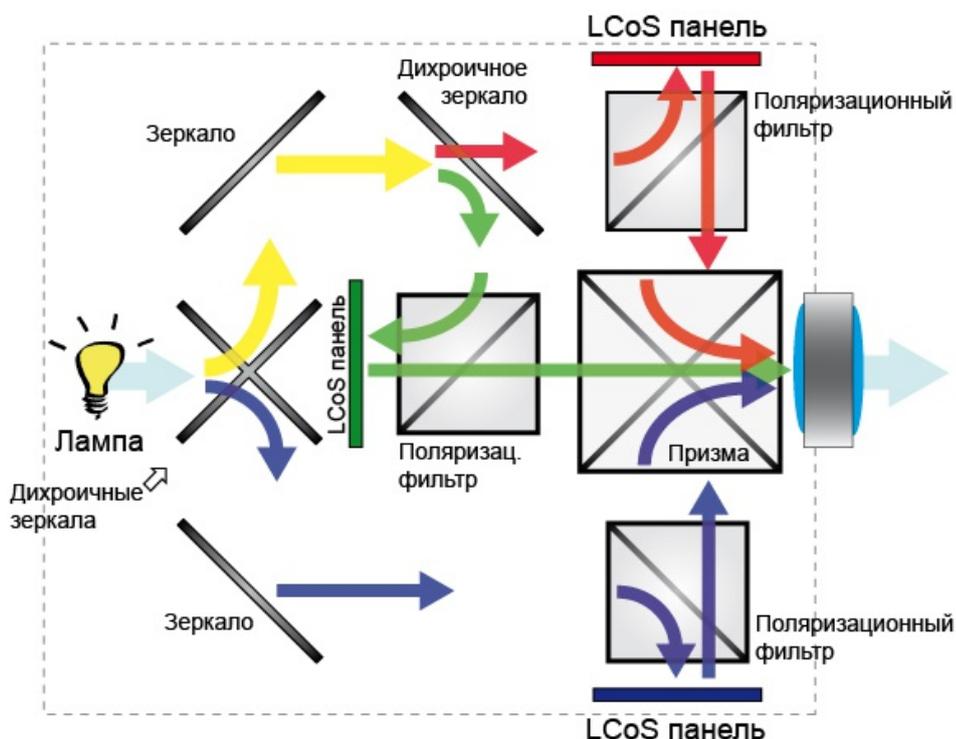


Рисунок 4 — «LCoS-проекторы»

Оптимальным проекционным устройством в настоящее время является DLP-проектор. DLP-проектор имеет только одну DMD матрицу, состоящую из миллиона микрозеркал (рис.5). Одно микрозеркало – один пиксель. Каждое микрозеркало имеет два положения, одно отвечает за отражение светового потока в объектив, второе – за отражение светового потока на поверхность, поглощающую свет, так как DLP-матрица работает по отражательному

принципу. При быстрой смене положений микрозеркал человек видит цветное изображение, выведенное на экран. Причиной того, что наблюдается цветная картинка, является прохождение светового потока через специальный цветной диск, состоящий из разноцветных сегментов, он быстро вращается, меняя цвета по очереди, смешение цветов происходит в матрице.



Рисунок 5 — «DLP-проекторы»

Таким образом, в настоящее время проекционное оборудование часто используется в жизни общества. Они используются каждый день: в офисах, квартирах и домах, на предприятиях. Из рассмотренных видов проекционных устройств, наиболее оптимальным по сложности производства и качеству изображения является DLP-проектор. Именно он обладает значительными преимуществами перед конкурентами. Во-первых, DLP-проекторы не нуждаются в постоянном охлаждении, следовательно их матрица не покрывается пылью. Во-вторых, данное проекционное оборудование не имеет «эффекта решетки», человек, смотрящий на проецируемое изображение, не видит пикселей. Можно сделать следующий вывод, с момента появления первых проекционных систем, данные устройства сильно изменились и усложнились, теперь они способны показывать яркую и насыщенную картинку на экранах с большой диагональю.

Литература

1. Б. Веденский, «Как работают проекторы и как они бывают?» - <https://dzen.ru/a/YRFqCLeYdGePP2Cd> (дата обращения - 02.10.2023)
2. «Принцип работы видеопроектора» - <https://tehnika.expert/cifrovaya/proektor/princip-raboty-vidyoproektora.html?ysclid=lmm8a28q1f38584975> (дата обращения 02.10.2023)
3. «Принцип работы видеопроектора» - <https://tehnofaq.ru/kak-ustroen-i-kak-rabotaet-proektor-vidyoproektorov/?ysclid=ln97kgyhsw424229948> (дата обращения 02.10.2023)

МНОГОХОДОВАЯ ЗЕРКАЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ КЮВЕТА

Инфракрасные оптико-абсорбционные датчики горючих газов широко используются в составе газоанализаторов и газоаналитических систем. Повышение точности измерений в инфракрасных оптико-абсорбционных датчиках с микропотреблением, применяемых для анализа газовой среды (далее – датчик), является актуальной и сложной задачей. Данную задачу можно решить с помощью повышения энергетического потока, приходящего от источника электромагнитного излучения (далее – источник) на приемник электромагнитного излучения (далее – приемник). Из закона Бугера – Ламберта – Бера

$$\Phi_{\lambda} = \Phi_{0\lambda} e^{-\varepsilon_{\lambda} C l}$$

где Φ_{λ} - поток излучения, прошедший через анализируемый компонент;

$\Phi_{0\lambda}$ - поток излучения, выходящий из источника электромагнитного излучения;

ε_{λ} - коэффициент поглощения анализируемого компонента, зависящий от длины волны λ ;

C – концентрация анализируемого компонента;

l – длина оптического пути;

следует, что увеличить энергетический поток излучения, приходящий на приемник, можно несколькими способами: повышением мощности излучения источника или увеличением длины оптического пути.

Первый способ приведет к повышению потребляемой мощности датчика, что снизит ресурс работы переносного газоанализатора, питающегося от аккумуляторной батареи. Второй способ ведет к увеличению габаритных размеров датчика и газоанализатора.

Для увеличения длины оптического пути без увеличения габаритных размеров самого датчика необходима разработка многоходовой зеркальной оптической кюветы (далее – кювета) с применением сферических и плоских зеркал.

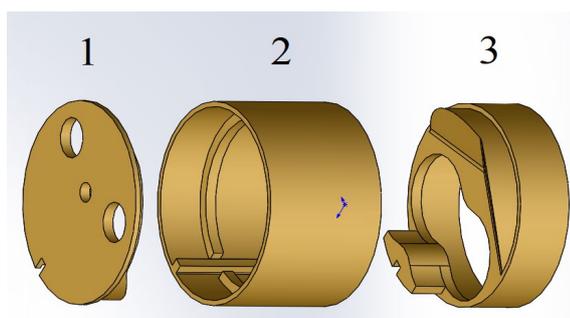


Рисунок 1 – 3D-модель кюветы

В системе автоматизированного проектирования «Solidworks» была разработана 3D-модель кюветы, представленная на рисунке 1.

Кювета состоит из трех деталей: отражатель (1), обечайка (2) и основание (3).

Отражатель (1) представляет собой деталь с тремя сферическими зеркалами, фокусирующими энергетический поток излучения от источника, и отверстиями для диффузионного забора пробы анализируемой газовой среды. Фокусировка излучения, осуществляемая сферическими зеркалами, снижает потери энергетического потока.

Обечайка (2) предназначена для соединения и центрирования отражателя (1) и основания (3) относительно друг друга. Центрирование обеспечивается пазом.

Основание (3) предназначено для размещения источника и приемника излучения, а также для отражения потока излучения. Оно имеет отверстие для источника и приемника излучения и два плоских зеркала.

3D-модель кюветы в сборе представлена на рисунке 2.

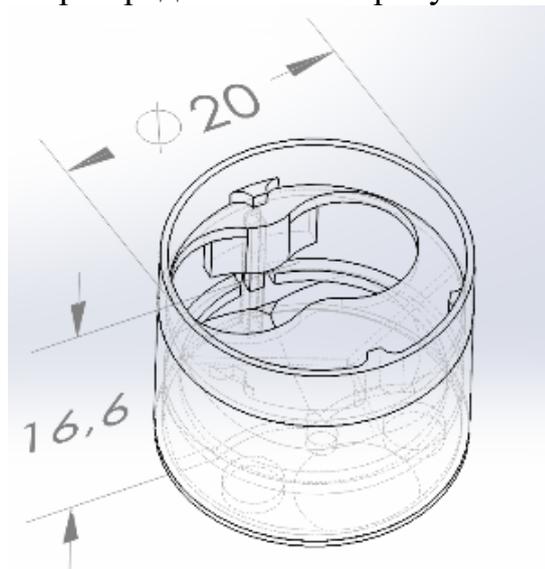


Рисунок 2 – 3D-модель кюветы в сборе

Для подтверждения верности расчетов оптической схемы кюветы необходима трассировка хода лучей потока излучения в 3D-модели кюветы. Трассировка лучей была проведена в программной среде проектирования «COMSOL». Данная программная среда проектирования позволяет загружать 3D-модели, разработанные в системе автоматизированного проектирования «Solidworks», и производить требуемые расчеты с сохранением точных размеров 3D-модели. Результаты трассировки лучей в программной среде проектирования «COMSOL» показаны на рисунке 3.

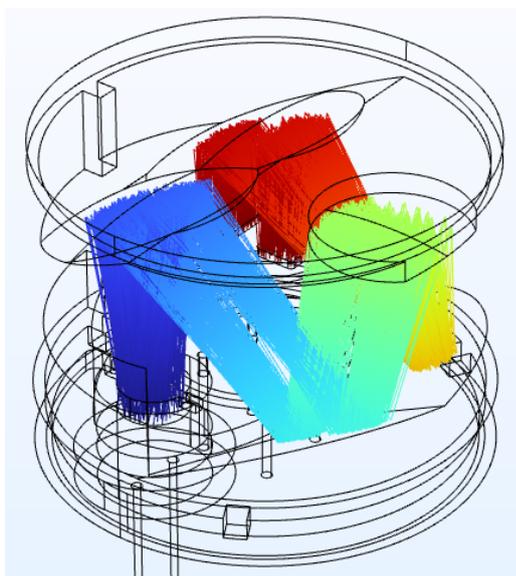


Рисунок 3 – Трассировка лучей в программной среде проектирования «COMSOL»

Расчеты показали, что общая длина оптического пути составляет ~ 70 мм. При этом размер самой кюветы: диаметр 20мм, высота 16,6 мм.

Кювета изготовлена на базе предприятия ФГУП «СПО «Аналитприбор». Так как литьевая пресс-форма не подходит по экономическим причинам, кювета была изготовлена на станке с ЧПУ. Материалом для кюветы была выбрана латунь из-за легкости в механической обработке. Для повышения коэффициента отражения зеркал основание и отражатель покрыты составом из золота и кобальта. После нанесения покрытия зеркала дополнительно подвергались полировке. Изготовленные детали кюветы представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Детали многоходовой кюветы
Кювета в сборе представлена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Кювета в сборе

В качестве применяемых источника и приемника можно использовать различные варианты: малогабаритная лампа накаливания и пироприёмник, свето- и фотодиод. Их выбор является следующим шагом в разработке инфракрасного оптического датчика анализа газовой среды с микропотреблением.

Литература

1. Учебник по геометрической оптике [Электронный ресурс]. URL: https://pnu.edu.ru/media/filer_public/0d/54/0d54c5a2-6d05-40dd-ba74-fc95f001a389/miheenko-geom-optika-posobie.pdf (Дата обращения: 30.09.2023).
2. Руководство по модулю «Ray Optics» в программной среде проектирования «COMSOL» [Электронный ресурс]. URL: <https://doc.comsol.com/5.4/doc/com.comsol.help.roptics/RayOpticsModuleUsersGuide.pdf> (Дата обращения: 26.09.2023).

В.А. Найденов, к.ф.-м.н., доц

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

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИКА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ТОНКОЙ РАССЕЙВАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ

Одной из наиболее распространенных работ лабораторного практикума по физике в школах и в вузах является работа по определению фокусного расстояния собирающей и рассеивающей линз [1,С.54], [2,С.6].

Работу выполняют с помощью горизонтально расположенной оптической скамьи, вдоль которой могут перемещаться на ползушках линза и экран. Осветитель с вырезом в виде стрелки в передней стенке закреплен неподвижно. Центры приборов лежат строго на одной высоте, плоскости экранов и линзы строго перпендикулярны оптической скамье.

Расстояние между приборами отсчитывают при помощи соответствующих указателей на ползушках по миллиметровой шкале, расположенной вдоль скамьи.

Поскольку рассеивающая линза не дает действительного изображения предмета, одним из способов определения ее фокусного расстояния является совместное использование собирающей и рассеивающей линз (рис.1)

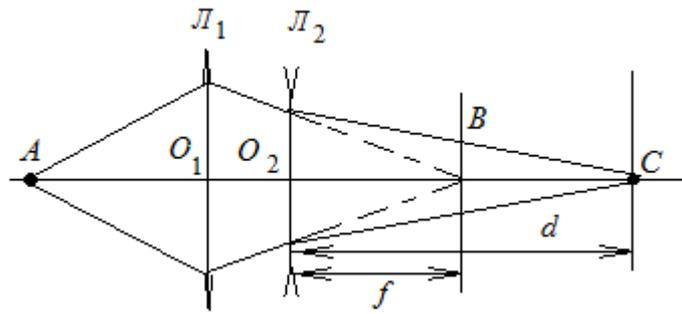


Рис.1 Схема опыта и ход лучей.

Пусть точка B есть изображение светящейся точки A , полученное с помощью собирающей линзы L_1 . Если поставить между линзой L_1 и точкой B рассеивающую линзу L_2 , то изображение точки A переместится в точку C . Вследствие обратимости лучей света в линзах можно считать, что светящейся точкой является точка C , а точка B является ее мнимым изображением.

Тогда $O_2 C = d$ и $O_2 B = f$.

Эти два расстояния d и f связаны между собой так называемой формулой линзы

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{F}, \quad (1)$$

где d - модуль расстояния от предмета до линзы L_2 , f - модуль расстояния от линзы L_2 до изображения, а F - модуль ее фокусного расстояния.

Из выражения (1) легко получить

$$F = \frac{d \cdot f}{d - f}. \quad (2)$$

По этой формуле и рассчитывают F по парам значений d и f , а затем находят и его среднее значение [3, С.153].

В данной статье предлагается несколько иной способ расчета величины среднего значения F на основании тех же экспериментальных данных для d и f .

В случае собирающей линзы этот метод изложен в работе [4, С.40].

Из формулы (1) следует соотношение

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{F}, \quad (3)$$

где $\frac{1}{f}$ является линейной функцией аргумента $\frac{1}{d}$, причем $\frac{1}{d} > 0$, а $\frac{1}{F}$ - постоянно.

На рис.2 показан график этой зависимости, представленный прямой AC

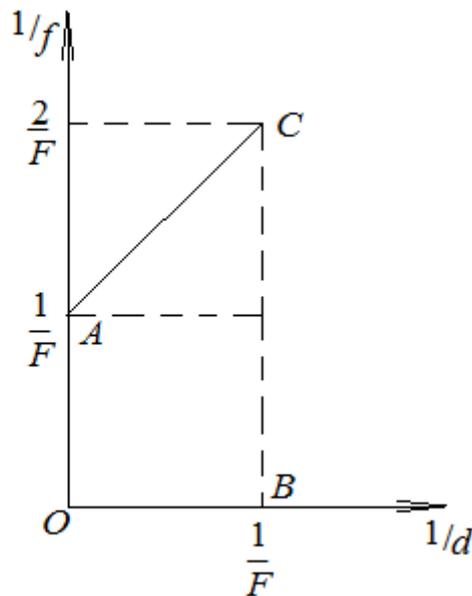


Рис.2. Зависимость $1/f$ от $1/d$.

Точка A соответствует такому случаю, когда предмет находится на бесконечности, т.е. $d = \infty$, а изображение в фокусе, т.е. $f = F$. Для точки C предмет находится в фокусе, т.е. $d = F$, а изображение в точке, где $f = F/2$.

Построив на основе экспериментальных данных график $\frac{1}{f} = \varphi\left(\frac{1}{d}\right)$, определяют из него размеры отрезка OA , обратная величина которого равна фокусному расстоянию F рассеивающей линзы.

Такой результат для F намного точнее рассчитанного для каждой пары d и f по формуле (2).

Ниже приводятся результаты по определению фокусного расстояния некоторой рассеивающей линзы двумя способами.

В таблице экспериментальных данных в правом столбце представлены значения F , вычисленные по формуле (2) для каждой пары d и f . Затем рассчитано среднее значение $F_{\text{ср}} = 35,1$ см и погрешность $\Delta F = \pm 0,3$ см, как среднее отклонение от $F_{\text{ср}}$.

По экспериментальным данным значений d и f из таблицы построен график (рис.3). Фокусное расстояние рассеивающей линзы, полученное с помощью графика, оказалось равным $F = 34,7$ см, что весьма близко к значению F , полученному по формуле (2).

Таблица экспериментальных данных

№ п/п	d см	$10^2 \frac{1}{d}$ см ⁻¹	f см	$10^2 \frac{1}{f}$ см ⁻¹	F см
1	49,2	2,03	20,4	4,90	34,9

2	46,2	2,16	20,2	4,95	35,9
3	43,3	2,31	19,4	5,15	35,1
4	39,7	2,52	18,5	5,40	34,6
5	36,0	2,78	17,8	5,62	35,2
$F_{cp}=(35,1 \pm 0,3)cm$					

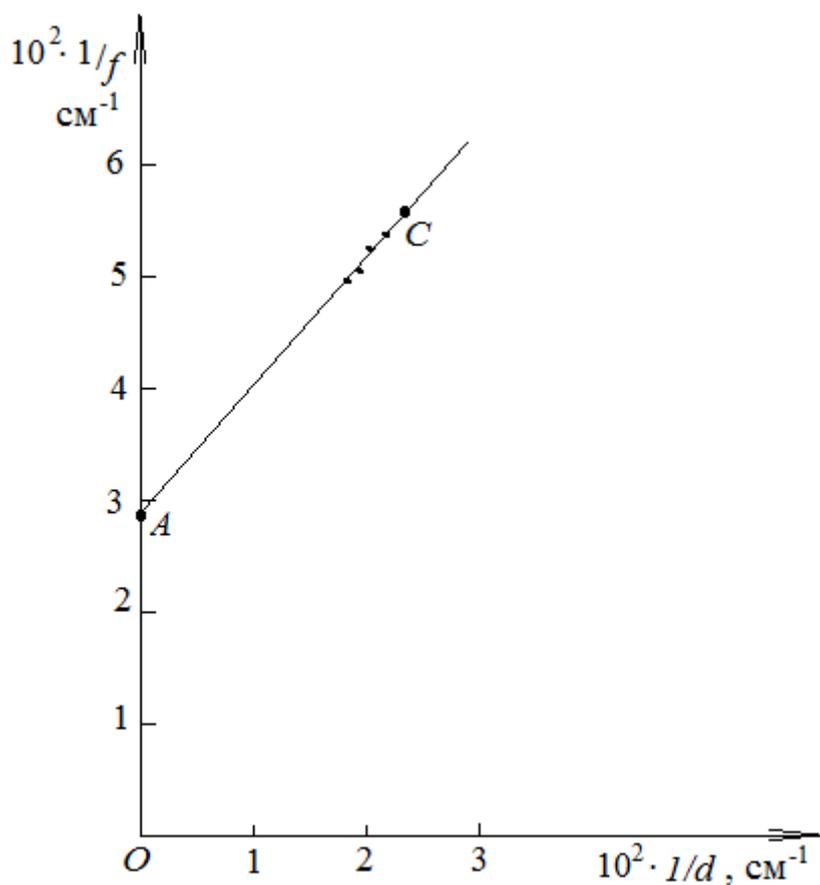


Рис.3 Результаты эксперимента.

Эксперимент полностью подтвердил справедливость предлагаемого метода расчета фокусного расстояния. На графике прямая AC , проведенная через пространство экспериментальных точек, отсекает от оси ординат отрезок $OA=1/F$.

Опыты были проведены с помощью профессиональной оптической скамьи из комплекта приборов к универсальному монохроматору УМ-2.

Литература

1. Лабораторный практикум по элементарной физике; Найденов В.А. и Широких Т.В.- Смоленск, СФ МЭИ, ; 2014, - 76с.
2. Лабораторный практикум по оптике. Под ред. Богатырева А.Ф.– Смоленск: СФ МЭИ; 2011, -88 с.
3. Физика.11кл. Под ред. Пинского А.А. и Кабардина О.Ф.. –М.:Просвещение, 2009.-416с.
4. Найденов В.А. Применение графика при определении фокусного расстояния тонкой собирающей линзы. М.: Потенциал, 2023, №1, с.40-42.

ЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ SOC ZYNQ

В технической литературе под логическим (цифровым) анализатором принято понимать такое устройство, предназначенное для анализа цифровых сигналов логического уровня на этапе отладочных и приемо-сдаточных работ при проектировании или окончательных испытаниях того или иного цифрового устройства на экономических субъектах промышленной направленности. С другой стороны, логические анализаторы зарекомендовали себя при исследовании технического состояния некоторого введенного в эксплуатацию устройства (от простейших проектных решений системы домашней автоматизации до сложных разветвленных систем, например, ПЭВМ).

На данный момент существующие логические анализаторы имеют ряд проблем, например, невозможность масштабирования, ограниченность функционала (упрощенные проверки интерфейсов микропроцессорных взаимодействий [1]), низкая пропускная способность, сложности с переконфигурацией напряжения логического уровня и т.п. Наличие данных недостатков послужило актуальностью настоящего исследования, которое состоит в поиске универсального средства решения обозначенных проблем. Целью исследования является разработка технического средства для решения обозначенных недостатков существующих логических анализаторов и выделение основных преимуществ предложенного прототипа.

Предлагаемое техническое решение можно представить в виде следующей структурной схемы (рисунок 1). Функциональной основой устройства является система на кристалле семейства микросхем *Zynq*, представляющей собой синтез программируемой логической схемы (ПЛИС [2]) и цифрового процессора семейства *ARM*. Отличительной особенностью данной системы является возможность использования преимуществ микросхем различного назначения, то есть с одной стороны, в устройстве можно обеспечить гибкость технических решений за счет отсутствия жесткой архитектуры в ПЛИС, с другой стороны, возможность реализации сложных алгоритмов обработки и передачи данных внешнему устройству по любому из наиболее распространенных интерфейсов микропроцессорных взаимодействий. Периферийно ПЛИС и процессор внутри системы на кристалле *Zynq* связаны по высокоскоростному интерфейсу *AXI4* [3], в результате чего информационный обмен данными между ними будет происходить с минимальными временными задержками.

На структурной схеме (рисунок 1) обозначен «Входной разъем», к выводам которого подключаются внешние сигналы, которые необходимо анализировать конечному потребителю в реальном режиме времени. Управление устройством и прием обработанных данных реализуются внешним устройством, например, ПЭВМ.

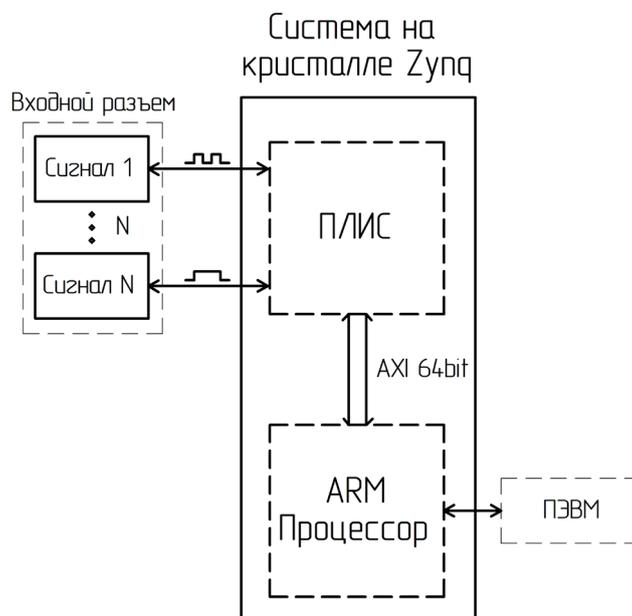


Рисунок 1 – Структурная схема прототипа логического анализатора

Предлагаемое техническое решение реализации логического анализатора на основе ПЛИС и процессора в составе системы на кристалле *Zynq* имеет ряд преимуществ, являющихся ключевыми в области эффективного проектирования и отладки цифровых систем:

1. Использование ПЛИС предлагает широкий спектр программируемых логических ресурсов, что значительно упрощает процесс гибкой настройки и оптимизации анализатора под конкретные требования проекта. Этот фактор позволяет максимально использовать ресурсы схемы, обеспечивая высокую плотность интеграции и сокращение затрат на необходимое оборудование. Кроме того, благодаря возможности буферизации входных сигналов и мультиплексирования их под управлением процессора имеется возможность оперативной конфигурации выводов под конкретные напряжения логических уровней или использования входов в дифференциальном режиме.

2. Использование процессора *ARM* в качестве элемента управления логического анализатора дает возможность реализовать сложные алгоритмы обработки и анализа данных. Процессор *ARM* обладает высокой вычислительной мощностью и широкими возможностями программирования, чтобы обрабатывать входные сигналы с минимальной задержкой и достигать требуемой скорости работы. При этом в памяти микроконтроллера можно разместить множество алгоритмов интерфейсов микропроцессорных взаимодействий для наиболее эффективной отладки. Например, реализация алгоритма управления текстовым ЖКИ, при этом на каждом из этапов тестирования можно отследить причину неудачного функционирования проверяемого устройства.

3. Интеграция ПЛИС и процессора *ARM* в составе системы на кристалле *Zynq* позволяет существенно упростить процесс передачи данных между обоими компонентами. Это обеспечивает наилучшую координацию приема и передачи данных, что способствует эффективной работе логического

анализатора и улучшает общую производительность системы.

4. Использование ПЛИС вместе с процессором *ARM* в составе системы на кристалле *Zynq* также обеспечивает повышенную гибкость и масштабируемость для различных задач анализа и отладки. ПЛИС можно повторно программировать для настройки новых функций и дополнять процессор *ARM* новыми возможностями. Это делает систему логического анализатора настраиваемой, расширяемой и способной приспосабливаться к меняющимся требованиям проекта.

Данные преимущества еще раз подчеркивают актуальность использования сочетания ПЛИС и процессора *ARM* для решения задач промышленной электроники. Так, реализованный на базе системы на кристалле *Zynq* логический анализатор будет обладать повышенной гибкостью и масштабируемостью для различных задач анализа и отладки. Отличительной чертой предлагаемого технического решения является возможность программирования ПЛИС для реализации дополнительного функционала (например, стробируемый анализатор сигналов) и дополнительных возможностей процессора (интерфейсы микропроцессорных взаимодействий, алгоритмы отладки и т.п.), в результате чего система логического анализатора в целом будет настраиваемой, расширяемой и способной приспосабливаться к меняющимся требованиям проекта.

Таким образом, существующие логические анализаторы имеют ряд проблем, например, невозможность масштабирования, ограниченность функционала, низкая пропускная способность, сложности с переконфигурацией напряжения логического уровня и т.п. Для решения данных недостатков было предложено устройство – логический анализатор на основе системы на кристалле *Zynq*, представляющей собой синтез ПЛИС и процессора *ARM* и обозначены основные преимущества предложенного технического решения.

Литература

1. Иди, Ф. Сетевой и межсетевой обмен данными с микроконтроллерами / Ф. Иди. - М.: Додэка XXI, 2017. - 376 с.
2. Зотов В. Проектирование цифровых устройств на базе ПЛИС фирмы Xilinx в САПР серии Vivado HLX Design Suite // Компоненты и технологии. – 2017. – №1. – С. 42-53.
3. Zynq-7000 All Programmable SoC Data Sheet: Overview. – Режим доступа: <http://Xilinx.com/products/silicon-devices/soc/zynq-7000>.

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЛЕРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С WEB-ИНТЕРФЕЙСОМ

В технической литературе под контроллером технологических процессов понимается такое универсальное устройство, на основе которого можно реализовать некоторую систему управления (система домашней автоматизации или система автоматизации производственных процессов на экономических субъектах промышленной направленности). Универсальность в данном случае

обеспечивается тем, что в устройстве заранее не заложен какой-либо определенный алгоритм функционирования устройства (то есть реакция выходов на входные сигналы заранее не определена). Логику работы выбирает проектировщик системы управления на основе контроллера технологических процессов самостоятельно, при этом он указывает требуемую логическую конфигурацию в самом контроллере методом программирования (либо установка через меню оператора [1], либо передача контроллеру прошивки, написанной на языке функционального программирования). Таким образом, контроллеры технологических процессов являются достаточно востребованными устройствами, поскольку предлагают унифицированный инструментарий, на основе которого можно реализовать относительно простые системы управления.

На данный момент существующие контроллеры технологических процессов имеют ряд проблем, например, невозможность масштабирования, ограниченность функционала, связанная с трудностью реализации достаточно разветвленной логики работы контроллера, отсутствие возможности информационного обмена по интерфейсу микропроцессорных взаимодействий *Ethernet* при сравнительно высокой стоимости. Наличие данных недостатков послужило актуальностью настоящего исследования, которое состоит в поиске универсального средства решения обозначенных проблем. Целью исследования является проектирование технического средства для решения обозначенных недостатков существующих контроллеров технологических процессов и выделение основных преимуществ предложенного прототипа.

Предлагаемое техническое решение можно представить в виде следующей структурной схемы (рисунок 1). Функциональной основой устройства является процессор семейства *ARM*, который работает в двух режимах: «Первичная конфигурация» и «Работа». В режиме «Первичной конфигурации» логика устройства, связывающая аналоговые («Вход 1», «Вход 2», «Вход 3» и «Вход 4») и дискретные («Дискр. Вход 1», «Дискр. Вход 2», «Дискр. Вход 3» и «Дискр. Вход 4») входы с дискретными выходами («Реле 1», «Реле 2», «Реле 3», «Реле 4») отключена. При этом оператор с помощью «Клавиатуры» и «ЖКИ» настраивает основные параметры входов, выходов, логики их взаимодействия (закон регулирования и т.п.). С другой стороны, первичная конфигурация может выполняться с помощью внешнего узла «ПЭВМ», связанного с устройством по интерфейсу *Ethernet* [2] (в устройстве при этом предлагается использовать преобразователь интерфейсов *SPI-Ethernet*).

В режиме «Работа» микроконтроллер осуществляет последовательный перебор «Конфигурационной строки», элементами которой являются названия идентификаторов функций и т.п. То есть фактически каждый элемент «Конфигурационной строки» обозначает выполняемое действие (аналого-цифровое преобразование указанного канала, сравнение регистров и т.п.). Сама «Конфигурационная строка» формируется в режиме «Первичная конфигурация» самим МК, если конфигурация выполняется с помощью клавиатуры и ЖКИ.

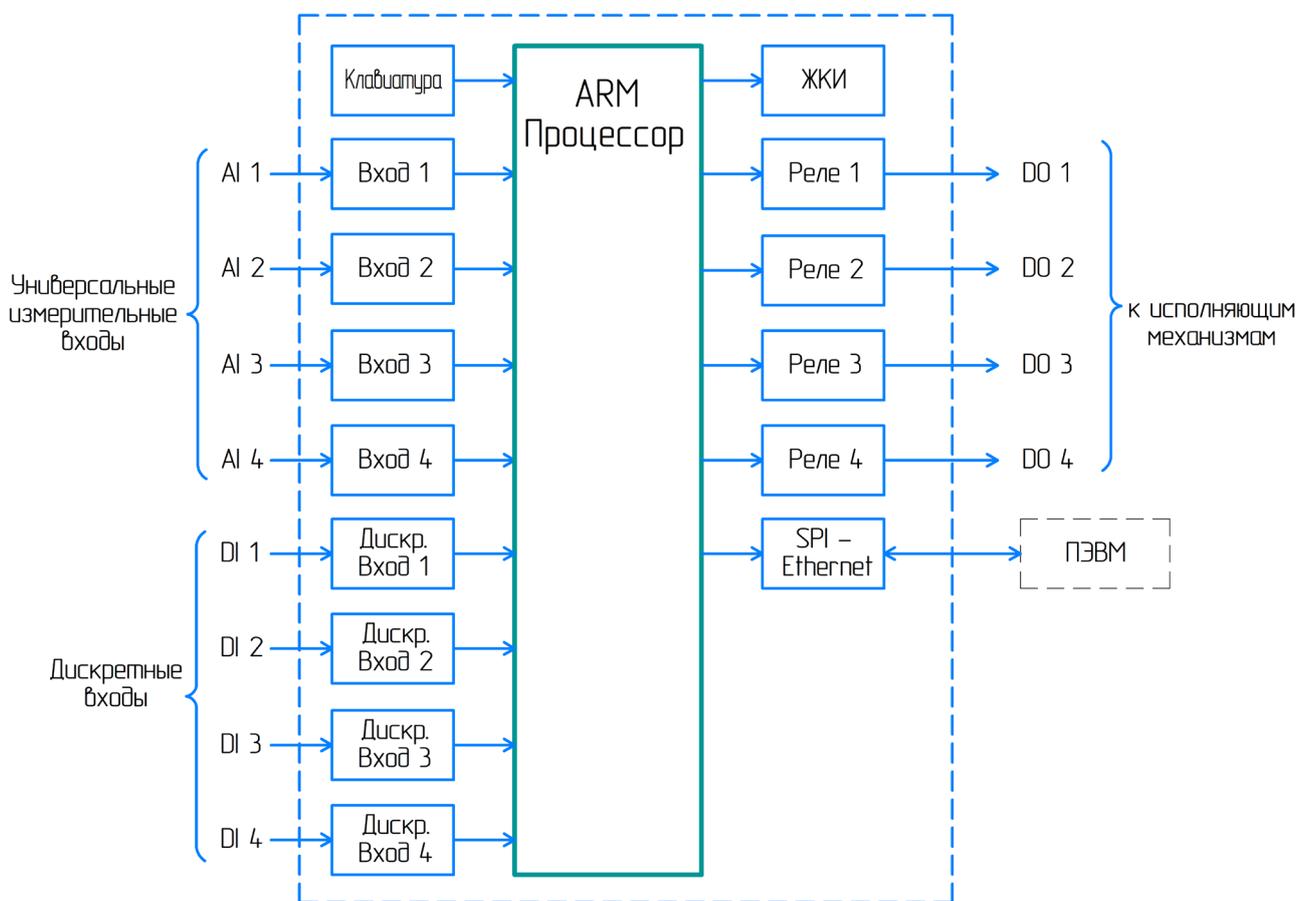


Рисунок 1 – Структурная схема предлагаемого технического решения

При конфигурации с помощью внешнего устройства на ПЭВМ запускается программа для конфигурации или сайт (в случае, если процессор *ARM* работает в режиме сервера), в которых указывается формальное описание логики работы устройства. Введенное оператором описание проверяется на ошибки, при отсутствии которых логика транслируется в «Конфигурационную строку», элементами которой являются названия идентификаторов функций и т.п. Процессор принимает данную строку и аналогичным образом осуществляет последовательный вызов функций в соответствии с описанной логикой его работы.

Рассмотрим основные преимущества предлагаемого технического решения:

1. Универсальность. Благодаря его гибкости, он может быть использован в различных отраслях промышленности, таких как производство, энергетика, сельское хозяйство и многие другие. Более того, контроллер можно выпускать в различных исполнениях, которые поддерживали бы протоколы и интерфейсы микропроцессорных взаимодействий, такие как *Modbus*, *OPC*, *MQTT*, что позволяет интегрировать его с разными системами управления и мониторинга.

2. Простота использования. Графический *WEB*-интерфейс контроллера позволяет операторам управлять и следить за процессами с помощью интуитивно понятных элементов управления и отображения данных. Возможность мониторинга и управления с любого устройства, подключенного

к интернету, делает работу с контроллером максимально удобной и гибкой.

3. Высокая надежность и стабильность работы. Предлагаемое техническое решение обеспечивает постоянный мониторинг всех параметров и сигналов, что позволяет оперативно реагировать на любые отклонения и предотвращать возможные аварийные ситуации. Это значительно повышает эффективность и безопасность производственного процесса.

4. Масштабируемость. Предлагаемый контроллер может быть легко настроен и расширен в соответствии с требованиями производства на экономическом субъекте промышленного назначения. Возможность добавления дополнительных модулей и датчиков позволяет контроллеру эффективно адаптироваться к меняющимся потребностям и условиям производства.

Данные преимущества еще раз подчеркивают актуальность проектирования контроллера технологических процессов с *WEB*-интерфейсом. Так, предлагаемое техническое решение будет обладать повышенной гибкостью и масштабируемостью для различных задач промышленной электроники.

Таким образом, существующие контроллеры технологических процессов имеют ряд проблем, например, невозможность масштабирования, ограниченность функционала, связанная с трудностью реализации достаточно разветвленной логики работы контроллера, отсутствие возможности информационного обмена по интерфейсу микропроцессорных взаимодействий *Ethernet* при сравнительно высокой стоимости. Для решения данных недостатков было предложено устройство – контроллер технологических процессов с *WEB*-интерфейсом и обозначены основные преимущества предложенного технического решения.

Литература

1. Мартин Т. Микроконтроллеры Atmega. Семейство микроконтроллеров AVR. Вводный курс. – М.: изд. Додэка-XXI, 2010. – 296 с.
2. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Беспроводные сети и проводные топологии. 5-е изд. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.

*Д.С. Рассказа, к. т. н., доц.; А.В. Прудников, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ЛИТИЙ-ПОЛИМЕРНОГО АККУМУЛЯТОРА

Много людей в нашем мире используют смартфоны и иные портативные гаджеты. Их приходится ежедневно заряжать. Самый удобный способ – это передача электрической энергии без использования токопроводящих элементов. Для телефонов можно применить индукционный метод. Благодаря явлению взаимной индукции, на вторичной обмотке устройства создается наведенный ток с первичной обмотки. Данный способ работает на малом расстоянии, но имеет высокий КПД и прост в реализации. Литий-полимерные аккумуляторы самые распространенные источники питания в гаджетах.

Была разработана структурная схема данной разработки (рис. 1).

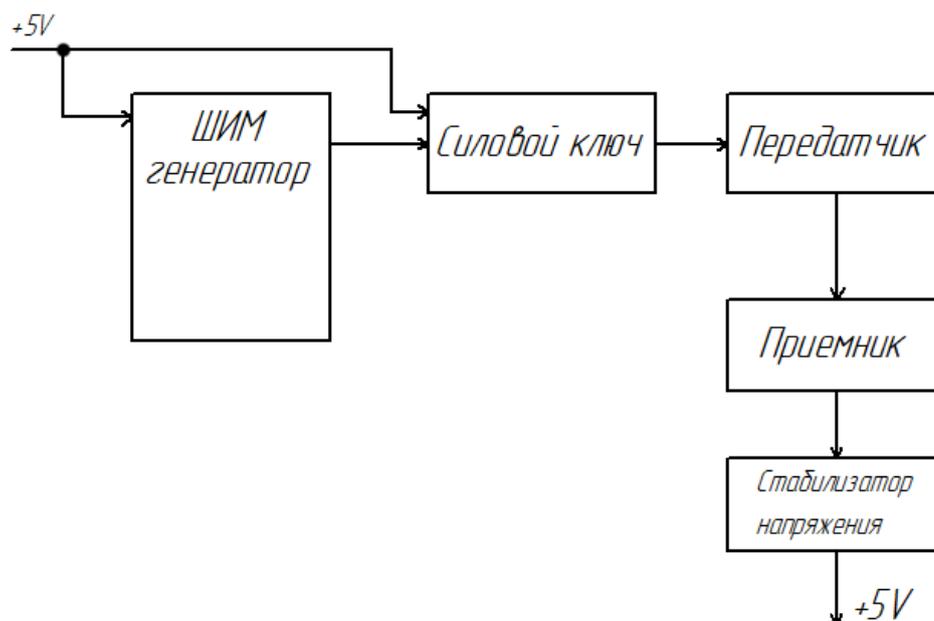


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Беспроводная зарядка состоит из 4 основных компонентов:

- ШИМ генератор на UC3843,
- силовой ключ из полевого транзистора,
- передатчик - первичная катушка,
- приемник - вторичная катушка,
- стабилизатор напряжения.

Беспроводное устройство рассчитано на 5 Вт. Передача тока производится в диапазоне 300-350 кГц.

В современных сложных для электроники условиях было принято решение реализовывать сборку разрабатываемого устройства на компонентах отечественного производства. Таким образом, в качестве ШИМ-контроллера будет выбран К1033ЕУ16 (рис. 2). Микросхема предназначен для построения импульсных источников питания с регулированием по току. Для плавного запуска самого ШИМ котроллера в цепь питания был встроены термистор. Необходимый номинал термистора $R_{K1} = 15$ ом.

Для расчета минимальной индуктивности катушек нужна формула [1]:

$$L_{\text{MIN}} = \frac{V_{\text{OUT}} * (V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}})}{K * I_{\text{OUT}} * V_{\text{IN}} * F}$$

где V_{OUT} - выходное напряжение, В; V_{IN} - входное напряжение, В; k - коэффициент допустимых пульсаций тока; I_{OUT} - выходной ток, А; f - частота работы ШИМ, Гц.

Минимальная индуктивность катушек равна 0.224 мкГн.

Основой для выбора ключа стоит его быстродействие. Используется кремниевый эпитаксиально-планарный полевой транзистор с изолированным затвором обогащением n-канала и встроенным обратносмещенным диодом. Предназначен для использования в источниках вторичного электропитания, в регуляторах, стабилизаторах и преобразователях с непрерывным импульсным управлением.

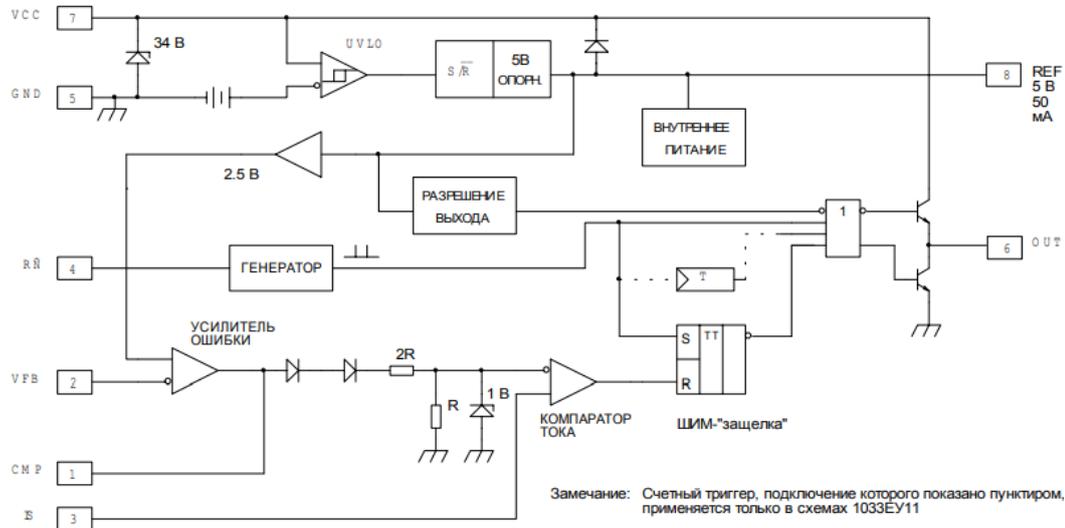


Рисунок 2 – Функциональная схема К1033ЕУ16

При переключении ключа на первичной обмотке может появиться выброс напряжения. Для защиты ключевого транзистора от выбросов используются TVS-демпфер (рис. 3).

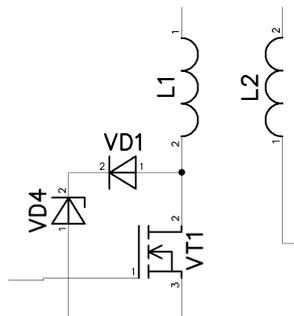


Рисунок 3 – TVS-демпфер

В качестве выпрямителя использована схема идеального диода (рис. 4).

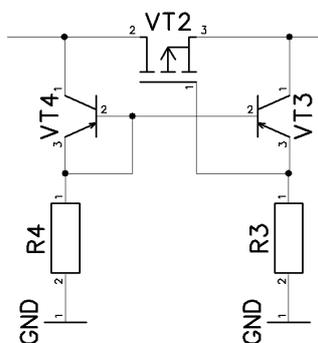


Рисунок 4 – Схема идеального диода

Такая схема увеличит КПД устройства. Для схемы идеального диода выбирается полевой транзистор р-канальный с минимальным сопротивлением открытого канала, поскольку падение напряжения на полевом транзисторе меньше, чем на биполярном. Основой для выбора стал КП103Е1.

В качестве источника питания используется проводное зарядное устройство для телефона с выходными характеристиками 5 В и 1 А.

Таким образом, было разработано беспроводное зарядное устройство литий-ионных аккумуляторов на основе отечественных компонентов.

Литература

- 1) Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М.: Издательский дом «Додека-XXI» 2005. – 528 с.
- 2) Лу С., Ванг П. и др. Технология беспроводной зарядки // Беспроводные технологии. 2017. №3. С. 56-64; №4. С. 37-43.

*Д.С. Рассказа ст.пр.; Н.С. Якушов, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Микроэлектроника является важнейшей отраслью современной технологии и играет ключевую роль в развитии современной цифровой эпохи. Производительность микроэлектронных устройств, таких как микропроцессоры, микросхемы памяти и другие компоненты, определяет эффективность и функциональность широкого спектра технических устройств, начиная от смартфонов и компьютеров и заканчивая медицинской аппаратурой и автомобилями.

Один из наиболее важных аспектов, влияющих на производительность микроэлектронных устройств, связан с выбором материалов, из которых они изготавливаются. Каждый материал обладает своими уникальными свойствами, включая электрическую проводимость, теплопроводность и механическую прочность. [1] Выбор правильного материала может значительно повысить производительность устройств и снизить энергопотребление, что является важным фактором в эпоху энергосбережения и экологической устойчивости.

Исследования материалов имеют практическую значимость для инженеров и разработчиков микроэлектронных устройств, а также могут способствовать

развитию более эффективных и экологически устойчивых технологий микроэлектроники.

Для проведения исследования было выбрано три различных материала: кремний (Si), графен (C), и нанотрубки углерода (CNTs). [3] Эти материалы были выбраны из-за их значимости и интереса в области микроэлектроники.

Кремний является традиционным материалом для микроэлектронных устройств и широко используется в современной индустрии. Графен и нанотрубки углерода представляют собой новые исследовательские направления, обещающие революционные возможности для микроэлектроники благодаря своим уникальным структурным и электронным характеристикам.

Эксперименты включали в себя изучение изготовленных микроэлектронных устройств на основе каждого из этих материалов и измерение следующих ключевых характеристик:

1. Скорость работы в ГГц. Для оценки этого параметра измерялась максимальная рабочая частота на основе каждого из исследуемых материалов, что позволило сравнить их производительность.

2. Энергопотребление в Вт — оценивалось энергопотребление устройств, чтобы определить, какой материал обеспечивает наиболее эффективное использование энергии.

3. Тепловое излучение (мВт) — измерялось количество тепла, излучаемого каждым устройством, что имеет важное значение для управления температурой в микроэлектронных устройствах.

Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Влияние различных материалов на производительность микроэлектронных устройств

Материал	Скорость работы	Энергопотребление	Тепловое излучение
Кремний	250%	50%	1000%
Графен	320%	30%	800%
Нанотрубки CNT	400%	20%	600%

Из таблицы видно, что графен и нанотрубки углерода превосходят на 470% кремния по скорости работы и энергопотреблению. Они также могут стать важным фактором для предотвращения перегрева микроэлектронных устройств.

Исходя из результатов исследования, были сделаны следующие выводы:

1. Графен и нанотрубки углерода подходят для применения в микроэлектронике благодаря их высокой скорости работы и эффективному энергопотреблению на 350% и 420%.
2. Применение нанотрубок углерода может важна для уменьшения риска перегрева микроэлектронных устройств на 600%.

Эти результаты подчеркивают важность выбора материалов в разработке микроэлектронных устройств и могут внести вклад в создание более.

Помимо основных экспериментов, проведенных в рамках текущего исследования, существует ряд дополнительных параметров и характеристик, которые следует проанализировать для более полного понимания влияния материалов на производительность микроэлектронных устройств. [2]

Например:

1. Исследования долгосрочной надежности материалов могут помочь оценить их устойчивость к факторам старения и износа, что критически важно для долгосрочного функционирования устройств.

2. Эффективность в экстремальных условиях, поскольку микроэлектронные устройства могут использоваться в экстремальных условиях, таких как высокие температуры или радиационное излучение. Исследования влияния материалов на работу выполненных на их основе электронных компонентов в таких условиях могут быть весьма полезными.

3. Микроэлектронные компоненты могут быть интегрированы с различными технологиями для создания новых устройств и систем. Например, они могут быть объединены с квантовыми точками для создания более эффективных источников света или с фотоникой для создания высокоскоростных коммуникационных систем. Однако, такая интеграция может потребовать дополнительных исследований и разработок для оптимизации взаимодействия между различными технологиями.

4. Экологические аспекты производства и использования микроэлектронных компонентов являются важными вопросами, которые необходимо учитывать. Оценка воздействия на окружающую среду должна включать рассмотрение выбора материалов, а также возможности их утилизации и переработки. Это может включать в себя использование экологически чистых материалов, снижение потребления энергии и воды, а также разработку процессов, которые минимизируют выбросы вредных веществ.

5. Проведение дополнительных исследований в области применения нанотехнологий может помочь улучшить эффективность микроэлектронных устройств и оценить их потенциальные ограничения и возможности.

На основе проведенного исследования влияния различных материалов на производительность микроэлектронных устройств, можно сделать следующие ключевые выводы:

1. Графен и нанотрубки углерода представляют большой потенциал: Эти материалы демонстрируют высокую скорость работы (320%-Графен) и (400%-Нанотрубки) и эффективное энергопотребление, что делает их многообещающими для будущих микроэлектронных устройств. Их способность снижать тепловое излучение также является значимым преимуществом на 800% (Графен) и 600% (Нанотрубки углерода).

2. Кремний остается важным материалом: Кремний, как традиционный материал, все еще имеет свое место в микроэлектронике и обеспечивает удовлетворительную производительность. Он также остается доступным и экономически выгодным.

3. Зависимость от конкретных задач: Выбор материала для микроэлектронных устройств должен зависеть от конкретных задач и требований. Графен и нанотрубки углерода могут быть предпочтительными в случаях, когда необходима высокая производительность, а кремний может быть более подходящим в экономических аспектах или для устройств с более низкой производительностью.

Проведение исследований и экспериментов в области микроэлектроники поможет улучшить существующие технологии и создать новые, более совершенные устройства. Кроме того, это позволит лучше понять свойства различных материалов и их влияние на работу микроэлектронных устройств, что, в свою очередь, может привести к новым открытиям и инновациям в данной области.

Литература:

1. Томпсон, М. Н. (2018). Введение в микроэлектронику. Издательство Оксфордского университета.
2. Гарсия, Р. Д. (2020). Полупроводниковые приборы: физика и технология. Уайли.
3. Ли, Ю., и Чжан, Х. (2019). Наноматериалы для микроэлектроники: вызовы и возможности. *Наноразмерный*, 11 (20), 9543-9555.

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

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА КОПИЛКИ С ЭЛЕКТРОННЫМ СЧЁТЧИКОМ НАКОПЛЕННЫХ МОНЕТ

Копилка с электронным счётчиком монет поможет накопить небольшую сумму денег, контролировать мелкие расходы, будет мотивировать Вас для накопления денег на вещь, о которой давно мечтали.

Существует большое количество копилки, различные по стоимости и по использованию: одноразового или многоразового.

Однако стоимость многоразовых копилки высока. Стоимость одноразовых копилки не так высока, но в дальнейшем при покупке новой копилки приведёт к трате денег.

Самые популярные копилки по стоимости и назначению:

- 1) Электронная копилка со счётчиком монет RUJU1978 — 1830 руб. (рис.1а);
- 2) Копилка РЕМЕКО керамическая — 617 рублей (рис.1б);
- 3) Копилка деревянная — 5500 рублей (рис.1в);



(a)



(б)



(в)

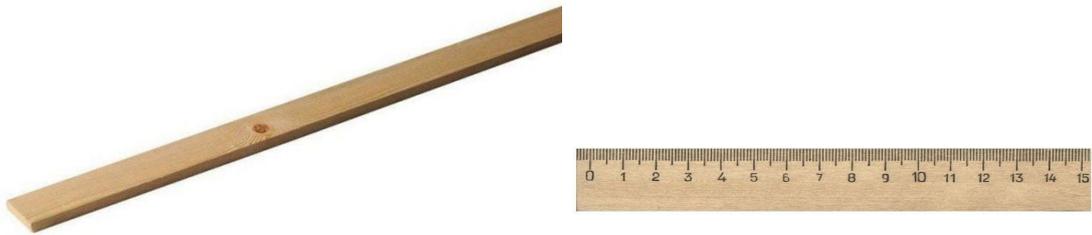
Рисунок 1 — Копилки

Целью разработки проекта стала копилка с электронным счётчиком накопленной суммы, а также с возможностью вывода количества монет разного номинала, с применением общедоступных материалов и не дорогих компонентов.

Корпус разрабатываемого устройства сделан из муфты 110 мм. с заглушками с обеих сторон рисунок 2а. В качестве жолоба задающего траекторию движения монеты до считывающего устройства понадобится: две деревянные планки 30x10мм. длиной 5 см. и деревянная линейка рисунок 2б.



(a)



(б)

Рисунок 2 — Составные части изделия

Разрабатываемое устройство выполняет следующие функции:

- 1) отображение на дисплее накопленной суммы;
- 2) отображение количества каждого номинала монет;
- 3) ввод желаемой суммы накопления;
- 4) вывод на дисплей цели желаемой суммы накопления;
- 5) разблокировка замка при выполнении цели.

Функциональная схема представлена на рисунке рисунок 3.

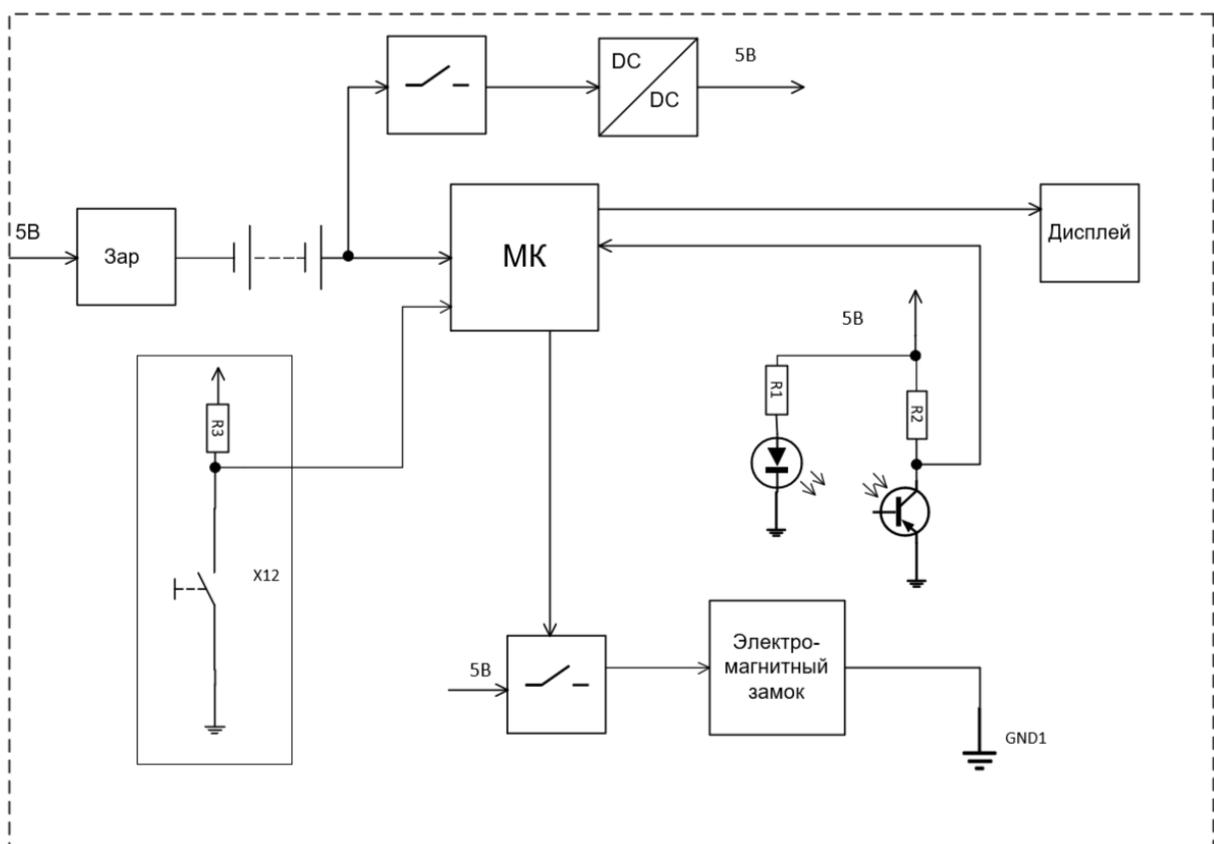


Рисунок 3 — Функциональная схема

Питание от аккумулятора подаётся на зарядно защитный модуль и на микроконтроллер. Механизм считывающего устройства монет, следующий: светодиод и фототранзистор будут находится друг на против друга на расстоянии. Монета прерывает сигнал со светодиода на фототранзистор тем самым фиксируется сигнал попадания монеты в копилку. Сигнал поступает на микроконтроллер, тем самым включая систему. Механизм так же определяет номинал монеты по размеру и по времени. Точность измерения катящейся монеты по жолобу представлена на рисунке 4. По вертикальной оси — величина сигнала, а по горизонтальной оси — время. Микроконтроллер сравнивает максимальное значение с датчика, с записанным в память значением. Таким образом он узнает номинал монеты.

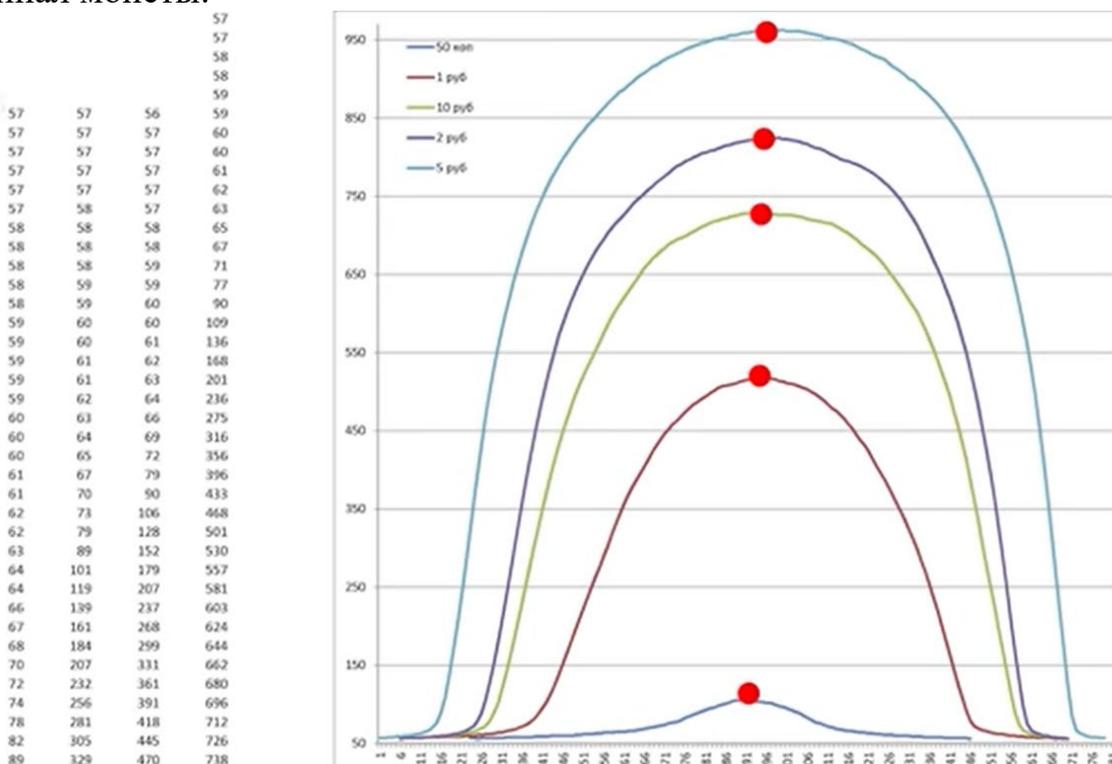


Рисунок 4 — Точность измерений каждого номинала монеты

Для визуализации информации на корпусе устройства установлен дисплей, который включается при срабатывании микроконтроллера. На дисплее отображается сумма монет, которая находится в копилке и цель желаемой суммы накопления. При достижении цели, электромагнитный замок откроется и можно будет извлечь накопленную сумму.

В настоящий момент ведется моделирование работы устройства и уточнение компонентной базы.

Литература

1. YouTube, AlexGyver. (2014, июнь 10). Копилка со счётчиком монет своими руками на Arduino
2. [Видео файл]. Взято из. https://www.youtube.com/watch?v=cjRWSUdme2g&list=PLE17_2Gh_D5DwGBwFiS_kwaj3r8x9-au&index=5

3. https://www.ozon.ru/product/denezhnyy-yashchik-atol-cd-410-272861114/?asb2=2LQ42ozbErfaZ9H_72wkM0wSnFZ0MoaeXyrODVLguSRla8-EtHfyW1qdvvCOQeK2&avtc=1&avte=2&avts=1696443647#section-description--offset-140. Деревянная копилка.

4. https://www.ozon.ru/product/kopilka-seyf-elektronnaya-886295542/?asb=ORH%252BumrnqUv6NoA8JBfx%252B666lp%252Bdx8T3HibUeKdPkH%252BNuvO%252F9XcMcJDO3eonyaE7&asb2=SC2yDgsf3HO7qVGx5mucD7heG33PaDvDYFXEv5MfJ_JtAdWw2pQqMgi0_gqZEENucfYnAyYCxcb1PLDNbUH_VDSX9ti6wALM7ZGirklnQRNy75lifFl_XVZhsD6ts7t26H41vk-d2KvY2ZGHPQOe9NBrlg0Qjwce0q3cdvm8DfQ&avtc=1&avte=2&avts=1696446065&keywords=копилка+c+дисплеем. Копилка с дисплеем.

5. https://www.ozon.ru/product/kopilka-keramika-rozovaya-svinka-hryushka-548677350/?asb=tK0e00bjPdXqAKHDbJ%252BPe9jIQmlnljSkYb3ztScjMX4%253D&asb2=QFCezPkcNjI5_Ti4gzTi3mLsgBQQRQIRVcNZAtVj2JmA. Копилка керамическая свинка.

*В.А. Смолин, доц.; А.А. Бугрова, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ» в г. Смоленске)*

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРМУШКИ ДЛЯ ЖИВОТНЫХ

Автоматическая кормушка для животных – устройство, предназначенное для кормления вашего питомца в заданном количестве и в определенное время. Данное устройство лучший выход для хозяев, которым часто приходится оставлять домашнее животное как на длительные, так и на короткие промежутки времени, одного.

Существует большое количество автоматических кормушек для питомцев, однако их стоимость высока.

Самые популярные модели автоматических кормушек для животных:

- Xiaomi Smart Pet Food Feeder (BHR6143EU) – 8390 руб. (рис. 1а);
- TuttoTuo – 9104 руб. (рис. 1б);
- Kitfort КТ-2084 – 4990 руб. (рис. 1в).



Рисунок 1 – Кормушки фирм: Xiaomi (а), TuttoTuo (б), Kitfort (в)

Целью разработки проекта стало разработка автоматической кормушки для животных на платформе Arduino Nano, с применением общедоступных и сравнительно не дорогих компонентов.

Разрабатываемое устройство будет бункерного типа (рис. 2). Бункерная кормушка – емкость, в которой находится запас корма. В течение дня он порционно подается в тару, к которой домашнее животное имеет доступ. В первоисточнике [1] в качестве бункера взята пятилитровая бутылка. Но крепление такой конструкции будет непрактичным и неустойчивым. Будут использоваться следующие материалы: тройник на 50мм, отрезок трубы 50мм, переходник с 50мм на 100мм, а также муфта с заглушкой. Если данный объем окажется мал, то будет установлен дополнительный резервуар.



Рисунок 2 – Кормушка бункерного типа.

Разрабатываемое устройство выполняет следующие функции:

- дозирует порцию корма;
- выдаёт корм по времени.

Функциональная схема представлена на рисунке (рис. 3).

С внешнего источника питания на вход устройства поступает электроэнергия, в этот момент переключатель меняет свое положение. При такой работе устройство запитывается от домашней электросети 230В через адаптер. На случай отключения электроэнергии предусмотрен резервный источник питания – аккумуляторная батарея. Переключатель возвращается в исходное положение и устройство продолжает работать от заранее заряженного АКБ. Заряжается аккумуляторная батарея при работе автокормушки от внешнего источника питания.

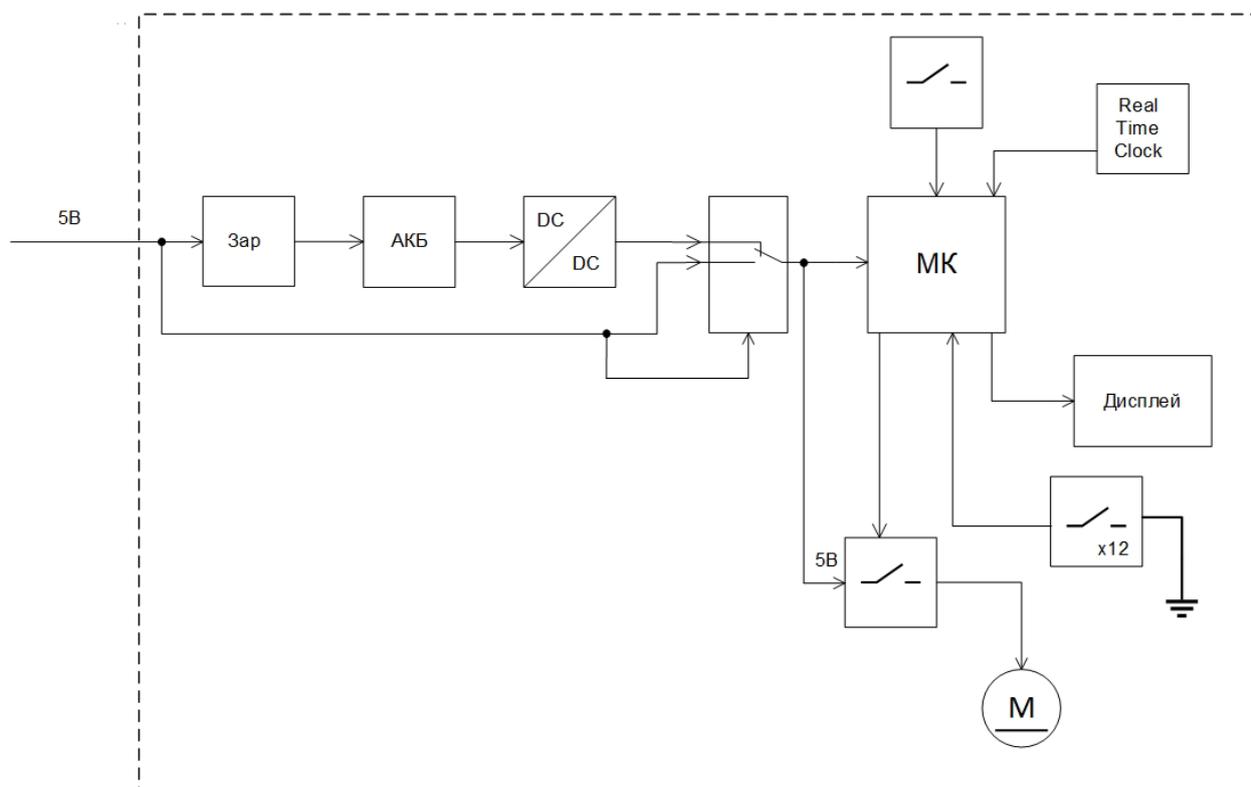


Рисунок 3 – Функциональная схема

Для визуализации информации пользователю на корпусе устройства установлен дисплей.

Так как разрабатываемое устройство предусматривает кормление питомца в определенное время использован модуль часов реального времени (Real Time Clock, RTC). Модуль отсчитывает точное время и может его сохранять даже в случае отключения основного источника питания.

При помощи драйвера проводится автоматическое управление электромотором с использованием электроэнергии. Микроконтроллер сможет выдавать на мотор 20мА, для корректной работы шагового мотора требуется 1,5А. По этой причине будем использовать полумостовой драйвер.

Чтобы подавать корм домашнему животному, установлен двухзаходный шнек (рис. 4). Он представляет собой две спирали, которые образуют «шнековый корпус». Внутри корпуса спирали вращаются в противоположных направлениях, что создает давление и перемещение корма. Опираясь на первоисточник [2], в котором в качестве материала для детали используется тонкий, но прочный пластик и ПВХ трубка, сделан вывод что это решение недолговечно для внедрения в устройство. Обусловлено это тем, что будет установлен шаговый электродвигатель. Для устранения заклинивания шнека мотор запрограммирован на работу вперед и несколько шагов назад, т.е. создано вибрационное движение. Поэтому, в пользу надежности и удешевления, деталь будет распечатана на 3D принтере, так она будет более крепкой. Проектирование конструкции самой детали будет при помощи программы Fusion 360.

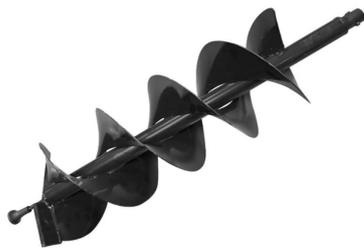


Рисунок 4 – Двухзаходный шнек

Управлять автокормушкой будет микроконтроллер ATmega328. – Также это сравнительно не дорогой микроконтроллер.

В настоящий момент ведется натурное моделирование работы устройства и уточнение компонентной базы.

Литература

1. YouTube, AlexGyver. (2020, февраль 7). Автоматическая кормушка своими руками [Видео файл].
Взято из https://www.youtube.com/watch?v=cjRWSUdme2g&list=PLeE17_2Gh_D5DwGBwFiS_kwaj3r8x9-au&index=5
2. YouTube, AlexGyver. (2021, февраль 6). Автоматическая кормушка для котов v2 [Видео файл].
Взято из https://www.youtube.com/watch?v=bSHrbUtcwE0&list=PLeE17_2Gh_D5DwGBwFiS_kwaj3r8x9-au&index=1

*В.А. Смолин, к.т.н., М.С. Ковалева, асс.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО УСТРОЙСТВА НА ЛОГИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТАХ

Умение осуществлять расчет электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием автоматизированных средств проектирования является одной из важнейших компетенций будущего инженера.

Дисциплина «автоматизированное проектирование электронных устройств» ставит своей целью подготовку обучающихся к проектно-конструкторской деятельности. В частности, в рамках выполнения курсового проекта по указанной дисциплине необходимо реализовать схему цифрового устройства, спроектированного на основе логических компонентов.

Выполнение курсового проекта необходимо реализовывать в следующей последовательности:

- для автоматизации процесса разработки построить таблицу истинности с использованием онлайн-ресурса [1];
- в программе схемотехнического моделирования реализовать математическую модель разрабатываемого устройства на идеальных логических компонентах, промоделировать спроектированную схему;

- заменить идеальные компоненты реальными моделями отечественного производства, промоделировать разработанную схему, проанализировать и сделать выводы;
- провести минимизацию полученной схемы по корпусам, промоделировать разработанную схему, проанализировать и сделать выводы;
- провести борьбу с гонками в полученной схеме путем добавления элементов задержки, промоделировать разработанную схему, проанализировать и сделать выводы;
- в системе автоматизированного проектирования разработать библиотеку компонентов согласно ГОСТ;
- средствами системы автоматизированного проектирования оформить разработанную схему согласно ГОСТ, спроектировать печатную плату на разрабатываемое устройство и оформить конструкторскую документацию на разработанные схему и плату.

Минимальными требованиями к курсовому проекту являются разработка математической модели цифрового устройства на реальных логических компонентах, а также разработка схемы электрической принципиальной проектирование печатной платы устройства с оформлением конструкторской документации.

Разработка цифрового устройства осуществляется согласно уравнению:

$$Y = c + \overline{a \cdot b} \oplus c + \overline{d \cdot f \cdot a} + e \cdot \overline{g \cdot b} + \overline{e \cdot a} \oplus b + \overline{c \cdot a} \cdot d \cdot g \cdot b \cdot \overline{a} + \overline{e \cdot c} + a \cdot b, \quad 1)$$

где a, b, c, d, e, f, g — входные сигналы;
 Y — выходной сигнал.

Для автоматизации процесса необходимо воспользоваться онлайн-ресурсом «Построение таблицы истинности» и получим значение вектор-функции Y . По заданному уравнению (1) онлайн-ресурс составляет таблицу истинности согласно количеству переменных в уравнении. Так как устройство обрабатывает семь входных сигналов, то таблица истинности содержит $2^7=128$ состояний. Таким образом, вектор-функция равна:

$Y = 1100110000000000111111111111111100110011111111110000000000$
 0000001111111100
 $0011111111111111111111111101000000000000000000000000000.$

Математическая модель цифрового устройства на идеальных логических компонентах проектируется в программе схемотехнического моделирования Micro-Cap согласно заданному уравнению (1). Для упрощения восприятия схемы будем использовать буквенные ссылки. Порядок выполнения логических операций следующий:

- инверсия,
- логическое умножение (конъюнкция),
- логическое сложение (дизъюнкция),
- исключаящее ИЛИ (сложение по модулю 2).

С учетом вышеизложенного была разработана математическая модель (рис. 1) цифрового устройства.

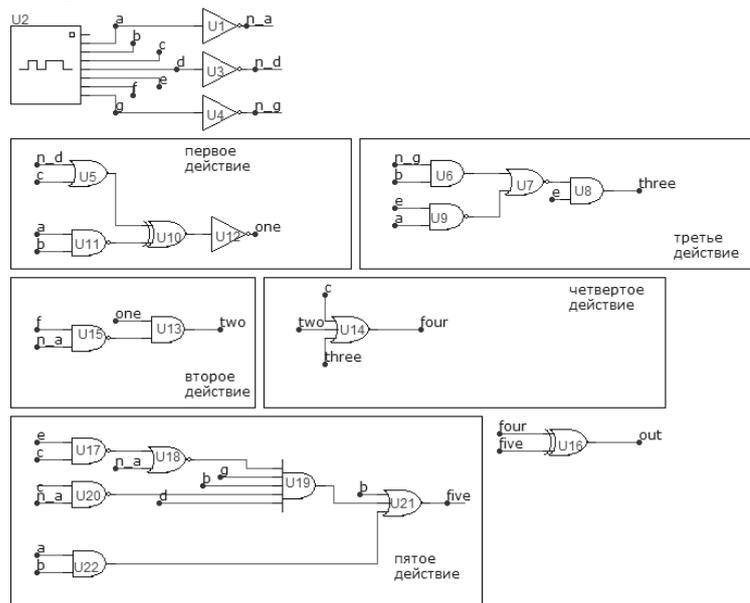


Рисунок 6 – Математическая модель цифрового устройства на идеальных компонентах

Был построен график выходного сигнала *Out* (рис. 2). В качестве входных сигналов используется случайная последовательность чисел от 0 до 127 ($dec(a,b,c,d,e,f)$), чтобы осуществлялся перебор всех состояний таблицы истинности.

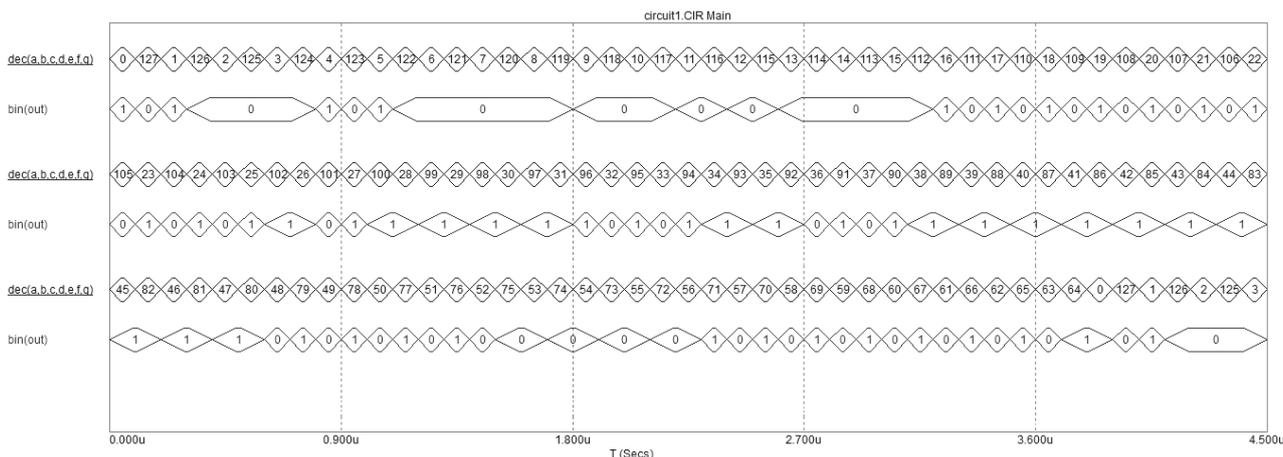


Рисунок 7 – Моделирование работы цифрового устройства

Результаты моделирования цифрового устройства соответствуют значению вектор-функции выходного сигнала *Y*. Как видно из графиков, математическая модель устройства, реализованная на идеальных логических компонентах, не обеспечивает синхронного переключения между элементами и полное отсутствие задержек.

Обязательным условием выполнения курсового проекта является составление математической модели устройства на реальных логических компонентах отечественного производства. Согласно уравнению (1) и спроектированной ма-

тематической модели (рис. 1) для реализации цифрового устройства потребуются ряд стандартных логических компонентов:

- НЕ;
- 2И, 2И-НЕ;
- 4И;
- 2ИЛИ, 2ИЛИ-НЕ;
- 3ИЛИ;
- исключающее «ИЛИ», исключающее «ИЛИ»-не.

При построении математической модели были задействованы: три элемента НЕ, один элемент 2ИЛИ, два элемента 2ИЛИ-НЕ, два элемента 3ИЛИ, четыре элемента 2И, один элемент 5И, пять элементов 2И-НЕ, один элемент исключающее ИЛИ и один элемент исключающее ИЛИ-НЕ.

Отечественные производители выпускают микросхемы стандартной логики в следующих вариациях: шесть элементов НЕ в одном корпусе, четыре элемента 2ИЛИ в одном корпусе, четыре элемента 2ИЛИ-НЕ в одном корпусе, четыре элемента 2И в одном корпусе, четыре элемента 2И-НЕ в одном корпусе, три элемента 3ИЛИ-НЕ в одном корпусе, один элемент 6И в корпусе, четыре элемента исключающее ИЛИ в одном корпусе. Таким образом, при использовании вышеперечисленных элементов для построения схемы на реальных компонентах потребуется:

- одна микросхема 6xНЕ;
- одна микросхема 4x2ИЛИ;
- одна микросхема 4x2ИЛИ-НЕ;
- одна микросхема 3ИЛИ-НЕ при совместном использовании с микросхемой 6xНЕ для получения элемента 3ИЛИ;
- одна микросхема 4x2И;
- две микросхемы 4x2И-НЕ;
- одна микросхема 6И;
- одна микросхема исключающее ИЛИ при совместном использовании с микросхемой 6xНЕ для получения элемента исключающее ИЛИ-НЕ.

Для подбора электронной компонентной базы необходимо воспользоваться кратким справочником по отечественным компонентам [2]. С учетом перечня элементов, необходимых для проектирования цифрового составляется таблица соответствия (табл. 1) идеальных и реальных логических элементов.

Таблица 1 – Таблица подбора логических элементов

Идеальный компонент	Задержка, нс		Реальный компонент	Задержка, нс	
	вкл	выкл		вкл	выкл
НЕ	0	0	К555ЛН1	20	20
2ИЛИ	0	0	К555ЛЛ1	22	22
2ИЛИ-НЕ	0	0	К555ЛЕ1	15	15
3ИЛИ	0	0	К555ЛЕ4+ К555ЛН1	15+20	15+20
2И	0	0	К555ЛИ1	24	24
2И-НЕ	0	0	К555ЛА3	20	20

5И	0	0	К109ЛИ1А	50	55
исключающее ИЛИ	0	0	К555ЛП5	22	30
исключающее ИЛИ-НЕ	0	0	К555ЛП5+ К555ЛН1	22+20	22+20

Математическая модель цифрового устройства на реальных компонентах (рис. 3) была реализована с использованием девяти микросхем.

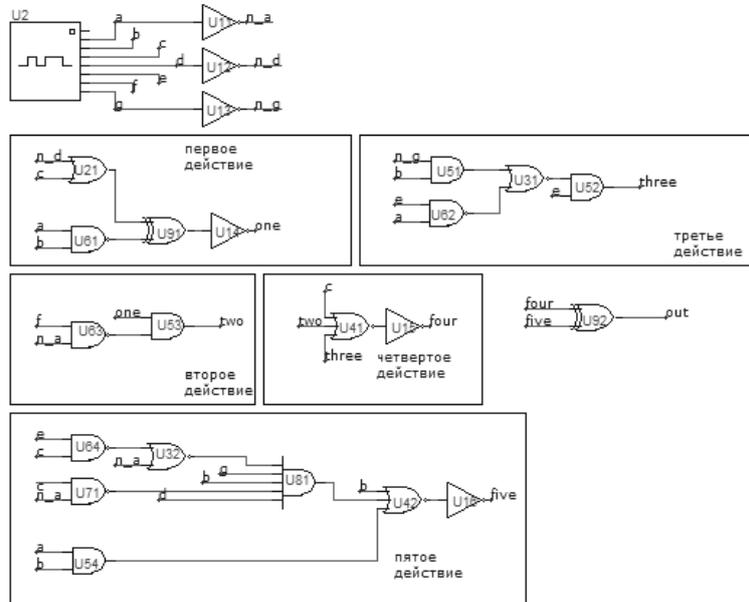


Рисунок 8 – Математическая модель цифрового устройства на реальных компонентах

Был построен график выходного сигнала *Out* (рис. 4).

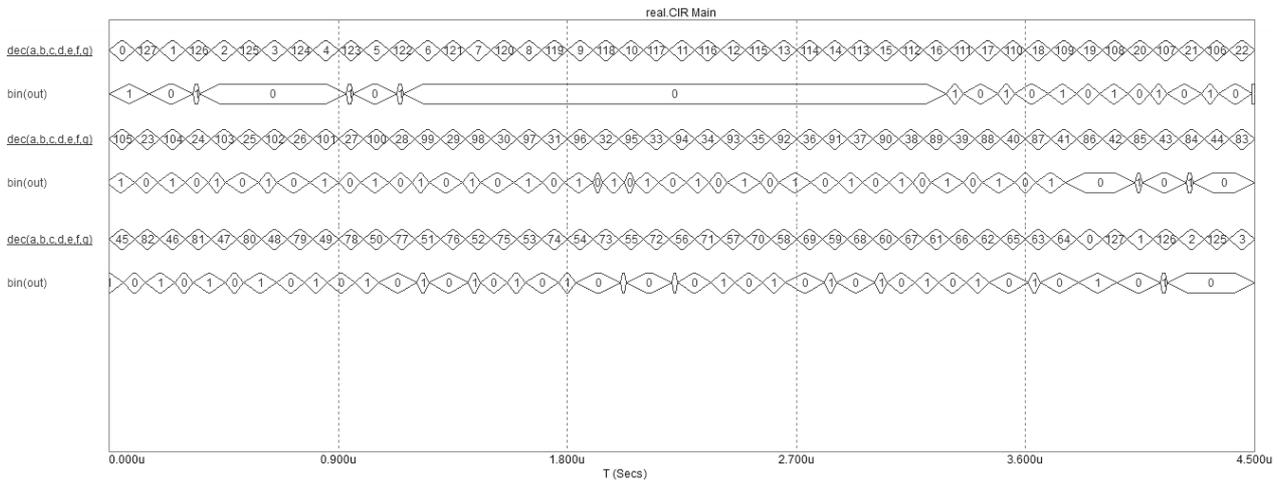


Рисунок 9 – Моделирование работы цифрового устройства

Результаты моделирования цифрового устройства показали, что при использовании реальных моделей логических компонентов при переключении появляются ложные выходные состояния. Это объясняется тем, что кроме того, что сигналы, поступающие с выходов одних логических компонентов на входы других, приходят не одновременно, так и в реальных логических компонентах время задержки распространения не совпадает.

Таким образом, результатом выполнения курсового проекта станет закрепление обучающимися компетенции в соответствии с ФГОС и ОП ВО по курсу «автоматизированное проектирование электронных устройств». А именно, обучающиеся получают навыки расчета и проектирования электронных схем и пробов различного функционального назначения с использованием автоматизированных средств проектирования.

Литература

1. Построение таблицы истинности. СДНФ. СКНФ. Полином Жегалкина. [Электронный ресурс] — URL: <https://programforyou.ru/calculators/postroenie-tablitsci-istinnosti-sknf-sdnf> (дата обращения 05.10.2023).
2. Краткий справочник по все отечественным микросхемам. [Электронный ресурс] — URL: <https://chipinfo.pro/elements/chip/allrussianchips.shtml> (дата обращения 07.10.2023).

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

ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ СЕГМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Современный мир невозможно представить без информационных сетей различного уровня от локальных домашних на 3-5 устройств, до глобальных, охватывающих весь мир. Неотъемлемой частью большинства локальных сетей являются кабельные сегменты, передающие по помехозащищенному дифференциальному интерфейсу данные между устройствами сегмента. Нередко в процессе эксплуатации или же при обжимке кабеля может возникнуть ряд дефектов, таких как:

- обрыв одного или нескольких проводников витой пары;
- закороченная витая пара;
- перекрещенные провода;
- перевернутая пара;
- расщепленные пары;
- перегнутые пары;
- повышенное сопротивление жилы;
- пониженное сопротивление изоляции;
- замыкание на землю;
- комбинированные дефекты пары.

Данные дефекты негативно влияют на каналы передачи данных, приводя к потере или существенному искажению пакета данных и, как следствие, к полной неработоспособности всего сетевого сегмента. Для предотвращения негативных явлений, связанных с некорректной передачей информации необходимо производить проверку вызывающего сомнения сегмента информационной сети специализированным прибором [1].

Электронное устройство для тестирования кабельных сегментов информационных сетей должно обеспечить возможность проверки как линии, чьи входной и выходной разъемы находятся близко друг к другу, так и в разных помещениях. Также важным элементом функционирования устройства является возможность определения как отсутствия механических повреждений линии типа «разрыв», так и определения корректности обжимки кабеля [2].

Данные требования подразумевают наличие как минимум трех режимов работы проектируемого устройства:

- режим проверки «на разрыв» кабельной линии, чьи входной и выходной разъемы возможно разместить рядом друг с другом;
- режим проверки «на разрыв» кабельной линии, чьи входной и выходной разъемы расположены на существенном расстоянии друг от друга;
- режим проверки на корректность передачи информационного пакета.

Структурная схема устройства, обеспечивающего указанные режимы работы, приведена на рисунке 1.

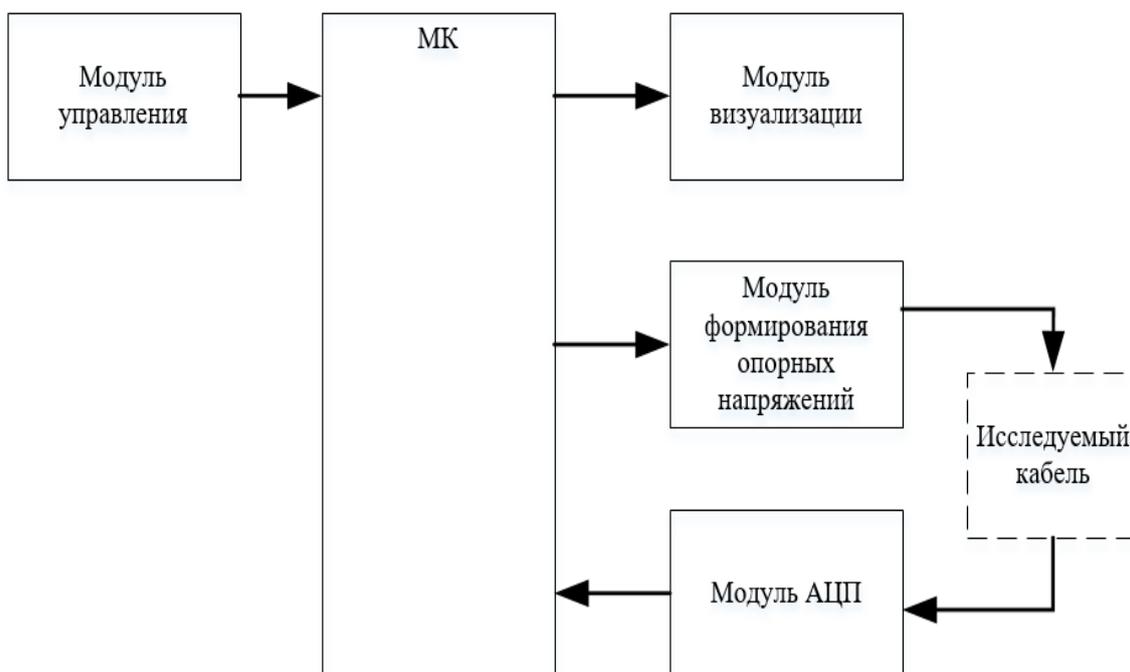


Рисунок 1 – Структурная схема электронного устройства для тестирования кабельных сегментов информационных сетей.

Данное устройство позволяет с высокой точностью детектировать любой из описанных выше дефектов кабельных сегментов информационных сетей.

Центральным узлом устройства является микроконтроллер (МК), принимающий, обрабатывающий информацию с периферийных узлов, управляющий модулем формирования опорных напряжений для выдачи заранее заданных сигналов в тестируемый кабель, оценивающий результаты тестирования и выводящий их на модуль визуализации.

Модуль управления представляет собой блок, состоящий из кнопок и энкодеров, позволяющий выбрать один из трех режимов работы устройства (режим работы с близко расположенными кабелями, с разнесенными кабелями, режим проверки корректности передачи данных по стандарту Ethernet).

Модуль визуализации позволяет пользователю определить, какой режим работы выбран для тестирования, определить текущий прогресс тестирования и оценить его результаты.

Модуль формирования опорных напряжений – схемотехнический узел, позволяющий сформировать стабильный уровень логической единицы – фиксированный уровень логического напряжения 3.3 вольт и логического нуля 0 вольт [3]. По командам с микроконтроллера модуль выдает соответствующие уровни логического напряжения в тестируемый кабель.

Модуль АЦП – модуль аналогово-цифрового преобразования позволяет преобразовать пришедшие по кабелю Ethernet сигналы к цифровому виду и передать в микроконтроллер информацию для дальнейшего анализа на корректность.

Тестирование проходит следующим образом:

Если два разъема кабеля можно рядом друг с другом разместить, в устройстве есть 2 разъема для подключения условных «входа» и «выхода» кабеля. Тестирование проходит следующим образом: подаётся напряжение на все 8 проводков витой пары, микроконтроллер на «выходе» кабеля анализирует, есть ли на каждом из проводков напряжение. В случае отсутствия напряжения на линии, загорается светодиод, сигнализирующий о неисправности в конкретном проводнике.

Если оба разъема исследуемого кабеля разнесены, используется дополнительное такое же устройство, поставляемое в комплекте. Тест происходит аналогично первому случаю.

Режим передачи информационных пакетов. После проведения проверки, описанной выше, передается информационный пакет со «входа» на «выход». Если разъемы кабеля близко расположены, проверка проводится одним устройством (формируем эхо сервер). Если разъемы далеко друг от друга, используем 2 устройства. Устройство мастер передает ведомому по частотам WiFi тестовую посылку. После подтверждения получения ведомым посылки происходит отправка той же посылки по кабелю. Ведомый сравнивает обе посылки и выдает мастеру сообщение о результате проверки.

Таким образом, предложенная структурная схема и пописанный принцип функционирования электронного устройства для тестирования кабельных сегментов информационных сетей позволяет разработать устройство, обеспечивающее необходимую и достаточную оценку коммутационного кабеля информационной сети.

Литература.

1. Амелина М.А., Троицкий Ю.В. Программирование микроконтроллеров семейства AVR в устройствах промышленной электроники на языке Си. Лабораторный практикум в 2-х частях по курсу «Основы микропроцессорной техники». Часть 1. Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2015. 56 с.

2. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем.; под ред. А.Г. Алексеенко. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
3. Хоровиц П. Искусство схемотехники 7-ое издание / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ.; под ред. Т.Г. Хохлова. – М.: Мир, 2009. – 704 с.
4. Авдеев, В.А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование / В.А. Авдеев. - М.: ДМК, 2016. - 848 с.

*Н.Н. Строев, к. т. н., доц., Т.С. Астахова, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ОЗОНОТОРА ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Озонаторы широко применяются во многих технологических операциях, где требуется очистка от примесей, органических загрязнений [1, 3]. При соответствующем контроле, озонаторы могут применяться и в быту (при большой концентрации озон является ядом).

Источники озона обычно строятся на базе явлений электрических разрядов через воздушное пространство. Для бытовых озонаторов используется тихий разряд при стекании заряда с электрода, находящегося под высоким потенциалом.

В технологических системах озонирования требуется большая энергия, поэтому озонаторы функционируют в зоне искрового или границы дугового разряда. Конструкция озонатора может быть открытой или закрытой. В последнем случае организуется проток воздуха или газовой смеси через рабочую камеру.

В качестве источника энергии, по идее, может использоваться любой источник, обеспечивающий необходимый для заданного вида разряда потенциал, однако контроль выхода озона требует применения регулирующих элементов. Механическая регулировка может проводиться путем изменения геометрических размеров рабочей области разрядника. Подобные технические решения значительно снижают требования к исполнению высоковольтного источника электропитания, но требуют либо ручного управления, либо использования электромеханического устройства.

В настоящее время чаще используют регулировки, основанные на изменении напряжения питания или импульсной энергии электрического разряда [1].

Следует отметить еще две технические задачи, требующие решения при разработке систем электропитания озонаторов:

- оптимизация энергетических характеристик силового модуля для снижения требуемой мощности и повышения выхода озона,
- оптимизация конструкции, режимов работы для снижения уровня электромагнитных помех до приемлемого уровня.

Первая задача кажется достаточно простой с учетом современного уровня развития силовой электроники. Существует множество вариантов высоковольтных источников питания с высоким КПД и возможностью регулировок напряжений. Однако при возникновении разрядных явлений на выходе режим работы источника существенно меняется и требует специальных методов кон-

троля.

Как показал обзор технических решений в данной области (силовые модули озонаторов), на практике больше используются источники, формирующие не непрерывный, а импульсный разряд.

Это дает возможность контролировать выход озона не изменением уровней напряжений на электродах, а интенсивностью импульсов и соответственно разрядов в рабочей камере озонатора. Правда при этом уровень электромагнитных помех, как правило, увеличивается. В связи с этим, требуются меры по экранированию разрядного промежутка, гальваническая развязка электрических цепей контура питания и непосредственно разрядника.

В данной работе рассматривается система электропитания озонатора промышленного назначения на основе проточной рабочей камеры с контролем выхода озона и батарейным электропитанием. Последнее требование связано не только с условиями обеспечения электромагнитной совместимости, но и условиями отсутствия электрической связи с питанием других составляющих технологического комплекса.

Контроль состояния аккумуляторной батареи питания производится с применением радио интерфейса, рекомендованного к применению в промышленных комплексах.

При использовании в качестве элемента электропитания батареи, на первый план выходит задача обеспечения высокой энергоэффективности, максимального КПД. На основе проведенного анализа применяемых в озонаторах устройств электропитания было отмечено, что наибольшее число технических решений связано с применением схем с промежуточным накоплением энергии в конденсаторе и последующим разрядом его через повышающий трансформатор.

Эта традиционная схема имеет ряд преимуществ, легко реализуется с использованием недефицитной элементной базы. Разряд конденсатора производится отпиранием тиристорного ключа и протеканием тока через обмотку высоковольтного трансформатора. Отметим весьма существенный недостаток традиционной схемы. До отпирания тиристора конденсатор заряжен до максимального напряжения (обычно несколько сот вольт).

После отпирания ключа в цепи высоковольтного трансформатора-индуктора формируется импульс тока большой величины, энергия передается на высоковольтную обмотку и формирует высоковольтный электрический разряд в рабочей камере. Часть энергии при этом остается в магнитном сердечнике.

Поскольку тиристорный ключ при этом еще не заперт (не достигнуто условие запираания тиристора), ток течет в том же направлении, перезаряжая конденсатор, до напряжения противоположного знака.

Эта часть электрической энергии не используется полезно: перезаряд накопительного конденсатора до рабочего уровня происходит от источника питания, накопленный на прошлом цикле заряд компенсируется, потери энергии неизбежно увеличиваются.

Для борьбы с описанным явлением необходимо обеспечить выключение тока через первичную обмотку высоковольтного трансформатора-реактора в момент, когда энергия в конденсаторе минимальна, т. е. вся энергия сосредоточена в индуктивности. Это происходит при достижении тока в обмотке максимальной величины и проходе экстремума.

Контролировать изменение тока можно разными способами, однако в данном случае подходят лишь способы с использованием трансформаторов тока.

С учетом данного требования, тиристорный ключ должен быть заменен на транзисторный и, соответственно, изменен принцип управления.

Таким образом, энергетическая эффективность традиционных конденсаторных систем электрического разряда ограничена характерными особенностями ключевого элемента – тиристора, который после момента искрообразования не запирается, что приводит к перезаряду накопительного конденсатора до значительных напряжений обратной полярности, существенно снижая общий КПД.

Предлагаемая система формирования электрического разряда имеет существенные отличия от традиционной конденсаторно-тиристорной и свободна от указанного недостатка.

Основной особенностью является применение в качестве коммутирующего элемента магнитно-транзисторного ключа (МТК). С развитием элементной базы высоковольтных МДП транзисторов, подобные ключи применяются довольно редко.

Однако в ряде случаев его применение дает значительный эффект. Поскольку данный ключ является динамическим и его открытое состояние ограничивается свойствами магнитной системы и реакцией нагрузки, контроль импульсного тока в цепи нагрузки регулируется автоматически именно по моменту перехода через экстремальное значение.

В нашем случае это становится неоспоримым преимуществом по сравнению с другими видами ключей. Запирание ключа привязано к моменту максимальной энергии в индуктивном реакторе, что существенно увеличивает эффективность электрического разряда.

Таким образом, именно МТК позволяет решить одну из проблем конденсаторных систем электрического разряда, которая была связана с перезарядом конденсатора напряжением противоположного знака и значительными потерями.

Принцип работы МТК описан в [2]. Остановимся на особенностях его работы в условиях, характерных для электроразрядных озонаторов.

Схема электронного блока озонатора показана на рисунке 1.

Основным элементом МТК является силовой биполярный транзистор V_{T3} , работающий в ключевом режиме. Применяемый транзистор выбирается исходя из условий максимального напряжения и предельно допустимого импульсного тока. Значение параметров усиления используются при расчете импульсного трансформатора цепи управления $T1$.

Трансформатор цепи управления содержит четыре обмотки:

- первая – включена в цепь эмиттера силового транзистора,
- вторая – включена в цепь базы силового транзистора,
- третья и четвертая – подключенных к ключам на МДП транзисторах $VT1$ и $VT2$.

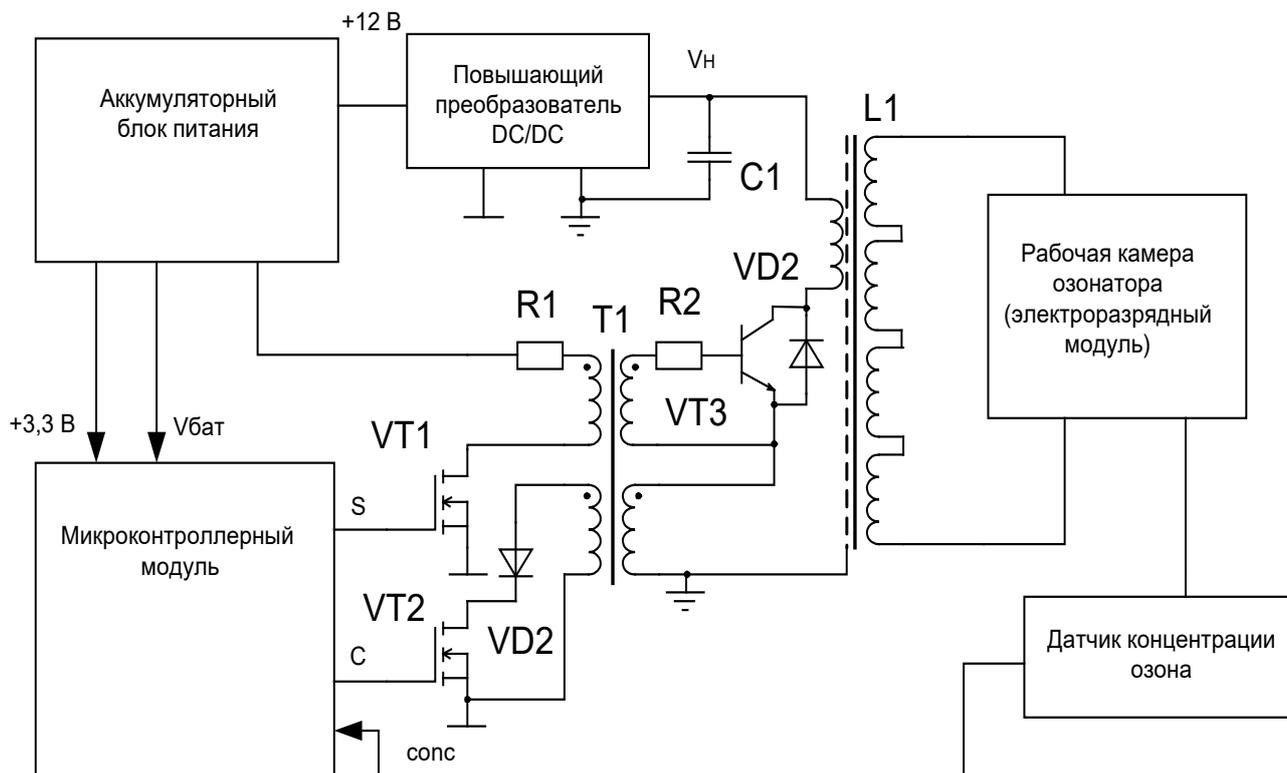


Рисунок 1 – Схема электронного блока озонатора

Количество витков второй обмотки рассчитывается из условия: ток базы меньше тока эмиттера в β раз.

Таким образом, в динамическом режиме в открытом состоянии ток базы поддерживается на уровне, необходимым для работы транзистора в открытом состоянии, а при уменьшении тока, начинается процесс запираения транзистора с положительной обратной связью.

То есть заданная зависимость тока эмиттера и тока базы поддерживается для сохранения ключевого режима автоматически, запираение ключа происходит быстро и надежно, что ведет к сокращению потерь и повышению КПД источника.

Транзистор $VT1$ обеспечивает включение МТК и соответственно передачу энергии конденсатора $C1$ в цепь разрядника.

Для того микроконтроллер формирует короткий отпирающий импульс на затворе транзистора $VT1$.

По этому сигналу начинается отпирание силового транзистора, которое далее поддерживается по цепи положительной обратной связи эмиттер-база $VT3$ до достижения максимального тока эмиттера.

После момента достижения максимального тока эмиттера, начинается его уменьшение.

Данный момент привязан к точке максимального перетекания энергии

конденсатора в индуктивный реактор $L1$.

Ток эмиттера начинает спадать, а за счет действия положительной обратной связи, транзистор начинает запирается по цепи базы.

Происходит изменение полярности напряжения на базовом переходе, и последующее выключение ключа.

Транзистор $VT2$ позволяет управлять запирающим МТК по внешнему сигналу с микроконтроллера и поддерживать транзистор в запертом состоянии длительное время.

Фактически данный ключ шунтирует обмотку управляющего импульсного трансформатора делая невозможным включение силового транзистора в схеме МТК, отключает магнитную связь между эмиттерным и базовым токами.

Управление ключом не требует больших затрат энергии, режим работы поддерживается автоматически.

Проведенные экспериментальные и имитационные исследования подтвердили существенные преимущества использования МТК в качестве ключевого элемента электроразрядной схемы озонатора.

Функции управления озонатором осуществляет микроконтроллерный модуль, который формирует описанные выше импульсные сигналы управления разрядом, считывает показания датчика озона (сигнал $conc$), обеспечивает сервисные функции удаленного управления с помощью радиомодема, контроль состояния аккумуляторной батареи электропитания.

Использование аккумуляторного блока питания позволило обеспечить полную гальваническую развязку системы электропитания озонатора, тем самым улучшив параметры электромагнитной совместимости и безопасности.

Заряд конденсатора до рабочего уровня напряжения 300 В обеспечивается повышающим преобразователем DC/DC по схеме импульсного регулятора второго типа.

Благодаря применению МТК в качестве ключевого элемента удается максимально эффективно организовать энергетический режим заряда и разряда конденсатора $C1$, обеспечить максимальный уровень передачи энергии в индуктивный реактор и далее в рабочую область электрического разряда проточного озонатора.

Выход озона регулируется микроконтроллером на основе заданного уровня, показаний датчика концентрации путем изменения частоты импульсов включения МТК и, соответственно, интенсивности электрического разряда в рабочей камере озонатора.

Литература

- 1 Лунин В.В., Карягин Н.В., Самойлович В.Г. Способы получения озона и современные конструкции озонаторов м.: МАКС Пресс Москва, 2008. – 150 с.
- 2 Мелешин В. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005 – 632 с.
- 3 Орлов В. А. Озонирование воды М.: Стройиздат, 1984. – 88 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАТЕНТОВ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ, ИЗМЕРЯЮЩИЕ СКОРОСТЬ ПОТОКА ЖИДКОСТИ

Скорость потока воды в открытых водоемах является ключевым параметром, имеющим огромное значение для технической сферы. Характеристика водных потоков играет важную роль в различных аспектах, начиная от экологического мониторинга и управления водными ресурсами и заканчивая военными операциями и обеспечением безопасности водных путей.

Поддержание бесперебойной работы водохранилищ, прогнозирование наводнений и управление водными ресурсами становятся сложными задачами, которые требуют современных технологий и точных данных.

В военной сфере также высоко ценят информацию о скорости потока воды, однако разработка инновационных устройств и методов для измерения этого параметра представляет собой сложную задачу. Сложность заключается не только в точности измерений, но и в создании компактных, надежных и адаптивных систем, способных работать в различных условиях и обеспечивать высокую степень защиты информации.

Цель работы провести анализ русскоязычных патентов на тему изобретения устройств для измерения скорости течения открытого водоема. Для этого были поставлены следующие задачи:

- провести обзор патентов на изобретения,
- выявить достоинства и недостатки предложенных устройств,
- на основе выявленных недостатков выявить альтернативные предложения.

Известно устройство «Термоанемометр для измерения скорости потока жидкости или газа» [1], структурная схема которого представлена на рисунке 1.

В ходе работы датчика оценивалась функциональность метода измерения скорости течения. Также оценивались его возможности и границы технической реализации, и факторы, связанные с требованиями мобильного применения.

Устройство содержит в качестве измерительных элементов стабилитроны. Они могут иметь некоторые преимущества, такие как простота в использовании, отсутствие требования сложных систем управления, долговечность и дешевизна, — однако для измерения скорости воды их использование не всегда являются наилучшим выбором, особенно в суровых условиях открытых водоемов, и можно столкнуться с рядом недостатков:

- стабилитроны требуют стабильного напряжения питания для точных измерений. В условиях открытого водоема обеспечение стабильности напряжения может быть проблематичным,
- для точных измерений необходима калибровка и подбор стабилитронов, что требует дополнительных усилий,
- ограниченный диапазон измерений,
- относительно большие габариты полупроводников,

– недостаточная точная повторяемостью параметров у изделий даже из одной партии.

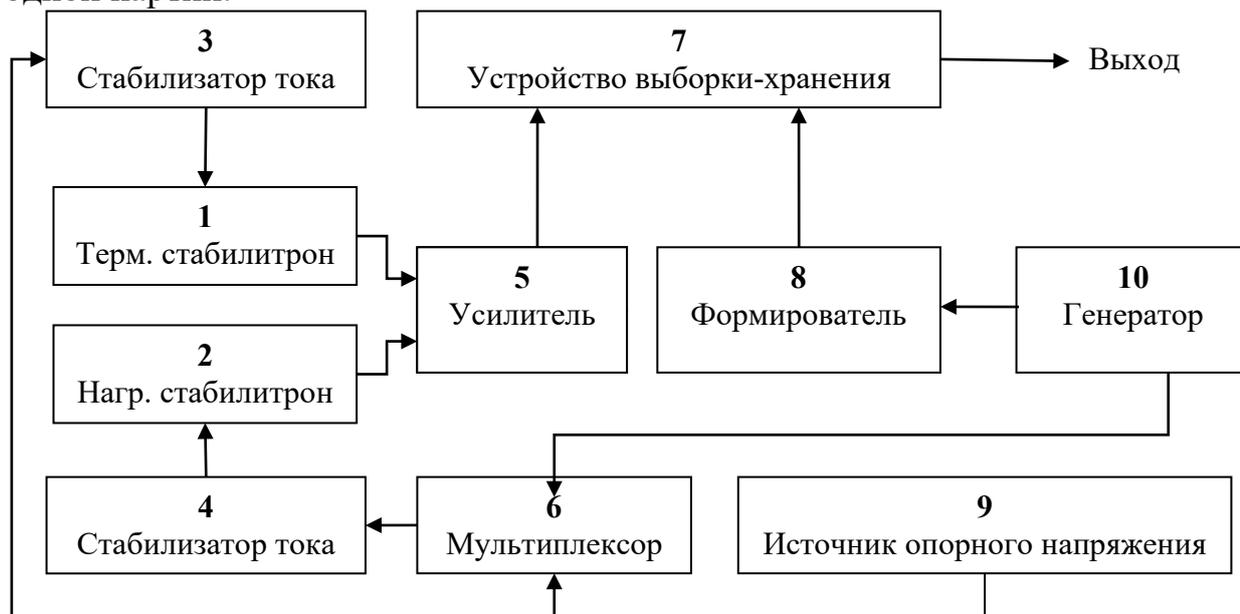


Рисунок 10 – Структурная схема термоанемометра для измерения скорости потока жидкости или газа

Известно другое устройство «Термоанемометр и способ его изготовления» [2], структурная схема которого представлена на рисунке 2.

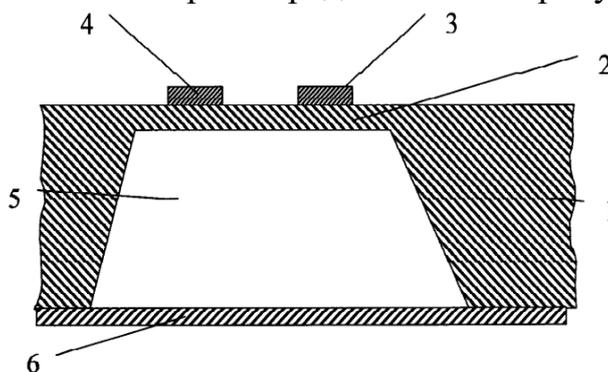


Рисунок **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.** – Структурная схема термоанемометра, где

1 – подложка, 2 – мембрана, 3- нагреватель, 4 – термодатчик, 5 – вакуумированная полость, 6 – крышка

В данном патенте предложена разработка устройства в микроэлектромеханическом исполнении. Нагреватель и термодатчики сформированы на мембране, с обратной стороны которой выполнена герметизированная полость.

Несмотря на простоту конструкции, минимальное воздействие на окружающую среду и простую калибровку устройства, недостатком приведенного термоанемометра является то, что содержащаяся в нем мембрана существенно искажает структуру акустической волны, обтекающей термочувствительные элементы, особенно на слышимых звуковых частотах в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц, где термоанемометр обладает низкой чувствительностью.

Частным недостатком это сложность в первоначальной настройке прибора

и накопление мусора. В открытых водоемах мембранные датчики могут подвергаться загрязнению на поверхности мембраны, что может привести к искажению измерений качества измерений

Известен патент «Способ измерения расхода текучей среды и устройство для его осуществления» [3], в котором рассматривается измерение расхода текучей среды термоанемометрическим и калориметрическими методами. Функциональная схема устройства показана на рисунке 3.

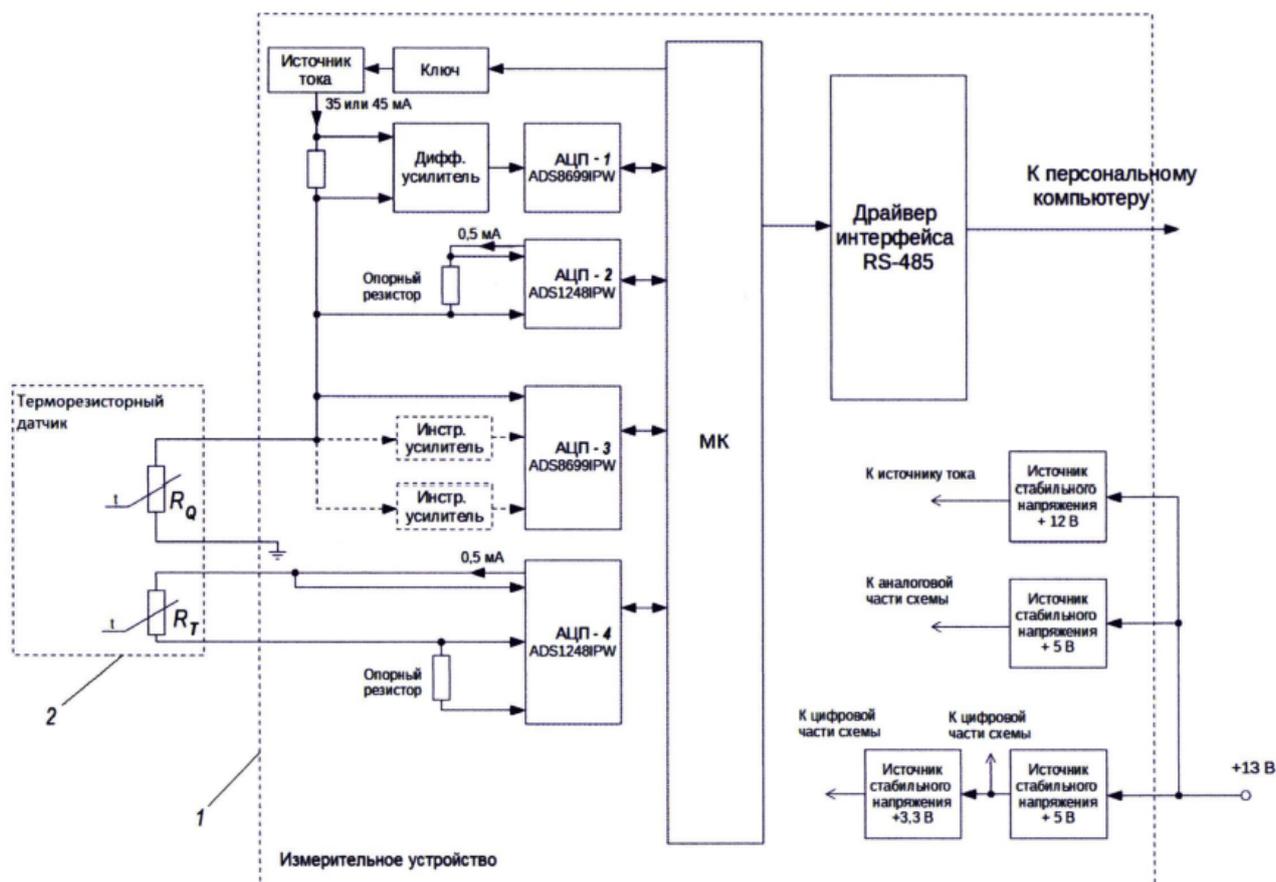


Рисунок 3 – Функциональная схема термоанемометра, где 1 – измерительное устройство, 2 – терморезисторный датчик

Такой способ возможен благодаря использованию в качестве элементов измерения терморезисторов, которые используются как нагревательный элемент для измерения скорости потока жидкости. А именно за счет измерения разности его сопротивления в момент подачи импульсов тока до и после нагрева терморезистора.

Таким образом, в устройстве снижена инерционность терморезистора, увеличена точность и диапазон измерения.

Стоит выделить главный недостаток в использовании АЦП, что увеличивает восприимчивость к помехам, которые смогут снизить качество измерений.

Также повышает необходимость в обслуживании для поддержания

точности измерений. Так же это устройство разработано для измерения расхода воды в трубопроводах и других канала образующих систем.

Следовательно, можно заключить, что рассмотренные устройства имеют недостатки, связанные с различными характеристиками, такими как:

- низкая точность,
- уход за устройством во время эксплуатации,
- усложнение работы дополнительными расчетами перед использованием,
- узкий диапазон измерений,
- стоимость и другие.

Так же инерционность является главным мешающим фактором в работе большинства устройств. Необходимо рассмотреть методы работы, в котором инерционность становится рабочим фактором. Инерционные методы измерения скорости потоков жидкости могут иметь ряд преимуществ:

- высокая точность,
- независимость от окружающей среды,
- возможность непрерывного предоставления данных,
- высокая чувствительность,
- минимальное воздействие на поток.

Однако стоит отметить и то, что инерционные системы могут быть более дорогостоящими и сложными в установке по сравнению с другими более экономически выгодными методами измерения скорости течения.

Литература

1. Термоанемометр для измерения скорости потока жидкости или газа: пат. 2450277 Рос. Федерация. № 2009139884/28 / Валиуллин Р.А., Яруллин Р.К., Яруллин А.Р.; заявл. 28.10.2009; опубл. 10.05.2012, Бюл. №13. 9с.
2. Термоанемометр и способ его изготовления: пат. 2451295 Рос. Федерация. № 2010153554/28 / Беспалов В.А., Дюжев Н.А., Зарубин И.М., Рыгалин Д.Б.; заявл. 28.12.2010; опубл. 20.05.2012, Бюл. №14. 6с.
3. Способ измерения расхода текучей среды и устройство для его осуществления: пат. 2761932 Рос. Федерация. № 2020135252 / Гончар И.И., Кадина Л.Е., Мартин А.В.; заявл. 26.10.2020; опубл. 14.12.2021, Бюл. №35. 30с.

*Н.Н. Строев к. т. н., доц.; А.О. Петрова, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕРМИЧЕСКОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ВРЕМЕНИ ПЕРЕГРЕВА

В современном мире, где требования к точности и эффективности измерений постоянно растут, разработка более совершенных методов становится важной задачей для инженеров и научных исследователей. Измерение скорости потока жидкости имеет критическое значение в многих областях, начиная от мониторинга экологии и управления водными ресурсами до оптимизации производственных процессов и обеспечения безопасности транспорта [1].

Более того, в современном быстро меняющемся мире необходимость создания мобильных устройств становится крайне актуальной [2]. Мобильные устройства могут принести значительные выгоды и улучшения в различных сферах. В медицине, например, портативные приборы, способные мгновенно и точно измерять скорость потока жидкости в организме пациента [3].

Экологические и промышленные организации и исследователи могут использовать мобильные устройства для мониторинга водных экосистем в реальном времени, что позволяет более эффективно реагировать на изменения в природной среде.

Предложенный в данной статье термический метод измерения скорости потока жидкости представляет собой инновационное решение, которое сочетает в себе высокую точность и чувствительность при одновременной низкой стоимости производства. Основанный на применении измерительного моста с платиновыми терморезисторами, этот метод позволяет достичь невероятной стабильности и мгновенного отклика при измерении скорости потока жидкости.

В промышленности и гидрологии устройства на основе данной технологии способны предоставлять оперативную информацию о состоянии водных систем и процессов, что сокращает риски аварий и оптимизирует ресурсы.

Важно подчеркнуть, что создание таких устройств на основе предложенной методики открывает новые горизонты и перспективы для технологий, которые позволяют сделать измерения скорости потока жидкости более доступными и широкодоступными. Это, в свою очередь, может способствовать более глубокому пониманию и управлению нашими водными ресурсами и окружающей средой в целом.

Суть работы заключается в косвенном измерении, а именно измерение не характеристик платиновых терморезисторов, а временного интервала. Это приводит к упрощению схемной реализации устройства, а также учитывается инерционность автоматического процесса. Применение косвенного метода измерения с инерционностью как рабочим фактором имеет и другие преимущества в измерение скорости потока водоема:

- минимальное воздействие на окружающую среду, что минимизирует воздействие на экосистему водоема,
- высокая чувствительность даже на небольших скоростях,
- экономическая эффективность по сравнению с другими методами и устройствами, требующие более сложного и дорогостоящего оборудования,
- отсутствие требований в постоянном обслуживании из-за возможного отсутствия прямого контакта с измеряемой жидкостью, что обеспечивает долговечность системы из-за отсутствия износа и коррозии, которые могут возникнуть при непосредственном взаимодействии с водой.

Длительность цикла определяется по числу импульсов, которое фиксирует счетчик, от подачи разрешающего сигнала до сигнала обнаружения перегрева термодатчика измерительного канала.

Функциональная схема, разрабатываемого устройства изображена на рисунке 1.

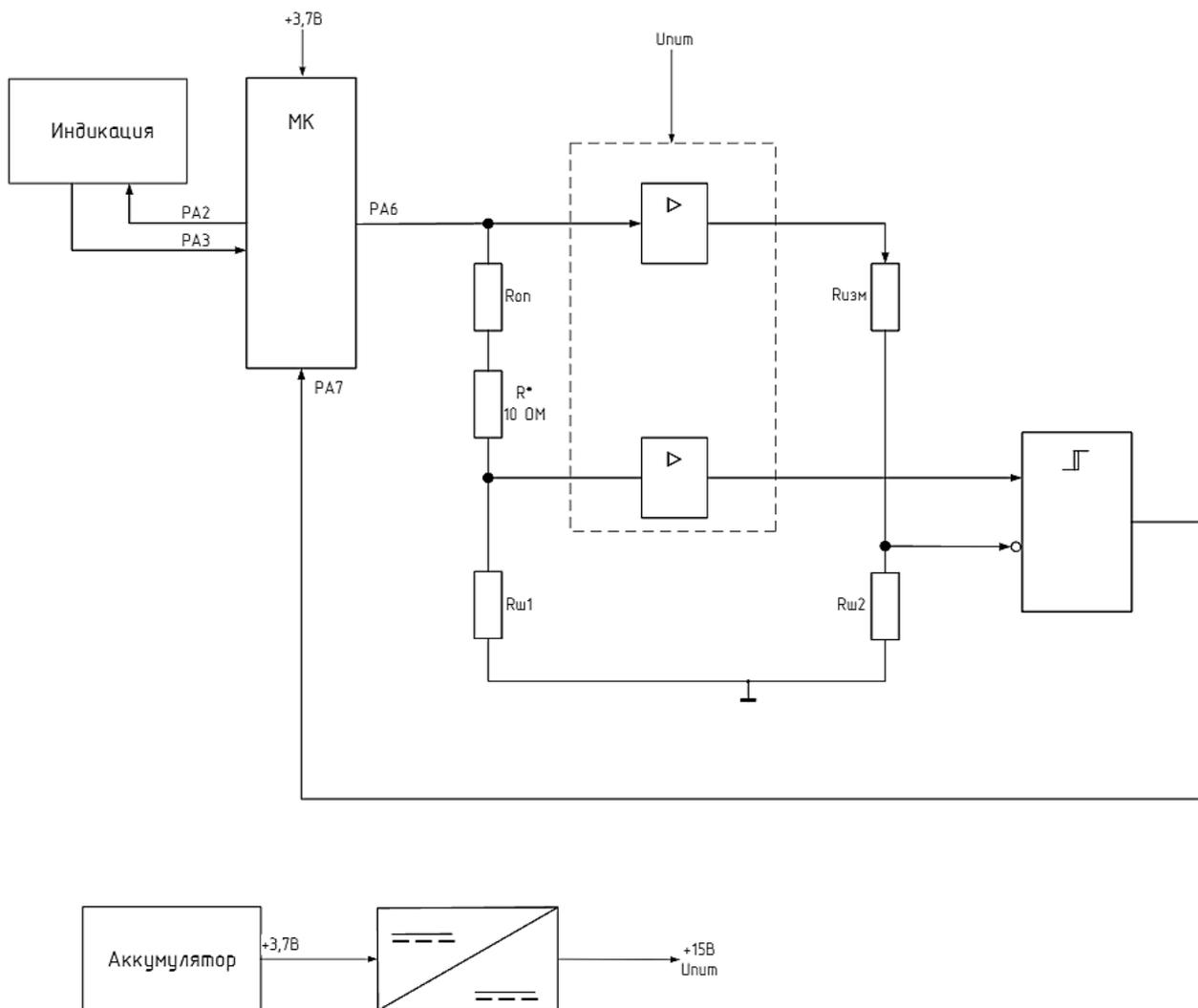


Рисунок 1 – Функциональная схема разрабатываемого устройства

Микроконтроллер подготавливает устройство к измерению. Также на него возложены те функции необходимые устройству как прототипу, чтобы проводить опыты, которые позволят отладить программу, увеличить производительность устройства (регулировать диапазон напряжений, возможное использование других интерфейсов, внутреннего АЦП).

Начало цикла имеет примерно одинаковые значения основного и резервного канала. В начальный момент времени напряжение на каналах будет равным:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\text{оп.кан}} = \frac{U_{\text{вх}} * R_{\text{ш1}}}{R_{\text{оп}} + R_{\text{ш1}}} * 5 \\ U_{\text{изм.кан}} = \frac{5U_{\text{вх}} * R_{\text{ш2}}}{R_{\text{изм}} + R_{\text{ш2}}} \end{array} \right\} \rightarrow U_{\text{оп.кан}} = U_{\text{изм.кан}}$$

Скорость потока жидкости определятся датчиком на близко установленные идентичные терморезисторы опорного и измерительного каналов.

Мощность, обеспечивающая нагрев рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Поэтому повысить напряжение выгоднее, чем снижать сопротивление. Исходя из этого, лучше использовать усилитель напряжения с относительно высоким напряжением питания. Применяется прецизионный сдвоенный усилитель, чтобы более точно учесть воздействия тепловой обратной связи микросхемы во избежание ошибок проектирования прототипа.

Из-за тепловой инерции резисторы нагреваются. Ток, протекающий через терморезистор измерительного канала в разы больше, следовательно, измерительный датчик нагревается быстрее, чем опорный. Наступает перекос моста ΔU .

При последовательном подключении к датчику опорного канала вспомогательный резистор, в цикле измерения его номинал становится искусственно вносимой зоной погрешности.

Термодатчик измерительного канала остывает за счет потока воды, и как только разница температур перекрывает добавочный резистор, мост перекашивается в другую сторону. Температура компенсируется за счет того, что компоненты находятся в одной среде.

Таким образом, время, за которое происходит нагрев обратно пропорционально скорости течения воды:

$$t_n = \frac{1}{U_{\text{теч}}}$$

В зависимости от условий нагрева и охлаждения имеем разное время достижения обнаружения перегрева. Как только перегрев обнаружен с помощью компаратором напряжения, МК фиксирует время и определяет период времени. При большей или меньшей скорости потока точка перегрева достигается дольше или быстрее соответственно, как показано на рисунке 2.

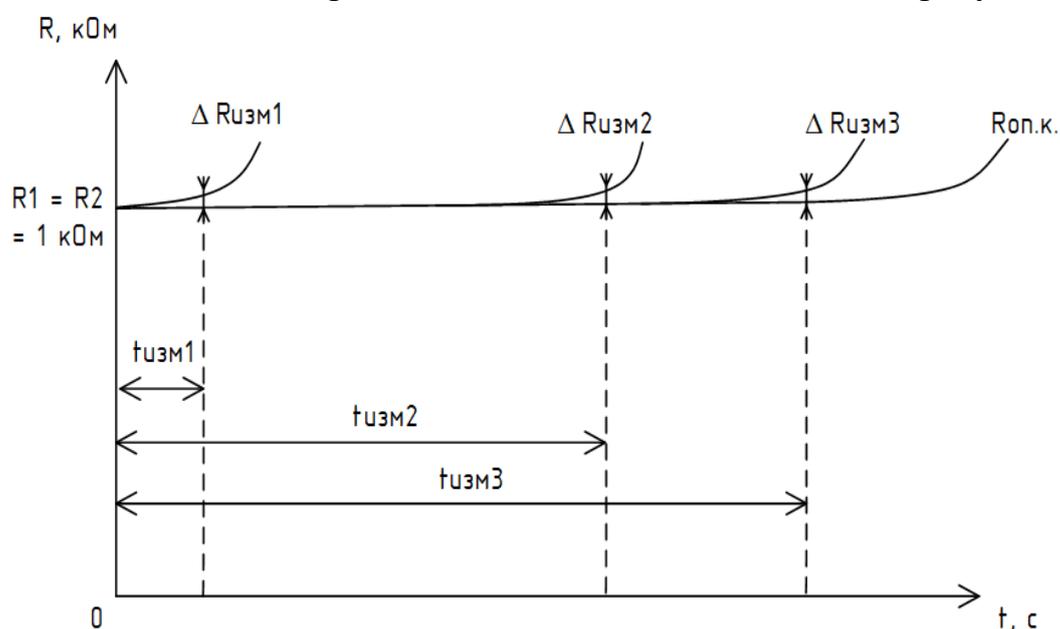


Рисунок 2 — График достижения точки перегрева

На индикацию осуществляется вывод полученных характеристик. Эмпирическая зависимость будет получена после проведения серии экспериментов с этим устройством.

Таким образом, предложенный метод имеет огромный потенциал в развитии современных технологий измерения скорости потока жидкости и заслуживает внимания как научного, так и технического сообщества.

Это устройство подходит для использования в различных средах и условиях, данная методика может с успехом применяться как в лабораторных исследованиях, так и в промышленных приложениях. Её потенциал для улучшения точности и надёжности измерений делает её весьма перспективной для широкого круга отраслей, включая экологию, промышленность и гидрологию.

Литература

4. Irrigation management under water scarcity — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377402000756> (дата обращения 20.09.2023)
5. Surface flow measurements from drones — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169416303638> (дата обращения 20.09.2023)
6. A Review of Medical Doppler Ultrasonography of Blood Flow in General and Especially in Common Carotid Artery — URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6029191/> (дата обращения 20.09.2023)

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

ОРГАНИЗАЦИЯ ФАКУЛЬТАТИВНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПРОФИЛЯ «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА» С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ РЕСУРСОВ БАЗОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Подготовка студентов к профессиональной деятельности является необходимым звеном высшего образования. При этом следует признать, что учебные программы вузов крайне ограниченно касаются этих вопросов, предлагая в качестве факультативных занятий просто дополнительные теоретические и практические занятия, проводимые в традиционной форме лекций и упражнений. Самостоятельную работу студентов, которая могла бы способствовать развитию профессиональных компетенций, сложно организовать без участия преподавателей и специалистов базовых предприятий.

На кафедре ЭИМТ Смоленского филиала «НИУ «МЭИ» достаточно давно был взят курс на развитие дополнительных форм обучения студентов с непосредственным участием базовых предприятий. На ранних этапах речь шла о проведении производственной практики студентов, экскурсий, участия в выполнении выпускных квалификационных работ. Даже это короткое взаимодействие с производственными структурами оказалось несомненно полезным, позволило решать вопросы профориентирования и последующего трудоустройства.

Однако все равно при устройстве на работу отмечался явно недостаточный уровень навыков, необходимых для полноценной производственной деятельности, что требовало дополнительного времени и ресурсов для доучивания и под-

готовки. Естественно, сами молодые специалисты при этом получали серьезный психологический стресс и меньший уровень зарплат. Многие даже были вынуждены покинуть рабочее место в связи с возникшими трудностями. Такая тенденция точно не способствует появлению на рынке труда мотивированных развиваться и эффективно внедрять в работу новые знания и умения молодых специалистов. А учитывая постоянное совершенствование технологий, средств проектирования, элементной базы и пр. этот факт способствует лишь появлению массы проблем в работе предприятий [1]. В связи с этим кафедра приняла решение по дальнейшему развитию факультативных форм работы студентов с привлечением ресурсов базовых предприятий, которые также проявили большой интерес к данному процессу с целью формирования квалифицированного кадрового резерва.

В основу были положены следующие принципы:

- направление обучения должно соответствовать потребностям предприятий;
- основная форма обучения – самостоятельная работа студента с организованным консультированием, выдачей заданий и текущим контролем;
- участие в процессе обучения привлекаемых специалистов предприятий и студентов старших курсов, которые уже трудоустроены на рабочих местах, для обмена опытом;
- обеспечение среды обучения с привлечением ресурсов предприятий (компьютеры, оборудование, программное обеспечение).

Все составляющие процесса было предложено встроить в график учебного плана основной подготовки с обязательными требованиями: не мешать учебному процессу, не отбирать много времени из ресурса самостоятельной подготовки студентов.

Практически первоочередной непростой задачей для организации и проведения подобных факультативов стало обеспечение базы практических занятий: требовалось дорогостоящее оборудование и ПО. После совместного с представителями предприятий обсуждения этого момента были сформулированы два наиболее удачных варианта организации таких занятий. Первый — подготовка специальных учебных классов на территории предприятия. По этому пути пошло АО «НИИ СТТ», создав учебный центр на своей территории, оборудованный всем необходимым. К слову, такой способ поддержки формирования квалифицированного кадрового резерва удобен для компании еще и тем, что создаёт дополнительную возможность проведения централизованного обучения не только для студентов, стажёров, но и для сотрудников по актуальным рабочим вопросам. Имея в распоряжении оснащенный всем необходимым учебный класс, остаётся лишь выбрать формат проведения повышения квалификации без отрыва от производственного процесса. Второй вариант — организация выносных рабочих мест на территории института с передачей оборудования во временное пользование. При этом все оборудование и ПО должно соответствовать аналогичным рабочим местам на самом предприятии. Оба варианта в настоящий момент активно используются и развиваются.

Следующей важной задачей стало анонсирование новой формы учебной деятельности перед студентами, обеспечение интереса к самостоятельной работе. В основу формирования групп для обучения положен принцип добровольности и целеполагания. Следует отметить, первоначально были сомнения, что без элементов принуждения удастся обеспечить необходимую дисциплину и ритмичность выполнения заданий. Практика показала, что опасения не оправдались. Первоначально при формировании групп наблюдался большой отсев: из 25 человек, пожелавших посещать факультативные занятия, через месяц осталось 10 обучающихся, но затем оттока не было.

Аудиторная работа заключалась в проведении теоретических занятий в форме семинаров-консультаций по текущим вопросам с обязательным обсуждением достигнутых результатов. Методическая работа предполагала формирование методических указаний по практическим вопросам текущего этапа обучения. К этой работе были привлечены студенты старших курсов, которые недавно сами проходили путь профессионального обучения на рабочем месте базового предприятия. Данный опыт оказался положительным: хотя изложение материалов в подготовленной методической литературе отличается от академических канонов, оно доступно для восприятия современными студентами.

Следует отметить, что методичка подвергалась изменениям в процессе проведения занятий, дорабатывалась самими обучающимися. Это несколько непривычный процесс для традиций высшей школы, но при освоении практики получения навыков он оказался весьма эффективным. Помимо развития так называемых Hard Skills (профессиональных умений, необходимых для решения конкретных задач) студенты активно совершенствовали Soft Skills (а по результатам Гарвардского исследования часто «мягкие навыки» составляют профессиональный успех человека на 85% [2]). Кроме очевидной пользы от получения опыта самостоятельной (либо групповой) проектной работы, есть существенная выгода в развитии критического и креативного мышления для обучающихся на факультативе студентов и в развитии навыков управления проектами, наставничества для студентов старших курсов. К слову, также в процессе всегда поощрялся поиск и использование дополнительных материалов из сети Интернет, обмен опытом.

В дальнейшем практика проведения факультативных занятий с привлечением ресурсов базовых предприятий будет продолжаться.

Литература

- 1 Строев Н.Н., Строева Е.В. Актуальные вопросы профессиональной подготовки специалистов на инновационных предприятиях // Энергетика, информатика, инновации – 2020. (микрорэлектроника и оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сб. трудов X –ой Национальной научно-технической конференции с международным участием. В 3 т. Т 2. – 2020. – с. 353-357
- 2 National Soft Skills Association. The Soft Skills Disconnect — URL: <https://www.nationalsoftskills.org/the-soft-skills-disconnect/> (дата обращения: 01.10.2023)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В соответствии с общепринятым определением «Средство индивидуальной мобильности» или СИМ – это транспортное средство, имеющее одно или несколько колес (роликов), предназначенное для индивидуального передвижения человека посредством использования двигателя (двигателей) (электросамокаты, электроскейтборды, гироскутеры, сигвеи, моноколеса и др. аналогичные). Таким образом, СИМ без каких-либо оговорок формально отнесены к транспортным средствам, и не эквивалентны механическим транспортным средствам [1].

Развитие средств индивидуальной мобильности требует совершенствования систем, обеспечивающих их безопасную эксплуатацию. Отметим, что в настоящее время единые подходы к этому вопросу не выработаны, что связано со сложностью решаемых проблем, в том числе, социального происхождения. Кратко охарактеризовать ситуацию можно так: наблюдается массовое развитие и относительная бесконтрольность при высочайших технических характеристиках силовых узлов и средств управления, используемых в данной технике.

Развитие транспортных средств обычно происходит в несколько этапов. На первом этапе активно совершенствуются основные технические системы, связанные с движением ТС, управляемостью в разных режимах эксплуатации. На втором этапе речь идет о комфорте, удобстве использования, унификации агрегатов и развитии средств безопасности. Надо отметить, что СИМ, как транспортные средства развились очень быстро, а использование электроники обеспечило максимально простое управление, отличные технические характеристики силовых агрегатов и средств электропитания. В настоящее время мы наблюдаем второй этап развития СИМ. Уже достигнуты большие мощности, доступные цены, созданы компактные источники энергии. Обеспечена высокая скорость движения с поддержкой устойчивости и управляемости. Так же обеспечена простая эксплуатация, не требующая особых навыков управления со стороны человека. Развита коммерческая составляющая, что привело к быстрому развитию инфраструктуры СИМ. К сожалению, вопросы систем безопасности движения и эксплуатации пока однозначно не решены, хотя наметились перспективные направления их развития.

Уровень развития СИМ в настоящее время напоминает начальный для любых ТС в их истории, когда узлы и компоновка менялись в угоду локальным целям без определения комплексных направлений. Постепенно определяются направления использования СИМ – индивидуальные прокаточные средства, рабочий транспорт для ускорения перемещений сотрудников, рабочий транспорт по доставке мелких грузов в условиях городской среды, тоже самое, но для загородных и сельских условий. Возможно заполнение и развитие других ниш,

где будет востребовано быстрое индивидуальное перемещение.

В отличие от автомобилей и других ТС, предназначенных для передвижения по дорогам, СИМ могут перемещаться и там, где ходят пешеходы. Поэтому подходы, конечно, должны быть иные, ориентированные на комплекс ограничительных мер и правил, обеспечивающие максимальную безопасность в заданных условиях. Как и в случае других технических систем, наиболее важно исключить возможность воздействия на безопасность человеческого фактора, обеспечить помощь человеку со стороны техники при эксплуатации СИМ и взаимодействия при организации движения.

Конечно, самым простым кажется возможность решить все вопросы введением законодательных ограничений, расширением правил эксплуатации традиционных ТС в область СИМ. Но если смотреть на проблему со стороны технических возможностей новой техники и назначения СИМ именно как нового вида транспорта для расширения возможностей человека в условиях городской среды, такое направление не может быть перспективным и успешным. Нужно искать новые подходы к обеспечению безопасности со стороны технических систем, сохраняя все преимущества СИМ при эксплуатации в городе при минимуме обязательных ограничений [2].

В любом случае, бесспорно, что СИМ является источником повышенной опасности и нужно безотлагательно снижать уровень этой опасности либо вообще запрещать их эксплуатацию в условиях городской среды.

Организационные меры в этой области уже применяются. Основное внимание уделяется мерам контроля, фиксации нарушений, ограничений по условиям эксплуатации, скорости перемещения, требований к возрасту и состоянию здоровья. Данные изменения уже внесены в «Правила дорожного движения» последней редакции. Многие требования выполнить весьма сложно без технических изменений в СИМ и развития надзорных органов.

Как показывает негативный опыт происшествий с участием СИМ, предлагаемых и уже введенных мер недостаточно [3].

С инженерной точки зрения нами предлагается комплекс мер, включающий не столько организационные мероприятия, сколько привязку обязательных функций к самому понятию СИМ как особому транспортному средству, массово используемому в условиях городской среды.

Во-первых, нужно изменить подход к возможности эксплуатации таких средств в условиях города. Эксплуатацию простейших СИМ без установленной системы комплексной безопасности следует запретить вообще.

Во-вторых – решить вопрос регистрации СИМ и постоянного контроля, дополнив каждое ТС функцией клиента мобильной сети связи в качестве терминала или связанного объекта смартфона. Это позволит однозначно решить вопрос с регистрацией СИМ, контролем параметров и технической диагностикой объекта без сложных процедур и нагрузки на органы ГИБДД. В таком случае можно будет контролировать местоположение СИМ при происшествиях с их участием, обеспечивать поиск нарушителей правил дорожного движения.

Отметим, что коммерческий транспорт СИМ уже применяет подобные

технологии, так что ничего изобретать не надо, лишь адаптировать сделать это обязательным для всех, дать возможность массового использования. Существенная польза и выгода предполагается и операторам мобильной связи, т.к. существенно возрастет количество клиентов, появится много новых функций, развернется организация новых услуг по тарифным планам.

В качества точки регистрации и привязки будет использоваться SIM карта со всеми атрибутами безопасности, что исключает необходимость каких-либо дополнительных действий (например, установки на СИМ регистрационных номеров подобно автомобилю или мотоциклу). Отпадает обязательность введения устаревших видов регистрационных процедур для пользователей и оборудования. Под контролем мобильной сети окажутся технические характеристики объекта СИМ, скоростные и иные ограничения. При дорожных происшествиях и иных нарушениях все параметры ТС и владельца в реальном времени могут быть переданы соответствующим органам, определено местоположение владельца. Любое техническое изменение в ТС может диагностироваться и контролироваться в процессе эксплуатации.

В-третьих, ввести требования режима эксплуатации СИМ, обеспечив технические возможности контроля дорожной обстановки. Для этого нужно дополнить контроллерные блоки СИМ узлами функций определения препятствий и относительной скорости перемещения. Сделать эти функции обязательными, не уточняя при этом принципы их реализации. Данные узлы будут совершенствоваться по мере развития техники, но их роль и место в общей схеме управления СИМ должны быть жестко регламентированы.

Где и как в настоящее время можно перемещаться на СИМ в условиях городской среды в соответствии с правилами?

По велосипедной дорожке, по велопешеходной дорожке, по проезжей части велосипедной зоны, по полосе для велосипедистов.

Помимо этого, допускается движение лиц в возрасте старше 14 лет, использующих СИМ весом до 35 кг в пешеходной зоне по тротуару, или пешеходной дорожке, если отсутствуют велосипедная и велопешеходная дорожки, полоса для велосипедистов либо отсутствует возможность двигаться по ним. Еще одно дополнение связано с сопровождением ребенка в возрасте до 14 лет с использованием СИМ, использующего для передвижения СИМ или велосипед.

Можно также передвигаться по обочине дороги, но в случае, если отсутствуют велосипедная и велопешеходная дорожки, полоса для велосипедистов, тротуар, пешеходная дорожка либо отсутствует возможность двигаться по ним.

По правой части проезжей дороги можно ехать при соблюдении одновременно нескольких условий. Это отсутствие вышеуказанных дорожек, полос для велосипедистов, тротуаров, обочин, либо возможности движения по ним. Кроме этого, разрешенная скорость движения по дороге ограничена 60 км/ч и нет ограничений для использования велотранспорта. Движению по дороге возможно для СИМ, оборудованном тормозной системой, звуковым сигналом, световозвращателями белого цвета спереди, оранжевого или красного цвета с боковых сторон, красного цвета сзади, фарой (фонарем) белого цвета спереди.

При этом движение СИМ по правому краю проезжей части должно осуществляться только в один ряд, по ходу движения транспортных средств, а обгон и объезд с левой стороны транспортного средства запрещены правилами.

Перечисленные правила эксплуатации СИМ в качестве транспортных средств должны достигаться организационными, законодательными и техническими мерами.

Техническая составляющая, по нашему мнению, играет крайне важную роль и может быть реализована посредством предустановленных режимов контроллерной системы СИМ с регламентированными функциями. Назовем их условно «Дорожка» и «Улица». Функциональное наполнение режимов должно быть привязано к требованиям ПДД и другим обязательным к исполнению документам.

Рассмотрим обязательные функции контроллерной системы в каждом режиме.

В режиме «Улица» обязательно включение ходовых огней ТС. Скоростной режим автоматически регулируется исходя из определения относительной скорости ТС, и функции самоограничение скорости СИМ при возникновении опасной ситуации на полосе движения. Под относительной скоростью понимается скорость самого ТС относительно объектов на полосе движения. Если СИМ следует за другим ТС, то скорость ограничивается движением транспортного потока, если препятствий впереди нет, скорость может быть предельно допустимой ПДД (в настоящее время до 25 км/ч). Если препятствие неподвижно либо ТС резко снижает скорость, СИМ переходит к безопасной остановке. Следует отметить, что если СИМ совершает разрешенный маневр – объезд неподвижного препятствия справа, текущее ограничение по скорости снимается автоматически, как только направление движения изменится. Техническая реализация данного режима в настоящее время возможна с применением оптических камер, радиочастотных или лазерных лидаров с узкой диаграммой направленности. Скорее всего потребуется разработка устройств, предназначенных для установки на СИМ для последующего серийного выпуска.

При движении в режиме «Дорожка» задний фонарь переводится в проблесковый режим, а передний снижает яркость или выключается. При обнаружении препятствия скорость автоматически снижается до приемлемых значений или полной остановки. В темное время суток скорость ограничивается до минимума обеспечивающего безопасность движения. Технические средства для реализации определения относительной скорости и обнаружения препятствий те же, что в режиме «Улица». Но ограничения скоростного режима и использование средств оповещения рассчитаны на перемещение среди пешеходов, других СИМ и объезда многочисленных препятствий с малыми скоростями. При использовании системы безопасности будет достаточно сложно наехать на препятствие или столкнуться с пешеходом, что должно значительно снизить число аварий с участием СИМ.

Выводы:

- Решение задач безопасности должно проводиться комплексно с обяза-

тельным введением требований использования на объектах СИМ технических систем обеспечения безопасности.

- Технические средства безопасности должны вводиться в обязательном порядке с полным запретом эксплуатации СИМ без них. Нужно предусмотреть замену технических решений на более современные по мере их появления. При массовом выпуске стоимость требуемых устройств не будет превышать приемлемого для пользователя уровня.

- Использование систем мобильной связи в области СИМ также должно стать обязательным. Привлекательность использования должна формироваться за счет выгодных тарифов и дополнительных функций, полезных и востребованных пользователями. При этом исчезает необходимость сложных процедур регистрации и контроля.

- Переключаемые эксплуатационные режимы позволят пользователю СИМ выполнять требования действующих правил путем простого выбора и переключения. Управление СИМ станет значительно безопаснее в условиях городской среды.

Литература

1. ПДД, изменения с 1 марта 2023 года лица, управляющие электросамокатами и иными средствами индивидуальной мобильности - URL. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_435068/56db257d10202f9b4c6c75f922e9d69157cb14a7/ (Дата обращения: 25.09.2023)
2. СИМ: как регулировать новую мобильность - URL. <https://www.drom.ru/info/misc/84218.html> (Дата обращения: 25.09.2023)
- 3 Смирнова Ж.В., Самарский И.Р. АНАЛИЗ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ КАК НОВОГО ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА. - URL. <https://www.вестник-науки.рф/article/5240> (Дата обращения: 25.09.2023)

*И.В. Якименко, д. т. н., доц.; Т.С. Астахова, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ВАРИАНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ИНДИКАЦИИ НАЗЕМНОГО ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА

Вероятность столкновения транспортных средств с пешеходами, переходящими проезжие части автомагистралей или шоссе с интенсивным движением по нерегулируемым и неосвещенным наземным пешеходным переходам существенно увеличивается ночью и (или) в сложных погодных условиях, способствующих уменьшению уровня естественной освещенности. С целью предотвращения столкновений, большинство наземных пешеходных переходов, расположенных за пределами населенных пунктов на неэлектрофицированных участках автомагистралей (шоссе) оборудуются автономными системами индикации и освещения, питающимися электрической энергией от системы солнечная панель – накопитель электрической энергии (буферная аккумуляторная батарея) [1].

В зимнее время (при малой продолжительности светового дня), характеризуемое недостаточной инсоляцией, усугубляющиеся воздействием отрицательных значений температуры окружающей среды, создаются условия

по систематическому недозаряду буферной аккумуляторной батареи, вследствие чего происходит уменьшение ее емкости, а также снижение ее напряжения до критического уровня $11,1 В$, вследствие чего контроллер управления режимами работы автономной системы индикации и освещения наземного пешеходного перехода отключит от нее потребители электрической энергии (средства освещения и световой сигнализации), что может негативно отразиться на безопасности пешеходов.

Предпосылкой для повышения энергоэффективности автономной системы индикации и освещения наземного пешеходного перехода на основе обеспечения экономии заряда буферной аккумуляторной батареи, является учет следующих факторов:

- интенсивность движения транспортных средств по автомагистралям (шоссе) зимой в ночное время существенно ниже чем в дневное время, вследствие чего временные интервалы между их проездами через пешеходный переход увеличиваются и отключение питания средств индикации на эти временные интервалы является не является критичным,

- достаточной и физиологически комфортной (не раздражающей органы зрения) величиной яркостного контраста между объектом (например, сигналом светофора Т.7) и фоном, считается величина равная $0,3$,

- включение средств индикации при появлении на проезжей части приближающегося транспортного средства, целесообразно осуществлять путем его дистанционного «обнаружения» на контрольном участке проезжей части (например, по излучению световых приборов транспортного средства или изменению оптических характеристик участка проезжей части).

Обеспечение уменьшения потребления электрической энергии автономной системой индикации и освещения наземных пешеходных переходов возможно за счет введения в ее состав:

- 1) обнаружителя транспортных средств, состоящего из последовательно соединенных между собой:

- оснащённого узкопольной оптической системой фоточувствительного датчика (например, на базе фотодиода, включенного в фотовольтаическом режиме),

- пикового детектора,
- формирователя импульса,
- контроллера управления питанием,

- 2) контроллера управления яркостью свечения светофора Т.7 с датчиком яркости участка фона.

На рисунке 1 показан вариант структурной схемы автономной системы индикации и освещения наземного пешеходного перехода, содержащей указанные устройства.

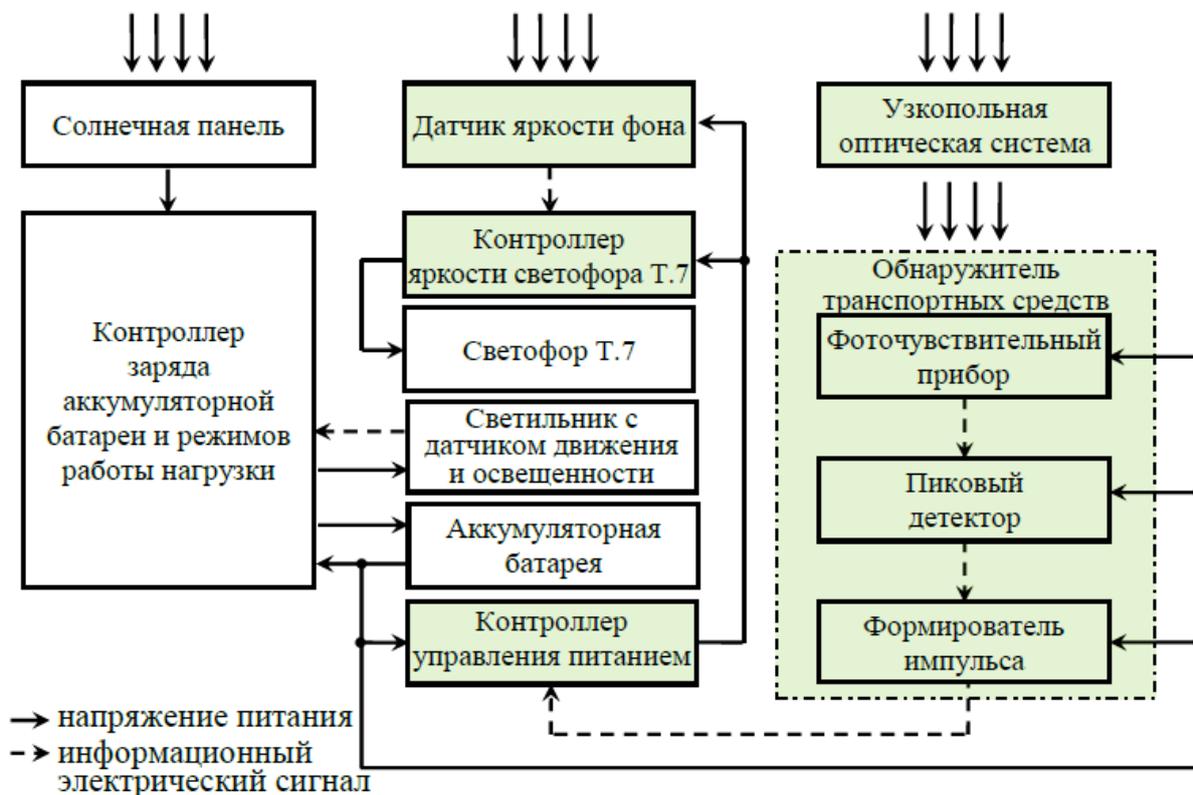


Рисунок 1 – Вариант структурной схемы автономной системы индикации и освещения наземного пешеходного перехода, содержащей обнаружитель транспортных средств и контроллер управления яркостью свечения светофора

Принцип функционирования автономной системы индикации и освещения наземного пешеходного перехода, содержащей обнаружитель транспортных средств и контроллера управления яркостью свечения светофора, заключается в реализации адаптивного алгоритма функционирования [2-6]:

- днем солнечная панель вырабатывает электрическую энергию, поступающую на буферную аккумуляторную батарею через контроллер заряда аккумуляторной батареи и режимов работы нагрузки (с целью обеспечения контроля величины зарядного тока),

- через контроллер заряда аккумуляторной батареи и режимов работы нагрузки также обеспечивается постоянная подача питающего напряжения на средства освещения, контроллер управления питанием и обнаружитель транспортных средств,

- оптическое излучение, несущее информацию об изменении оптических характеристик контрольного участка проезжей части через узкопольную оптическую систему попадает на фоточувствительный прибор обнаружителя транспортных средств, где происходит преобразование информации из оптической в электрическую форму, из которой затем пиковый детектор выделяет сигналы, переменную составляющую, управляющую работой формирователя управляющих импульсов,

- управляющие импульсы от обнаружителя транспортных средств поступают на контроллер управления питанием, в соответствии с которыми он обес-

печивает подачу питающего напряжения от буферной аккумуляторной батареи на датчик яркости участка фона и контроллер управления яркостью светофора Т.7,

- на контроллер управления яркостью светофора Т.7 поступает информационный сигнал от датчика яркости участка фона, в соответствии с которым контроллер управления яркостью светофора Т.7 устанавливает величину яркости свечения светофора Т.7, обеспечивающую физиологически комфортную (не раздражающую органы зрения) величину яркостного контраста равную 0,3 свечения светофора Т.7 и участка фона, на котором водителями транспортных средств при приближении к пешеходному переходу наблюдается светофор Т.7, вследствие чего снижается уровень потребления светофором Т.7 электрической энергии.



Рисунок 2 – Положение поля зрения узкопольной оптической системы обнаружителя транспортных средств на контрольном участке проезжей части

В процессе оборудования пешеходного перехода автономной системой индикации и освещения наземного пешеходного перехода с повышенной энергоэффективностью:

- обнаружитель транспортных средств ориентируется таким образом, чтобы в поле зрения его узкопольной оптической системы попадал только контрольный участок проезжей части (рисунок 2). Вследствие этого, любое локальное изменение оптических характеристик контрольного участка проезжей части, обусловленное появлением на нем транспортного средства, будет создавать условия для формирования обнаружителем транспортных средств управляющего импульса, обеспечивающего подачу питания на датчик яркости фона и контроллер управления яркостью светофора Т.7 с контроллера управления питанием,

- поле зрения датчика яркости участка фона ориентируется в пространстве

так, чтобы в него попадал участок фона, на котором водителями транспортных средств при приближении к пешеходному переходу наблюдается светофор Т.7.

Таким образом, в основе энергосберегающего режима функционирования автономной системы индикации и освещения наземного пешеходного перехода лежит адаптивный алгоритм его функционирования, позволяющий обеспечить рациональное использование запасенной энергии от возобновляемого источника энергии. По предложенным техническим решениям получены патенты на изобретения [2, 3].

Литература

1. Комплект для пешеходного перехода «STGM»: офиц. сайт. – URL: <https://geliomaster.com> (дата обращения: 05.10.2023).
2. Автономный адаптивный комплекс обустройства пешеходного перехода: пат. 2786775, Рос. Федерация, МПК F21S 9/03, G08G 1/005 / Астахова Т. С., Астахов С. П., Якименко И. В.; заявитель «НИУ «МЭИ». – № 2022113944; заявл. 25.05.2022; опубл. 26.12.2022. Бюл. № 36. – 10 с.
3. Автономный комплекс обустройства пешеходного перехода: пат. 2753831, Рос. Федерация, МПК F21S 9/03, G08G 1/005 / Астахова Т. С., Астахов С. П., Мясина О. С., Михалев В. В., Якименко И. В.; заявитель «НИУ «МЭИ». – 2020144105 : заявл. 30.12.2020; опубл. 23.08.2021. Бюл. № 24. – 9 с.
4. Астахова Т. С. Астахов С. П., Якименко И. В. Реализация режима работы средств индикации пешеходного перехода на основе информации о транспортных средствах / Энергетика, информатика, инновации – 2021. Сб. трудов XI-ой Межд. науч.-техн. конф. 28-29 октября 2021 г. – Смоленск: Изд. «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, 2021. Т.1, С. 342-346.
5. Астахова Т. С. Способ реализации энергосберегающего режима работы комплекта освещения пешеходного перехода. / Информационные технологии, энергетика и экономика. Сб. трудов XVIII-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – Смоленск: Изд. «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, 2021. Т.2, С. 18-21.
6. Астахова Т. С. Стабилизация величины яркостного контраста свечения светофора и фона в автономном комплексе обустройства пешеходного перехода / Информационные технологии, энергетика и экономика. Сб. трудов XX-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – Смоленск: Изд. «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, 2023. Т.2, С. 114-117.

*И.В. Якименко, д.т.н., проф.; Д.А. Афанасьев, асп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРОБЛЕМАТИКА УЛУЧШЕНИЯ СКРЫТНОСТИ РАДИОЛИНИИ СКОРОСТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Сверхширокополосные (СШП) технологии относятся к новому направлению в развитии радиотехники, перешедшему в практическую плоскость в последние одно-два десятилетия, до того пребывая в состоянии весьма многообещающих, но труднореализуемых экспериментов. От традиционных радиотехнических систем СШП системы отличаются принципами использования частотного диапазона и особенностями формирования и обработки сигналов. Различные СШП системы, действующие одновременно, не делят частотный диапазон между собой, а стремятся использовать его полностью и используют совместно без влияния друг на друга. Излучаемые в радиоэфире сигналы могут представлять собой реализации широкополосного шума или иметь сверхкороткую длительность и вообще не иметь несущей. Обработка таких сигналов требует отказа от традиционной узкополосной фильтрации и построения сложных перестраиваемых вычислителей корреляционных моментов [1].

К сверхширокополосным относят сигналы, которые занимают полосу частот более 20% от несущей (от центральной для не имеющих несущей) или более 500 МГц. Наибольшие перспективы СШП технологии имеют в трёх областях:

- радиолокации;
- радионавигации;
- радиосвязи.

В области радиолокации применение СШП сигналов может обеспечить высокоточные измерения дальности до объектов локации, сверхвысокую разрешающую способность, устойчивость к активным помехам и ряд других преимуществ по сравнению с традиционными узкополосными радиолокаторами.

В области радионавигации применение СШП сигналов обеспечит субметровую точность позиционирования в пространстве, в том числе внутри зданий и сооружений, фиксацию микроперемещений, устойчивость к помехам и искажениям сигнала.

В области радиосвязи СШП технологии позволят гибко и более рационально распределять частотно-энергетический ресурс для достижения противоречивых целей. Существенно ослабляется проблема электромагнитной совместимости с традиционными узкополосными системами связи, для которых наличие работающих рядом СШП средств связи проявляется в незначительном, практически незаметном повышении уровня шумов. Становится возможным обеспечить недостижимую другими средствами скрытность работы радиосредств за счет низкой спектральной плотности мощности (ниже уровня шума) при сохранении приемлемой скорости передачи данных и дальности действия [2].

Способность канала осуществлять тайную передачу информации характеризуется его энергетической скрытностью. То, насколько скрыта сама структура сигнала, зависит вероятность обнаружения канала передачи данных и, как следствие, сохранение в тайне смысла передаваемой информации.

Однако стоит учитывать, что при передаче информации от передатчика (ПРД) к приёмнику (ПРМ) есть возможность перехвата информации разведприёмником (РПРМ). При этом мощность сигнала на входе РПРМ будет определяться не только характеристиками канала, но и взаимным расположением ПРД и ПРМ по отношению к РПРМ.

Возможность обнаружения работы канала РПРМ можно определить по формуле (1) [4]

$$q_p = \frac{\eta_0 q_0 \frac{\Pi_0}{\Pi_p}}{B_c} \quad (1)$$

Где

η_0 – коэффициент, характеризующий техническое совершенство высоко-частотных устройств канала и разведприёмника;

q_0 – показатель качества канала;

P_0 – потери мощности сигнала при распространении от передатчика к приёмнику;

P_p – потери электромагнитной энергии сигнала при распространении от передатчика к разведприёмнику;

B_C – база сигнала-переносчика, используемого в канале.

При значениях $q_p > 1$ РПРМ может обнаружить сигнал. Если $q_p < 1$, то сигнал практически невозможно обнаружить.

Таким образом, согласно вышеизложенной формуле, обязательными условиями увеличения скрытности канала являются:

– использование остронаправленных антенн с минимальным уровнем боковых лепестков;

– использование канала с минимальным показателем качества q_0 ;

– использование приёмного модуля с низким показателем уровня шумов [3];

– использование сигнала-переносчика с высоким значением базы ($B_C \gg 1$), т.е., применение сложных сигналов;

– максимальные потери энергии сигнала при его распространении от ПРД к ПРМ должны быть в разы меньше потерь при его распространении к РПРМ ($P_0 < P_p$).

Выполнение перечисленных условий – достаточно сложная научно-техническая задача, поэтому из предложенных методов наиболее оптимальным является использование сложных сигналов. Рассмотрим подробнее.

Основным параметром, отвечающим за скрытность радиоканала, является параметр – база сигнала B_C , который определяется выражением (2) [4]

$$B_C = 2\beta_C f_0 / R_U \quad (2)$$

Где

f_0 – частота несущей (средняя частота сигнала);

R_U – скорость передачи информации при двоичном методе передачи;

β_C – коэффициент широкополосности, который определяется выражением

(3)

$$\beta_C = F_C / 2f_0 = (f_B - f_H) / (f_B + f_H) \quad (3)$$

Где

F_C – полоса частот сигнала;

f_B, f_H – верхняя и нижняя частота спектра сигнала;

Таким образом, для улучшения качества скрытности канала предлагается использовать комбинацию двух методов: расширение полосы сигнала и увеличение длительности сигнала (при этом уменьшая мгновенную мощность). Такой подход позволит многократно увеличить параметр B_C , сохраняя скорость, помехоустойчивость и помехозащищенность канала связи.

Литература

1. Косичкина, Т. П. Сверхширокополосные системы телекоммуникаций / Т. П. Косичкина, Т. В. Сидорова, В. С. Сперанский. - М.: Инсвязьиздат, 2008. 304 с. :132 ил. - ISBN 978-5-94874-044-7.
2. Иммореев И. Я. Излучение сверхширокополосных сигналов / И. Я. Иммореев, А. Н. Синявин // Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике: Сборник докладов Всероссийской научной конференции. Муром, 1 - 3 июля 2003 г. -546 с.
3. Иммореев И. Я. Сверхширокополосная помехоустойчивая система скрытой связи с высокой скоростью передачи данных / И. Я. Иммореев, А. А. Судаков // Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике: Сборник докладов Всероссийской научной конференции. Муром, 1 - 3 июля 2003 г. -546 с.
4. Урядников, Ю. Ф. Сверхширокополосная связь. Теория и применение / Ю. Ф. Урядников, С. С. Аджемов. - М.: СОЛОН-Пресс, 2005. 368 с. - (Серия «Библиотека студента»). - ISBN 5-98003-207-X.

*И.В. Якименко, д.т.н., проф.; Д.А. Кичулкин, асп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕЙ СОЗДАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Проведенный анализ существующих локальных навигационных систем (AiRISTA Flow, DecaWave, Deckfinder, Essensium, K-RTLS, LORAN, Чайка, TrueSEEN, Pinpoint /EXACTRACK, Pozyx, RealTrac, Teldio, NGBPS, WideArea Tracking, WISER, Zebra MotionWorks, Sarissa и др.) показал, что все они содержат в своём составе стационарно установленные узлы (якоря, точки доступа), координаты которых известны, а также теги (метки), установленные на объектах позиционирования. В результате взаимодействия узлов локальной навигационной системы с тегом посредством либо радио, либо акустических, либо оптических сигналов производится измерение удаления тега от нескольких узлов системы, а затем дальномерным или разностно-дальномерным методом осуществляется вычисление координат тега.

Работоспособность всех проанализированных локальных систем позиционирования подтверждена результатами многолетней эксплуатации, что даёт возможность полагать, что использование заложенных в них принципов построения позволит создавать различные локальные навигационные системы любого назначения и масштаба действия без использования глобальных навигационных систем (ГНСС).

Отличие рассматриваемой навигационной системы состоит в том, что она должна быть быстроразвёртываемой в заранее неизвестной местности. Исходя из этого, узлы такой системы должны базироваться на подвижных носителях. Наибольшей доступностью для этого обладают воздушные носители мультироторного типа (трикоптер, квадрокоптер, пентакоптер, гексакоптер и т. д.), на которых должна быть установлена аппаратура узлов навигационной системы.

В отличие от известных локальных навигационных систем в данном случае узлы временно создаваемой системы не являются стационарными, поскольку мультироторные беспилотные летательные аппараты (БЛА) в режиме зависания не сохраняют своего положения в пространстве неизменным в силу того, что подвергаются случайным воздействиям со стороны турбулентной атмосферы. По этой причине, с одной стороны, система управления БЛА должна обеспечи-

вать его удержание в заданной точке, а, с другой, – необходимо осуществлять в течение всего времени существования Системы постоянное уточнение (определение) координат каждого воздушного узла.

Исходя из вышеизложенного, разрабатываемая локальная система навигационного обеспечения должна коренным образом отличаться от существующих тем, что алгоритм её функционирования должен дополняться четырьмя новыми операциями:

- созданием локальной прямоугольной трёхмерной системы координат, начало которой располагается в точке стояния наземного пункта управления (НПУ);

- периодическим последовательным определением координат воздушных узлов Системы относительно НПУ;

- формированием координатной сетки расположения воздушных узлов Системы (навигационной группы и навигационного моста) с помощью распределённой информационно-управляющей системы (совокупностью взаимосвязанных бортовых вычислителей воздушных узлов);

- автоматическим удержанием БЛА в узлах координатной сетки Системы.

Поскольку сама идея воздушных узлов навигационной Системы и все перечисленные операции в составе локальной навигационной системы являются новыми, требуется оценить возможности и определить пути их технической реализации.

Первоначально следует выбрать тип воздушного носителя узла Системы. Это должен быть БЛА мульти роторного типа. Он должен обладать способностью продолжительное время выполнять полёт в режиме «зависания», поэтому это может быть [1]:

- трикоптер;
- квадрокоптер;
- пентакоптер;
- гексакоптер и др.

Среди перечисленных БЛА наибольшее распространение получили квадрокоптеры и гексакоптеры.

Наиболее простыми по конструкции и недорогими являются трикоптеры. Они обладают высокой маневренностью, но, в то же время, их отличает малая грузоподъёмность и нестабильность полёта в режиме «зависания», что не позволяет их использовать в составе быстроразвёртываемой локальной навигационной системы.

Гексакоптеры отличает высокая стабильность полёта, большая грузоподъёмность, позволяющая брать на борт более мощные аккумуляторные батареи электропитания, что даёт возможность достигать большой дальности или продолжительности полёта. Вместе с тем, гексакоптеры отличает низкая маневренность.

Промежуточное положение среди рассматриваемых летательных аппаратов занимают квадрокоптеры, которые обладают приемлемой грузоподъёмно-

стью, высокой маневренностью и достаточной стабильностью полёта в режиме «зависания». [2]

Исходя из вышеуказанного, целесообразно для создания воздушных узлов быстроразвёртываемой локальной навигационной системы применять квадрокоптеры.

Одной из основных начальных операций при развёртывании локальной навигационной системы является создание локальной прямоугольной трёхмерной системы координат с началом в точке стояния НПУ, удалённой на расстояние 5 км от района навигационного обеспечения. Здесь требуется установить первичные источники навигационных сигналов, количество которых должно быть не менее трёх. Функцию источников должны выполнять три приёмопередающих модуля, подключенных к антеннам. Фазовые центры антенн должны располагаться в вертикальной полуплоскости, проходящей через точку, начала создаваемой локальной системы координат, как показано на рисунке 1. Координаты фазовых центров антенн 1, 2 и 3 должны быть измерены в новой системе координат.

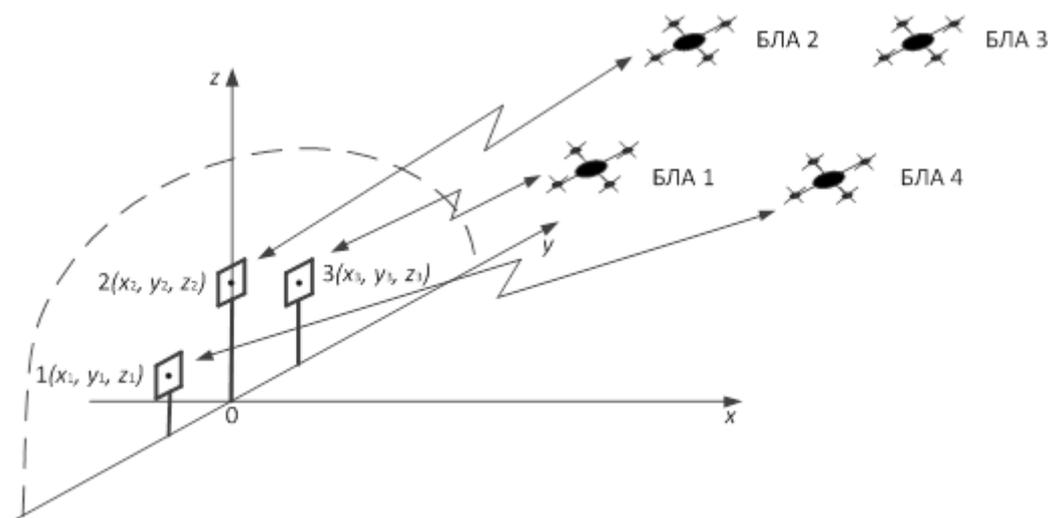


Рисунок 1 – Начало локальной системы координат

Каждый из источников в начале координат периодически формирует сообщения в форме последовательностей сверхширокополосных (СШП) импульсов, содержащие информацию о номере излучателя и его координатах. Потребителями этой информации будут все ближайшие БЛА, находящиеся в зоне приёма.

На каждом из БЛА должен располагаться приёмопередатчик, который принимает сигналы первичных источников 1, 2 и 3 и регистрирует их координаты. Для определения своих координат каждый приёмопередатчик БЛА направляет запросные сигналы в адрес каждого из первичных источников. Приёмопередатчики первичных источников принимают запросные сигналы и переизлучают их в адрес отправителя, т. е. соответствующего БЛА. По времени за-

держки переизлучённого сигнала от каждого первичного источника производится определение дальности до него, т. е. r_{1k}, r_{2k}, r_{3k} , где k – номер БЛА.

По имеющейся на борту ближайших БЛА информации о координатах первичных источников и дальности до каждого из них, представляется возможным с помощью бортового специального вычислителя рассчитать свои текущие координаты дальномерным методом с использованием системы уравнений

$$\begin{aligned} x_k &= \frac{r_{0k}^2 - y_k^2 - z_k^2 - r_{3k}^2 + (y_k - y_3)^2 + (z_k - z_3)^2 + x_3^2}{2x_3}, \\ y_k &= \frac{r_{0k}^2 - r_{1k}^2 + y_1^2}{2y_1}, \\ z_k &= \frac{r_{13}^2 - r_{23}^2 + 2y_1y_k - y_1^2 - 2y_2y_k + y_2^2 + z_2^2}{2z_2}. \end{aligned}$$

Из приведенных рассуждений следует, что для определения своих координат в локальной системе, первичные источники навигационных сигналов и БЛА должны располагать аналогичными приёмопередающими модулями, подключенными к антеннам. Каждая пара приёмопередающих модулей, работая в дуплексном режиме, образуют СШП радиолинию, управление которой осуществляется бортовыми специальными вычислителями. Таким образом, каждый специальный вычислитель является не только собственно вычислительным устройством, но и хранителем алгоритма функционирования узла навигационной системы, т. е. управляющим устройством. [3].

Поскольку такими радиолиниями охвачены все БЛА Системы, в совокупности они образуют СШП радиосеть.

Поскольку в процессе работы Системы все БЛА по отношению друг к другу могут занимать произвольное положение, антенны приёмопередающих модулей радиосети должны быть всенаправленными, в то время как антенны первичных источников, находящихся в районе начала координат, могут иметь диаграмму направленности в виде сектора, направленного в сторону района навигационного обеспечения.

Следует заметить, что при объединении всех БЛА с помощью адаптивной самоорганизующейся радиосети, нет необходимости иметь на борту каждого БЛА радиодальномера для измерения взаимных расстояний. Эту функцию адресного измерения дальности выполняет радиосеть в совокупности с бортовыми специальными вычислителями.

Из рассмотренного выше следует, что техническая возможность решения задачи локального позиционирования с использованием навигационных узлов воздушного базирования (без использования ГНСС) существует и пути реализации этой возможности в основном выявлены.

Литература

1. Барбасов Б. К., Гречищев А. В. Мультироторные беспилотные летательные аппараты, представленные на российском рынке: обзор. Электронный ресурс: <https://docplayer.ru/58948569-Multirotornye-bespilotnye-letatelnye-apparaty-predstavlennye-na-rossiyskom-rynke-obzor.html>. Дата обращения 03.10.2023 г.

2. Разбираемся, что лучше выбрать, гексакоптер или квадрокоптер? Электронный ресурс: <https://kopterinfo.rvkyadrokoptyery/kvadrokopter-ili-geksakoptyer.html>. Дата обращения 08.07.2019 г.

3. Проблемы создания скрытых каналов передачи данных для реализации радиосетей управления мобильными группами людей или роботов // Зайцев А. В. и др. / Журнал «научноёмкие технологии» 3, 2018, т. 19, 51 с.

*И.В. Якименко, д.т.н., доц.; А.Л. Лямец, студ., Л.Л. Лямец, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)
(ФГБОУ ВО СГМУ Минздрава России)*

СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ АНАЛОГОВОГО ПРОТОТИПА

При изучении теоретических основ и принципов построения цифровых фильтров важное значение имеют полученные ранее базовые знания об аналоговых электрических фильтрах. На их основе в рамках учебных занятий и самостоятельной работы у обучающихся формируются знания, умения и навыки, позволяющие осуществлять переход от математического описания аналоговых электрических фильтров к математическим моделям для цифровых фильтров. С практической точки зрения представляет интерес формальная процедура, с помощью которой можно перейти от передаточной функции RLC -фильтра к передаточной функции цифрового фильтра и на ее основе построить функциональную схему дискретного аналога.

В качестве примера рассмотрим полосовой RLC -фильтр. Электрическая схема фильтра показана на рисунке 1.

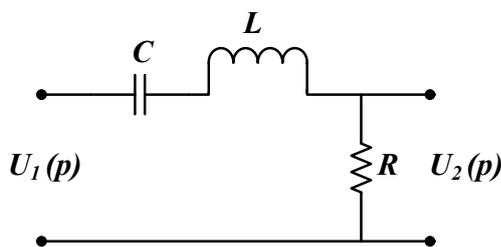


Рисунок 1 – Полосовой электрический RLC-фильтр

Входное операторное напряжение $U_1(p)$ приложено к последовательно соединенным электрическим элементам C , L и R . Выходное операторное напряжение $U_2(p)$ снимается с элемента R . В последовательной цепи протекает операторный ток $I(p)$. Входное $Z_1(p)$ и выходное $Z_2(p)$ сопротивления фильтра в операторной форме представляются выражениями:

$$Z_1(p) = R + Lp + \frac{1}{Cp}; \quad Z_2(p) = R.$$

Операторную передаточную функцию $K(p)$ электрической цепи можно представить в виде выражения:

$$K(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{I(p) Z_2(p)}{I(p) Z_1(p)} = \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)} = \frac{R}{R + Lp + \frac{1}{Cp}} = \frac{RCp}{LCp^2 + RCp + 1}. \quad (1)$$

Для перехода от аналогового прототипа к его дискретной модели необходимо осуществить отображение операторной передаточной функции $K(p)$ из комплексной p -плоскости в z -плоскость. С формальной точки зрения это означает переход от комплексной переменной $p = \sigma + j\omega$ к комплексной переменной $z = \exp(pT)$, где T – период дискретности цифрового фильтра. Величина T связана с угловой частотой дискретизации ω_δ следующим выражением: $\omega_\delta = \frac{2\pi}{T}$.

Различные способы дискретного интегрирования [1, 2] позволяют переходить от операторной функции $K(p)$ аналогового фильтра к передаточной функции $H(z)$ цифрового фильтра. Формулы общего вида интегрирования величин первого и второго порядка соответственно имеют следующий вид:

$$\frac{1}{p} = T \frac{M_0 + M_1 z^{-1}}{N_0 + N_1 z^{-1}}; \quad \frac{1}{p^2} = T^2 \frac{C_0 + C_1 z^{-1} + C_2 z^{-2}}{D_0 + D_1 z^{-1} + D_2 z^{-2}}.$$

Наибольшее распространение получило билинейное преобразование:

$$\frac{1}{p} = T \frac{1 + z^{-1}}{2 - 2z^{-1}}; \quad M_0 = M_1 = 1; \quad N_0 = 2; \quad N_1 = -2;$$

$$\frac{1}{p^2} = T^2 \frac{1 + 2z^{-1} + z^{-2}}{4 - 8z^{-1} + 4z^{-2}}; \quad C_0 = C_2 = 1; \quad C_1 = 2; \quad D_0 = D_2 = 4; \quad D_1 = -8.$$

В результате подстановки выражений

$$p = \frac{1}{T} \left(\frac{2 - 2z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) \text{ и } p^2 = \frac{1}{T^2} \left(\frac{4 - 8z^{-1} + 4z^{-2}}{1 + 2z^{-1} + z^{-2}} \right)$$

в выражение (1) получим функцию $H(z)$ для цифрового аналога электрического RLC -фильтра:

$$H(z) = \frac{2TRC - 2TRC \cdot z^{-2}}{(T^2 + 4LC + 2TRC) + (2T^2 - 8LC) \cdot z^{-1} + (T^2 + 4LC - 2TRC) \cdot z^{-2}} = \frac{Y(z)}{X(z)}.$$

Введем следующие обозначения:

$$b_0 = 2TRC; \quad b_2 = -2TRC; \quad a_0 = T^2 + 4LC + 2TRC; \quad a_1 = 2T^2 - 8LC; \quad a_2 = T^2 + 4LC - 2TRC.$$

С учетом обозначений выражение для $H(z)$ примет вид:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_2 \cdot z^{-2}}{a_0 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2}} = \frac{Y(z)}{X(z)}. \quad (3)$$

Выражение (3) можно записать в следующей форме:

$$a_0 Y(z) + a_1 Y(z) \cdot z^{-1} + a_2 Y(z) \cdot z^{-2} = b_0 X(z) + b_2 X(z) \cdot z^{-2},$$

$$Y(z) = \frac{b_0}{a_0} X(z) + \frac{b_2}{a_0} X(z) \cdot z^{-2} - \frac{a_1}{a_0} Y(z) \cdot z^{-1} - \frac{a_2}{a_0} Y(z) \cdot z^{-2}.$$

Введем обозначение коэффициентов:

$$B_0 = \frac{b_0}{a_0}; B_2 = \frac{b_2}{a_0}; A_1 = -\frac{a_1}{a_0}; A_2 = -\frac{a_2}{a_0}.$$

В результате получим следующее выражение для z -изображения выходного сигнала $Y(z)$:

$$Y(z) = B_0 X(z) + B_2 X(z) \cdot z^{-2} + A_1 Y(z) \cdot z^{-1} + A_2 Y(z) \cdot z^{-2}. \quad (4)$$

Применяя обратное z -преобразование к выражению (4), получим формальное описание дискретного сигнала $Y(n)$ на выходе цифрового фильтра:

$$Y(n) = B_0 X(n) + B_2 X(n-2) + A_1 Y(n-1) + A_2 Y(n-2). \quad (5)$$

На основании уравнения (5) можно представить схему дискретного аналога (рисунок 2) электрического фильтра, представленного выше на рисунке 1.

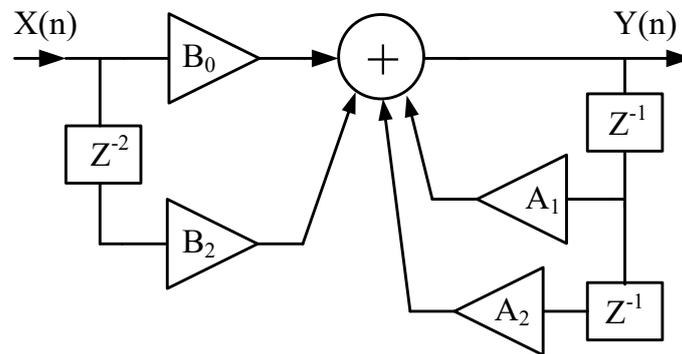


Рисунок 2 – схема дискретного аналога RLC-фильтра

Результатом проведенного исследования является формальная процедура, в соответствии с которой осуществляется преобразование операторной функции $K(p)$ RLC-фильтра в передаточную функцию $H(z)$ ЛДС (линейной дискретной системы). Описанный способ позволяет получить уравнение (5) и построить функциональную схему цифрового фильтра, на основе которой может быть составлен алгоритм и написано соответствующее программное обеспечение для практической реализации с помощью цифровых вычислительных систем.

Литература

1. Лямец Л.Л. Сравнительный анализ дискретных аналогов RC-цепи, реализованных на основе комбинированного, параболического и билинейного методов дискретного интегрирования // «Энергетика, информатика, инновации – 2017 (микроэлектроника и оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сборник трудов VII-ой Международной научно-технической конференции. В 3 томах. Том 2. Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2017. – 160-164с.
2. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций / А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузов, Е.Б. Соловьева. Изд. 2-е испр. и перераб. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 768с.

3. Математические основы обработки сигналов: Учебное пособие / О.С. Вадутов. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011 – 212с.

4. Основы цифровой обработки сигналов: учебное пособие / Ю.А. Брюханов, А.Л. Приоров, В.И. Джиган, В.В. Хрящев: Яросл. Гос. Ун-т П.Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2013. – 344с.

*И.В. Якименко, д. т. н, проф.; Р.В. Поляков асп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ БВС

За последние два десятилетия, особенно, за последние несколько лет, в разы возросла актуальность использования беспилотных воздушных судов (БВС). Произошёл ряд значительных изменений в вопросах их использования в локальных войнах, вооружённых конфликтах и специальных военных операциях. Значительно расширилась зона решаемых задач БВС, возросла их роль и численность [1]. В настоящее время БВС активно применяются в качестве обязательного элемента практически в любом вооружённом конфликте [2].

Такое интенсивное развитие БВС различных типов происходит благодаря безусловным достоинствам, в сравнении с традиционной авиацией. Во-первых, отсутствие наличия пилота. Во-вторых, относительно малая себестоимость БВС и не большие эксплуатационные расходы. В-третьих, осуществимость исполнения сложнейших манёвров с перегрузками, в разы превышающих перегрузки, переносимые пилотом. В-четвёртых, отсутствие стресс-фактора экипажа, а также ряд других достоинств в отличии от традиционной пилотируемой техники. По некоторым данным ряда открытых источников к 2018 году более 550 фирм различных государств повсеместно занимались разработкой и производством БВС. В сентябре 2023 года таких фирм уже более 1500, основными производителями являются США и Китай. Только в России, по результатам исследований национальной Ассоциации участников рынка робототехники производителей БВС в сентябре 2023 года насчитывается 98 компаний.

В настоящее время в армиях иностранных государств наиболее активно используются микро, мини и лёгкие БВС, взлётная масса которых не превышает 100 кг [3].

В большинстве зарубежных прогрессивных государств, по назначению БВС в ВС подразделяют на боевые и боевого обеспечения.

Большинство тактико-технических характеристик БВС зависят друг от друга. К примеру, в звене «взвод» наиболее часто применяются тактические БВС БД (ближнего действия), мультикоптерной (вертолётной) конструкции с вертикальной посадкой и подъёмом. Гаврилов А.Д. в своих исследованиях отмечает, что «в звеньях «рота», «батальон» чаще всего используют беспилотники самолётного типа, запускаемые «с руки». В звеньях «бригада (полк)-дивизия-корпус» применяются более конструктивно сложные и тяжёлые беспилотники, запускаемые со специальной пусковой установки или взлётной полосы.

Также существует взаимозависимость от взлётной массы, дальности действия, а также звена применения» [2, 3].

Таблица 1 – Зависимость взлётной массы, дальности действия, а также звена применения БВС [4-5]

Категория	Взлётная масса, кг	Дальность действия, км	Звено применения
Микро и мини БВС ближнего действия	0-5	25-40	БВС БД («взвод-рота»)
Лёгкие БВС малого радиуса действия	5-50	10-70	БВС МД и СД («рота-батальон»)
Лёгкие БВС среднего радиуса действия	50-100	70-150 (250)	БВС СД («батальон-бригада (полк)»)
Средние БВС	100-300	150-1000	БВС СД и ДД («бригада (полк) – дивизия - корпус»)
Среднетяжёлые БВС	300-500	70-300	БВС СД и ДД («бригада (полк) – дивизия - корпус»)
Тяжёлые БВС среднего радиуса действия	< 500	70 - 300	БВС ДД («корпус - армия»)
Тяжёлые БВС большой продолжительности полёта	<1500	1500	БВС ДД («корпус - армия»)

Исходя из таблицы 1, существует четыре основные группы беспилотников (Мини, лёгкие, средние и тяжёлые БВС). Последние две категории применяются намного реже, исходя из того, что их разработка и производство является почти исключительной прерогативой авиастроительных корпораций, наиболее широко распространена первая категория БВС.

Анализ вооружённых противостояний последних лет, включая Специальную военную операцию (СВО) и боевой опыт в Сирийской Арабской Республике показывает, что БВС в ходе боевых действий решали следующие задачи [6]:

- ведение воздушной разведки (вскрытие, пунктов управления, средств ПВО, огневых позиций и т.д.);
- поражение вооружения и военной техники, боеприпасов, провизии, горюче-смазочных материалов, иных материальных ценностей, стратегически важных объектов, а также живой силы противника;
- осуществление радиоэлектронного подавления средств ПВО;

- выдача целеуказания самолётам ТА, специализированным ударным вертолётам и корректировка огня артиллерии;
- обеспечение демонстративных действий и имитации воздушных ударов;
- перегрузка разведывательно-информационных систем и изнурение боевых расчётов зенитных ракетных комплексов противника.

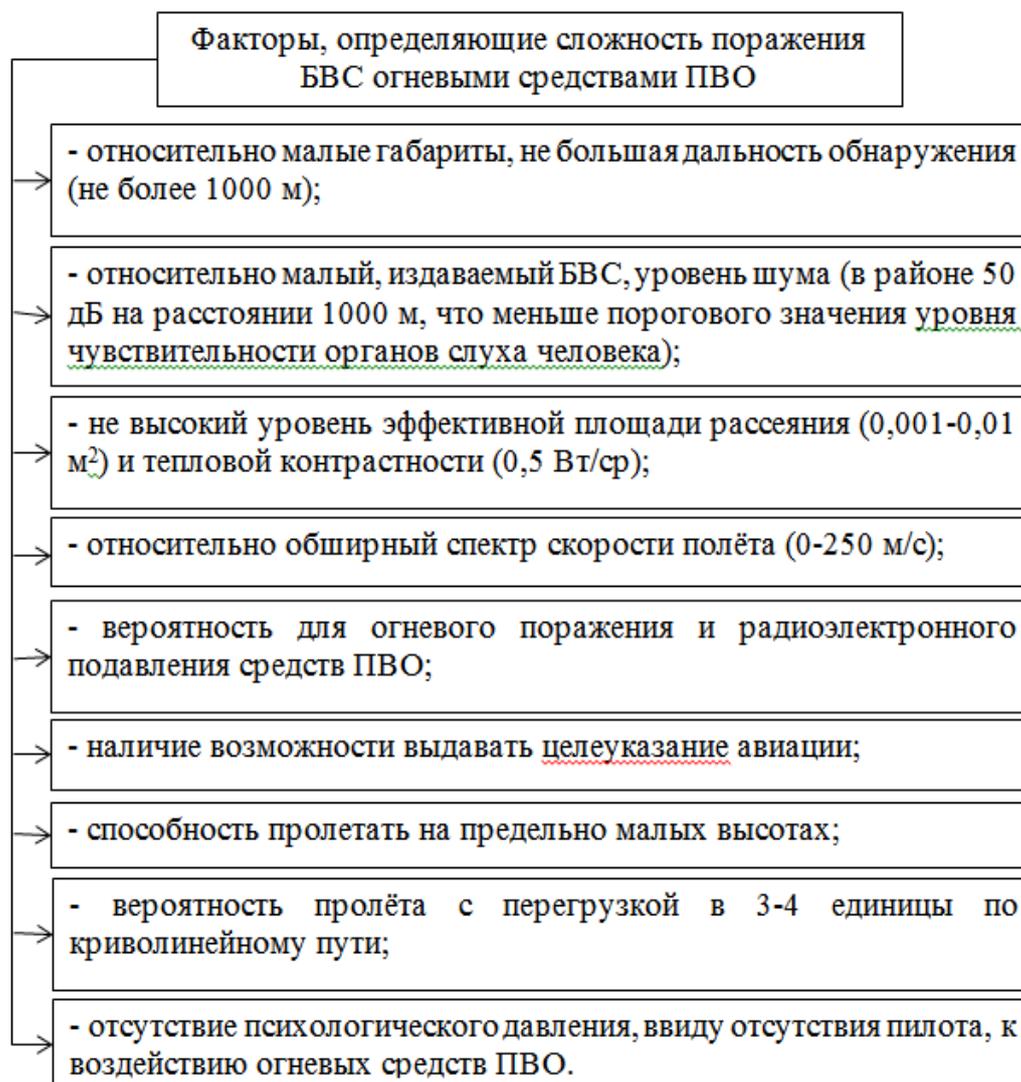


Рисунок 1 – Факторы, определяющие сложность поражения БВС огневыми средствами ПВО

В настоящее время обнаружение низколетящих, внезапно появляющихся малоразмерных воздушных целей (МВЦ), к которым относятся тактические БВС, как правило, производится, на ЗРК (ЗРС) войсковой ПВО, таких как «Тор-М2», «Тор-М1», «Оса-АКМ», «Тунгуска-М», «Стрела-10М3» и ПЗРК «Игла». Однако, их возможности по обнаружению БВС существенно ограничены.

Факторы, определяющие сложность поражения БВС огневыми средствами ПВО схематично представлены на рисунке 1.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что обнаружение БВС типовыми радиолокационными средствами, а также средствами оптического обнаружения представляет собой трудно разрешимую задачу, что, в свою очередь,

делает малоэффективным применение ЗРК (ЗРС) для борьбы с данным типом целей.

Одним из вероятных вариантов успешного разрешения задачи обнаружения (селекции) БВС такого типа с использованием ОЭС является применение ИК ПОЭС. Их суть работы основана на фокусировании лучистого потока. Искомый поток формируется наблюдаемыми целями, благодаря оптической системе или объективом, на светочувствительную матрицу приёмников лучистой энергии.

Адекватно оценить способности обнаружения БВС с применением ПОЭС инфракрасного диапазона пока нельзя. Такая ситуация объясняется отсутствием каких-либо данных о параметрах излучения такого рода воздушных целей.

В связи с этим возникает необходимость в проведении работ, связанных с исследованием параметров излучения БВС в различных диапазонах, и разработкой алгоритмов обнаружения (селекции) БВС в этих диапазонах.

Литература

1. Стрельников, Д.О. Совместное применение пилотируемой и беспилотной авиации США в первой половине XXI века / Д.О. Стрельников, А.А. Сидоров // Зарубежное военное обозрение.-2018.-№4.-С.52-59
2. Гаврилов, А.Д. Проблемы борьбы с современными средствами воздушного нападения / А.Д.Гаврилов// Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук.2018.-№3.-С. 15-20.
3. Гаврилов, А.Д. Малоразмерные беспилотники – новая проблема для ПВО А.Д.Гаврилов, Г.В.Ерёмин, И.И.Назарчук// Арсенал Отечества.-2014.-№5.-С.12-19
4. Российская универсальная классификация БВС //https://docs.geoscan.aero/ru/master/database/const-module/classification/classification.html.-2023
5. Планы переоснащения сухопутных войска США на новые образцы вооружения и военной техники // Сводка по военно-техническим вопросам иностранных государств.-2023
6. Макушев, И.Ю. Опыт боевых действий в Сирии часть 2 /И.Ю.Макушев / Арсенал Отечества.-2017.-№6.-С.12-26.

И.В. Якименко, д.т.н., доц.; Е.С. Сулимский

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, АО НИИ СТТ г. Смоленск)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНОГО ПРОХОДНОГО СКА- НЕРА ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА ИНСПЕКЦИОННО-ДОСМОТРОВОГО КОМПЛЕКСА

Текущая ситуация в стране и в мире накладывает ограничения на используемые технические решения в сфере инспекционно-досмотровых комплексов (ИДК) иностранного производства, особенно из недружественных стран. Наивысший приоритет отдается отечественным разработкам и решениям. В Российской Федерации на 2020 год согласно [1] всего 15 % пунктов пропуска соответствовали современным требованиям, утвержденным в [2]. Две трети пунктов пропуска нуждаются в существенной реконструкции и модернизации.

ИДК состоит из компонентов, которые позволяют осуществлять контроль над прохождением запрещенных объектов через периметр зоны контроля [3]. ИДК устанавливают, например, на массовых мероприятиях, аэропортах, пунктах пропуска через границу, вокзалах. Для каждого случая существуют разные перечни запрещенных объектов и почти в каждом есть задача досмотра людей [4].

Применение терагерцового диапазона длин волн для досмотра людей существенно повысит эффективность ИДК, когда нет необходимости использовать рентген. Примером уязвимости ИДК без рентгена являются пластмассовые пистолеты и пластмассовые/керамические ножи [5]. Волны терагерцового диапазона проникают через одежду и позволяют идентифицировать на фоне естественного излучения или отраженного излучения от тела человека металлические, керамические, пластиковые объекты, также изделия из других материалов. Ограничение в идентификации накладываются длиной волны, чувствительностью приемника, диэлектрической проницаемостью идентифицируемого объекта и конструкцией системы досмотра, например, в активной системе могут быть слепые пятна, так как излучение от генератора после отражения от тела человека должно попасть на приемник излучения. После идентификация проводится распознавание и присвоение найденному объекту статуса опасного или безопасного [6].

Таблица 1 – Системы терагерцового диапазона иностранного производства для досмотра людей в аэропортах

Производитель	Модель	Тип системы	Дата начала эксплуатации	Страна производства
CEIA	JANUS	активная	2021	Италия
Leidos	ProVision 2	активная	2014	
Leidos	ProVision 3	активная	2022	США
Nuctech	MW1000AA	активная	2016	Китай
Rohde & Schwarz	R&S®QPS100	активная	2015	Германия
Rohde & Schwarz	R&S®QPS200	активная	2016	Германия
Rohde & Schwarz	R&S®QPS201	активная	2017	Германия
Nuctech	SHENMUTEK ES7	активная	2023	Китай
Smiths Detection	eqo	активная	2013	Великобритания

Системы терагерцового диапазона иностранного производства для досмотра людей в аэропортах представлены в таблице 1 на основе данных из [7] для Великобритании. Из таблицы следует, что внедрение подобных систем началось в Великобритании с 2013 года и каждый год вводились новые образцы с более совершенной технической частью и программным обеспечением. Также стоит отметить, что все они предназначены только для досмотра пассажиров, нет возможности досматривать ручную кладь, чемоданы и грузы [7]. Используются системы производства Италии, Германии, Великобритании, США, Китая, что позволяет утверждать о их широком внедрении, как минимум в аэропортах представленных стран, а также в Европейском союзе.

ИДК с терагерцовыми компонентами отечественного производства в данный момент 2 [5]. Производства АО «ОКБ «Астрон» THERZ-7A и БИОСКАН.

Их особенность в пассивном режиме работы. Пассивный режим накладывает ограничения на пропускную способность сканера. Например, в системе БИОС-КАН пропускная способность с одним сканером 300-450 человек в час [8] с вероятностью обнаружения опасного объекта средняя-высокая. При увеличении количества сканеров вероятность обнаружения уменьшается до низкой-средней, а также увеличивается цена решения. Активный сканер SHENMUTEK ES7 компании «Nuctech» позволяет обеспечивать пропускную способность в 600 человек в час [9].

Используя компоненты, произведенные в Российской Федерации компанией ООО «МВЭЙВ» [10], разработана концепция активного проходного сканера терагерцового диапазона, состоящего из следующих компонентов:

1. Стекло линейных камер с квазиоптической системой – 2шт.
2. Осветители терагерцового диапазона с линейчатой диаграммой направленности – 4 шт.
3. Камеры видимого диапазона – 4 шт.
4. Компьютер с программным обеспечением.
5. Блок электропитания.

Стекло камер построены на модулях быстродействующей линейной камеры TERA-1024 256x1 (рисунок 1) и имеют высоту 2 м, что позволяет охватить рост взрослого человека (рисунок 2).



Рисунок 1 – Модуль быстродействующей линейной камеры TERA-1024 256x1

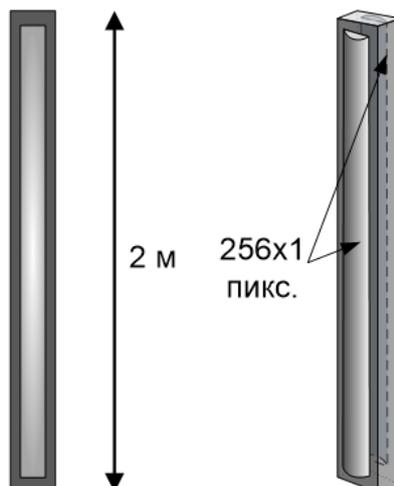


Рисунок 2 – Стек для расположения матричных камер

Общий принцип работы системы представлен на рисунке 3.

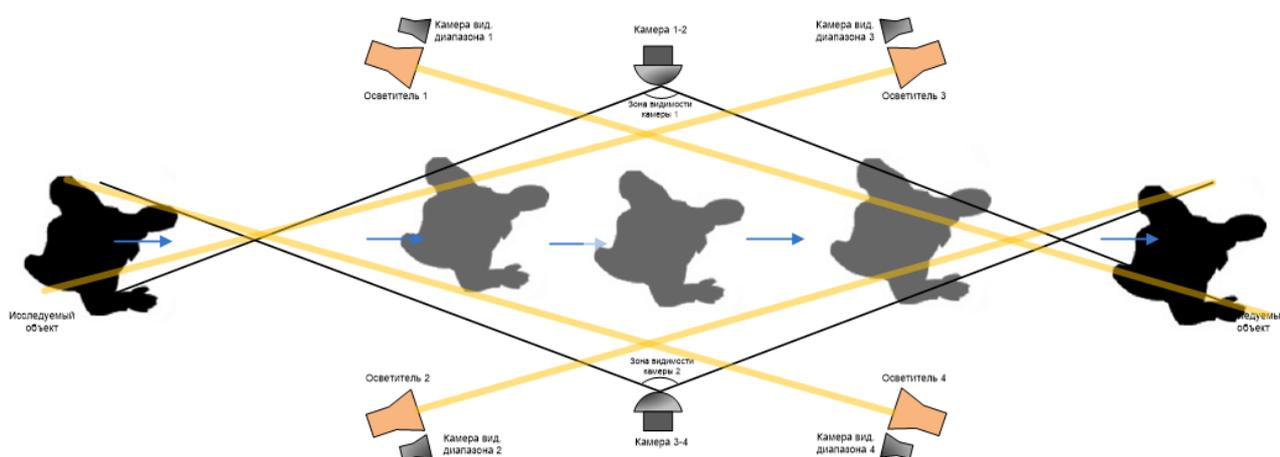


Рисунок 3 – Общий принцип работы системы

В процессе прохождения рабочего пространства человек попадает в зону перекрестного освещения линейчатых осветителей. Отраженные сигналы собираются полуцилиндрическими линзами квазиоптических систем и фокусируются на приемные элементы камеры. В процессе прохода обеспечивается освещение и сбор информации со всей поверхности человеческого тела. Высокое быстродействие камер позволяет проводить работу в реальном времени без ограничений скорости прохода рабочей зоны. Также за счет развертки узкого луча осветителя возможно получение контура досматриваемого объекта с приемлемой для его распознавания точностью (до 3 мм). Геометрия системы позволяет обойтись без сервоприводов для разворота камер и осветителей на нужный угол, что упрощает как саму конструкцию, так и конечную стоимость системы.

Программное обеспечение, используя данные терагерцовых камер и камер видимого диапазона, строит трехмерное изображение поверхности тела и обнаруженных на нем объектов, обеспечивает выявление потенциально опасных объектов (оружие, взрывчатка, террористическое снаряжение).

Достоинством подобного решения является непрерывное сканирование потока людей с временным интервалом около 1-2 секунд с потенциальной пропускной способностью минимум в 800 человек в час [8, 10]. Таким образом дополнение ИДК без рентгена активным проходным сканером терагерцового диапазона, например, на железнодорожных вокзалах и в аэропортах, предназначенных для персонального досмотра людей и их вещей, позволит значительно повысить безопасность без существенного уменьшения пропускной способности.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 23.05.2020 № 1388-р «Стратегия развития таможенной службы Российской Федерации до 2030 года».

2. Решение Комиссии Таможенного союза от 22 июня 2011 г. № 688 «О Единых типовых требованиях к оборудованию и материально-техническому оснащению зданий, помещений и сооружений, необходимых для организации государственного контроля в пунктах пропуска через таможенную границу Евразийского экономического союза, Классификации пунктов пропуска через таможенную границу Евразийского экономического союза и форме Паспорта пункта пропуска через таможенную границу Евразийского экономического союза».
2. Субботин С. П., Мкртчян О. Д. Повышение эффективности работы досмотровых групп на контрольно-пропускных пунктах при входе на охраняемую территорию учреждений уис // Вестник СЮИ. DOI: 10.37523/SUI.2021.30.97.021.
3. Афонин П. Н., Плахотин А. А. Оценка качества и конкурентоспособности выпускаемых инспекционно-досмотровых комплексов отечественного производства в рамках построения концептуальной модели интеллектуального пункта пропуска // Russian Journal of Management. 2022. №. 3. С. 51-55. DOI: <https://doi.org/10.29039/2409-6024-2022-10-3-51-55>.
4. П. Н. Башлы, В. Ф. Вербов Новая классификация инспекционно-досмотровых комплексов как средство повышения эффективности их применения // Вестник российской таможенной академии. № 4. 2017.
5. Николаев Н.В., Ильин В.В., Соколов А.М., Мацкевич Е.Е. Применение терагерцовых (субтерагерцовых) досмотровых комплексов в интегрированных системах безопасности // Вопросы безопасности. 2021. № 4. С. 39 - 49. DOI: 10.25136/2409-7543.2021.4.36822.
6. Дудихин В. В., Иванов А. С., Межуев И. Ю., Шоков А. В., Якупов И. Ю. Распознавание радиолокационных изображений, полученных в миллиметровом диапазоне, с использованием нейронных сетей // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2022. № 3. С. 48–58. <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2022-3-48-58>.
7. Approved security scanners for screening people at airports. – URL: <https://www.gov.uk/government/publications/approved-security-scanners> (дата обращения: 17.08.2023).
8. БИОСКАН. Пассивный терагерцовый сканер. – URL: <https://astrohn.ru/product/bioskan/> (дата обращения: 19.08.2023).
9. Nuctech™ SHENMUTEK™ ES7. – URL: <https://www.nuctech.com.ar/en/producto/nuctech-shenmutek-tm-es7-millimeter-wave-body-inspection-x-ray-scanner/> (дата обращения: 20.08.2023).
10. Терагерцовые системы. – URL: <https://emwave.ru/> (дата обращения: 3.07.2023).

А.Н. Конаков, доц.; А.В. Марина, студ.

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

СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ «БЕЗОПАСНЫЙ ГОРОД»

Современные цифровые системы могут не только обрабатывать и передавать видеопоток по компьютерным сетям, но и способны осуществлять интеллектуальную обработку изображения, согласовывать работу поворотных устройств, мгновенно реагировать на происшествия и автоматически выполнять нужные действия.

Системы видеонаблюдения транспортных сетей способствуют регулированию движения на уже существующей сети с применением ЭВМ, средств автоматизации, телемеханики, телевидения и диспетчерской связи для организации движения в масштабах города.

Система видеонаблюдения строится по модульному принципу. Наращивание мощности происходит за счет включения в сеть дополнительного видеосервера. Система, построенная на базе видеосерверов, создает коллективную систему безопасности и ответственности. При ее построении следует придерживаться принципа: «чем больше пользователей, тем выше вероятность своевременного выявления тревожного события и тем сильнее взаимный кон-

троль друг друга различными службами (аварийные, диспетчерские, оперативные и т.п.)».

Распределенная система видеонаблюдения предназначена для передачи видеоизображения по цифровым сетям с множества территориально разнесенных видеосерверов и распределенного хранения архивов с возможностью дублирования данных (рис. 1).

Использование распределенных систем позволяет:

- эффективно управлять ресурсами (сбор, анализ, компрессия, декомпрессия и просмотр видеоданных);
- оптимизировать работу сети за счет уменьшения сетевого трафика;
- получить необходимый объем архива за счет использования ресурсов нескольких видеосерверов;
- добиться высокой надежности и отказоустойчивости.

Оборудование по функциям подразделяется на три части – центральное (базовое) оборудование, абонентское и объектовое. Центральная организационная структура системы хорошо сочетается с динамической маршрутизацией. Организуется базовая станция, далее каждый клиент системы оснащается абонентским модулем.

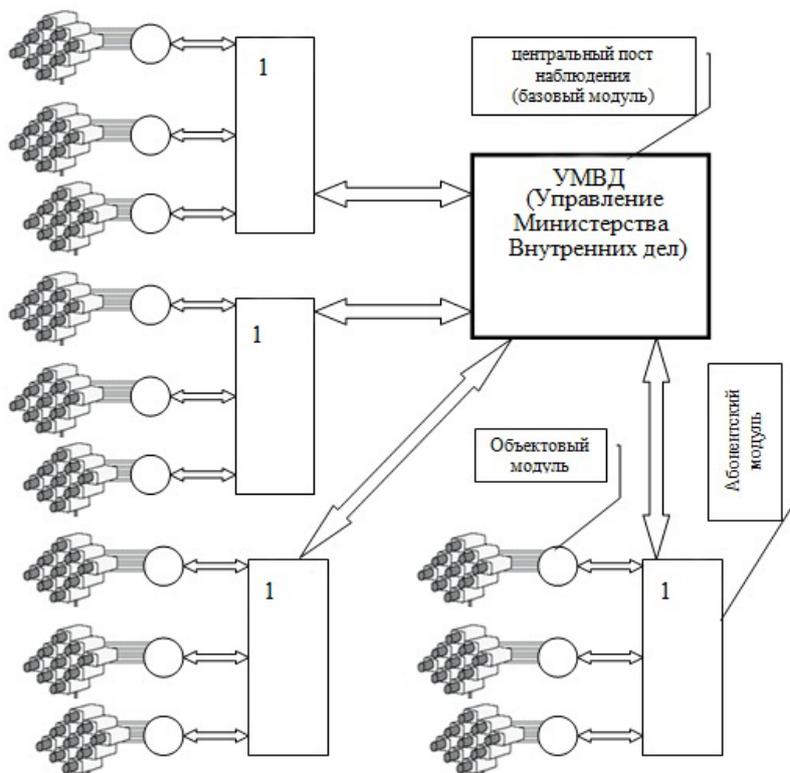


Рис.1. Схема распределенной системы видеонаблюдения: 1 – Районное управление внутренних дел

Ключевыми элементами системы являются объектовые модули, располагаемые в районе территориально контролируемых объектов (рис. 2). Видеока-

меры контролируют территории, согласно перечню особо важных объектов, обозначенных на карте города [1].

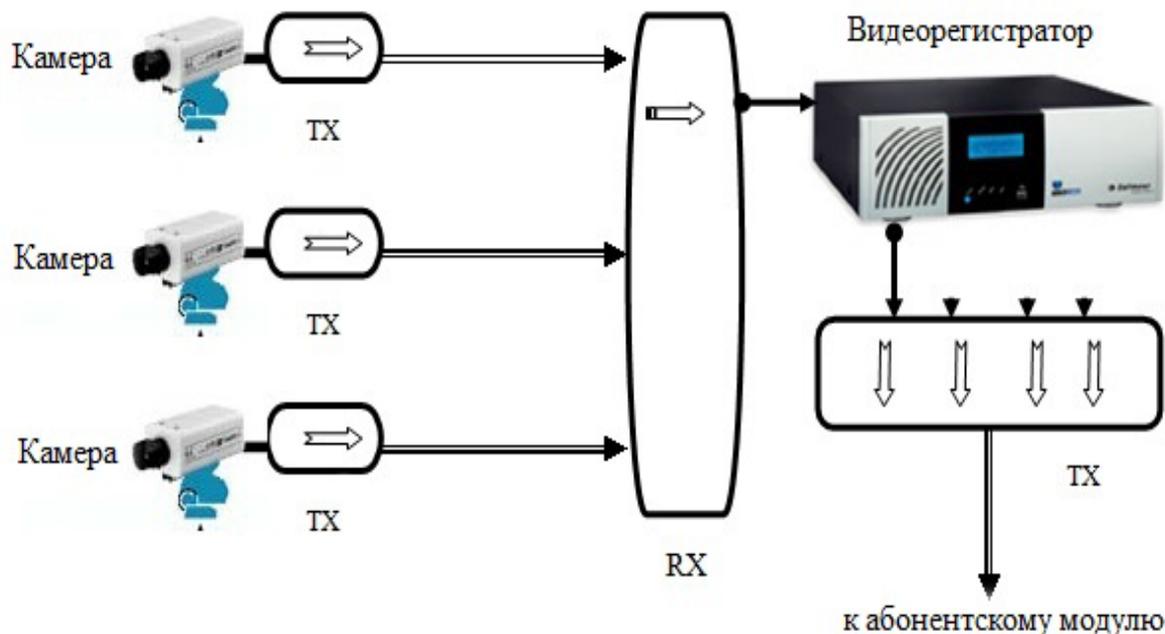


Рисунок 2 – Схема объектового оборудования видеосистемы.

Видеоизображение поступает от цветной камеры видеонаблюдения с цифровой обработкой сигнала, снабженной объективом с автодиафрагмой и смонтированной в термокожух с кронштейном. Также контроль осуществляется управляемыми скоростными купольными камерами. Одна из главных особенностей видеокамер современного поколения - использование инновационной цифровой обработки видеосигнала *Digital Pixel System*, созданной компанией *Pixim Inc*. Данная система цифровой обработки видеосигнала сильно отличается от классических технологий, которые применяются в новейших профессиональных и бытовых видеокамерах. Основными моментами служат использование аналогово-цифрового преобразователя в каждом пикселе сенсорной матрицы видеокамеры и параллельная микропроцессорная обработка видеосигналов. Использование этой технологии позволило добиться очень точной цветопередачи, значительного снижения шумов изображения и существенного увеличения динамического диапазона (другими словами, разницы в яркости между самыми светлыми и самыми темными участками видеокадра). Стоит упомянуть, что камеры так же оснащены механическим ИК-фильтром, обеспечивающим высокую чувствительность в ночном (ч/б) режиме работы, а широкий выбор питающих напряжений дает больше свободы проектировщику.

Видеосигнал передается при помощи оптоволоконной системы. Демодуляция (декодирование) осуществляется в объектовом модуле. Принятый сигнал от оптоволоконного приемника поступает в многоканальный видеорегистратор, который производит видеозапись и архивирование событий.

Каждый цифровой видеореги­стратор оптимизирован для выполнения ряда определенных задач. Любое количество камер, видеореги­страторов, постов наблюдения, постов управления могут быть объединены в одну систему. Система имеет единый видеоархив, центральный пост конфигурации и настройки, а также интегрируется с корпоративной системой ведомств.

Видеореги­страторы ведут запись на диск и сжатие в формате *Wavelet*, так как это позволяет получить высокое качество картин­ки. Однако для передачи по низкоскоростным сетям (менее 1 Мбит/с) формат *Wavelet* не подходит. Существуют 2 алгоритма сжатия, которые позволяют передавать картинку с приемлемым качеством по низкоскоростным сетям:

- *H.261* для сетей с пропускной способностью менее 400 Кбит/с;
- *MPEG-4* для сетей с пропускной способностью от 400 Кбит/с до 2 Мбит/с.

Сетевой интерфейс или аппаратный модуль *PRemote FS* предназначен для сжатия видео в форматах либо *H.261* либо *MPEG-4* и для обращения к видеореги­стратору с удаленного рабочего места оператора. На удаленном рабочем месте устанавливается программа, которая позволяет просматривать живую картинку, записи с диска, а также осуществлять удаленную конфигурацию видеореги­стратора. Сжатое видео передается оптико-волоконным 4-х канальным передатчиком в абонентский модуль (рис.3).

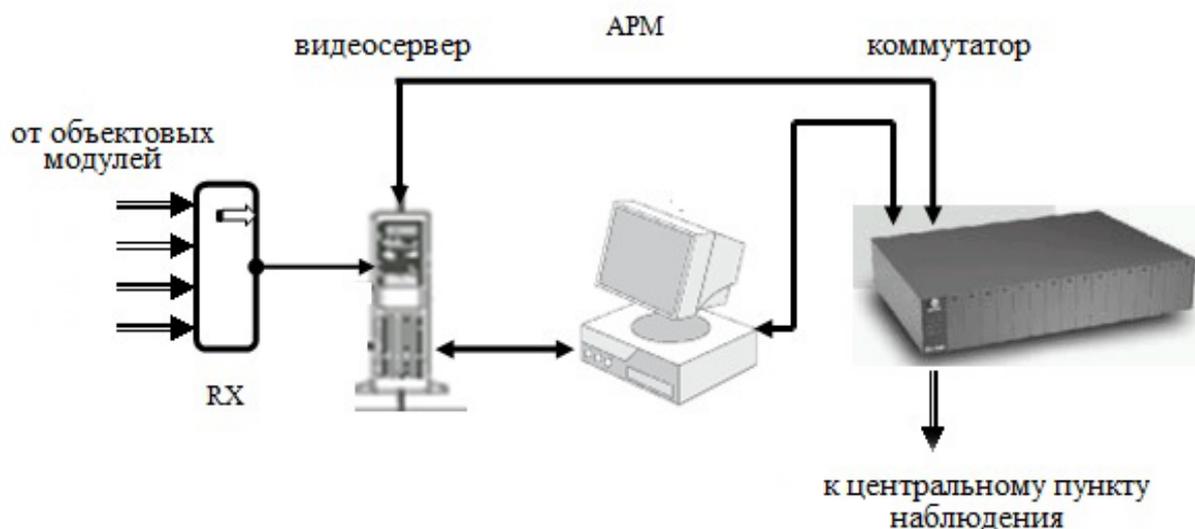


Рисунок 3 – Схема передачи сигнала к центральному пункту наблюдения.

Применяемые видеосерверы *Hi-End* класса – это серверы видеопотока, использующие алгоритм компрессии *MPEG-2*, которые обеспечивают видеоизображение высочайшего качества реального времени – 25 кадров (50 полей) в секунду.

Одноканальные кодеры/декодеры могут одновременно записывать и передавать по сети видео и аудио информацию. Видеосервер позволяет одновременно производить запись и осуществлять просмотр информации (дуплексный режим), просматривать информацию в различных режимах, а также получать качественные изображения за счет применения специальных фильтров (напри-

мер, динамический фильтр снижения шумов). Встроенный интерфейс *Ethernet* гарантирует быструю интеграцию в существующие информационные сети.

Объединенная работа видеосерверов, сетевых коммутаторов, локальной сети и управляющих компьютеров создает виртуальную матрицу. Каждый сервер может выступать как в качестве кодека, так и в качестве декодера. Это означает, что в простейшем случае к одному серверу подключается камера, ко второму монитор, и оба они включаются в локальную сеть. Первый сервер кодирует видеопоток в *MPEG-2* формат и передает в сеть. Второй сервер декодирует поток и выводит на экран. Если камер и мониторов больше, в сеть включается управляющий компьютер, который указывает поток от какой камеры в данный момент следует декодировать и выводить на монитор. Таким образом, оператор может моментально вывести запись с любой камеры, просмотреть ее в замедленном, ускоренном режимах, осуществить обратный или покадровый просмотр.

Интеллектуальные *Ethernet*-коммутаторы — это новейшая линия каскадируемых многоуровневых коммутаторов, способных обеспечивать высокий уровень доступности, масштабирования, безопасности и управления. Они могут работать в разных конфигурациях *Fast Ethernet* и *Gigabit Ethernet*, могут устанавливаться в распределительных шкафах корпоративных сетей для использования в качестве мощных коммутаторов доступа или в качестве магистральных коммутаторов в сетях [2].

В данной статье была рассмотрена и проанализирована работа проекта «Безопасный город», описана технология изготовления данной системы, а именно её основные узлы и методы их контроля, составлена блок-схема системы, на основе которой будем проводить дальнейшее проектирование видеоконтроля транспортных потоков.

Литература

1. Кругль Герман Профессиональное видеонаблюдение - 2, 3-е изд.: Пер. с англ.- М.: Security Focus, 2021. – 626с.
2. Назаров И. Пропускная способность в IP-сетях: расчет и выбор сетевого оборудования, 1-е изд.: Системы безопасности. – 2014.

*П.Б. Новиков, студ.; С.П. Астахов, к. т. н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МЕТОДЫ УЧЁТА ТРЕБОВАНИЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Практика конструирования разнообразных изделий позволяет сформулировать некоторые общие принципы конструирования, методические, логические и математические основы принятия технических решений.

При разработке изделий в первую очередь ставится задача сделать деталь, которая будет безукоризненно выполнять свою функцию. Грамотный инженер-специалист обязан понимать, что созданное изделие одновременно с основной

целью должно также соответствовать всем требованиям к разработке и принятию решений.

Среди основных требований можно выделить:

- требования наибольшей безопасности;
- требования экономической целесообразности;
- требования полного соответствия функции изделия условиям окружающей среды и т. д.

Требования экономической целесообразности означают, что основные технико-эксплуатационные параметры и конструктивное исполнение изделия должны обеспечивать высокий уровень эффективности изделия как объекта производства и эксплуатации. Полезный эффект от использования изделия по назначению при заданных режимах эксплуатации должен обеспечиваться минимально необходимыми затратами трудовых, материальных и энергетических ресурсов [1].

Этому способствуют мероприятия, направленные на снижение ресурсоемкости изделия, в частности, на обеспечение технологической рациональности конструкции изделия, конструктивной и технологической преемственности принимаемых технических решений и т.п.

Рационализация начинается на этапе проектирования изделия. Во многих случаях есть возможность использовать меньшее количество материала для реализации идеи, и этой возможностью не стоит пренебрегать.

Огромное количество задач можно решить с помощью наиболее экономичных технологических процессов. Например, изготовление корпуса для печатной платы листогибочным методом (рисунок 1) занимает меньше времени и трудозатрат чем фрезеровка из цельного материала (рисунок 2).

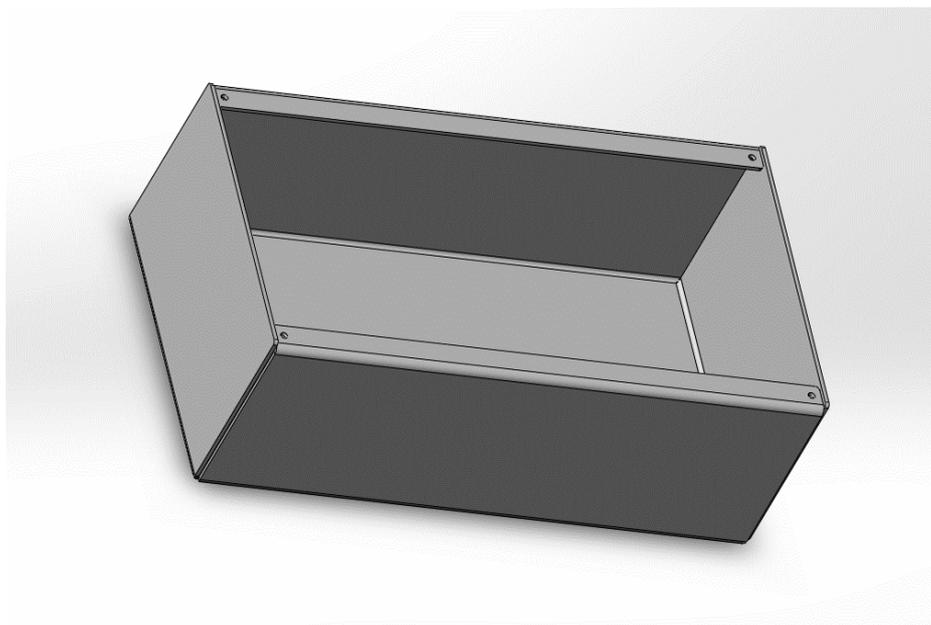


Рисунок 1 – Пример корпуса, согнутого из листового металла

Самое главное, что при фрезеровке корпуса из заготовки, имеющей габаритные размеры будущего корпуса, более 90 % материала превращается в мусорную пыль.

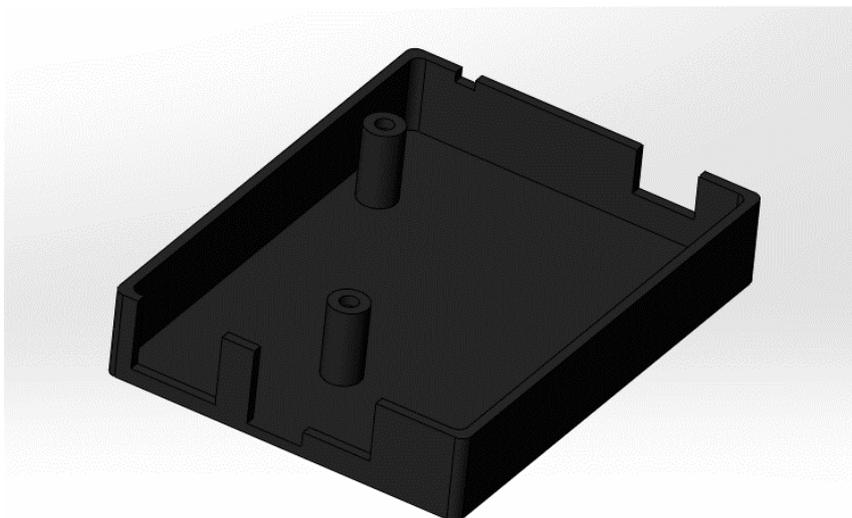


Рисунок 2 – Пример корпуса, изготовленного методом фрезеровки

Несмотря на показатели материальных затрат, существуют и другие важные аспекты, которые необходимо учитывать. Тот же корпус из листового металла не всегда подойдет для технических задач и придется смириться и фрезеровать деталь из более подходящего материала, либо рассмотреть массу прочих возможных решений.

Для экономии финансовых средств, времени и ресурса оборудования необходимо постоянное стремление к минимизации циклов обработки.

Предположим, что возникла необходимость сделать вырез в заготовке, изготавливаемой на фрезеровочном станке. Очевидно, что вырез с наибольшим радиусом позволит использовать большую фрезу, которая за меньшее количество времени работы станка выполнит свою задачу.

В случае, когда в детали уже используется некий радиус, предположим 1.5 мм (рисунок 3), не стоит предусматривать соседний радиус другого значения, если в этом нет конструктивно-обоснованной необходимости, иначе производственный процесс значительно замедлится из-за потребности в замене имеющейся фрезы на фрезу с другим диаметром [2].

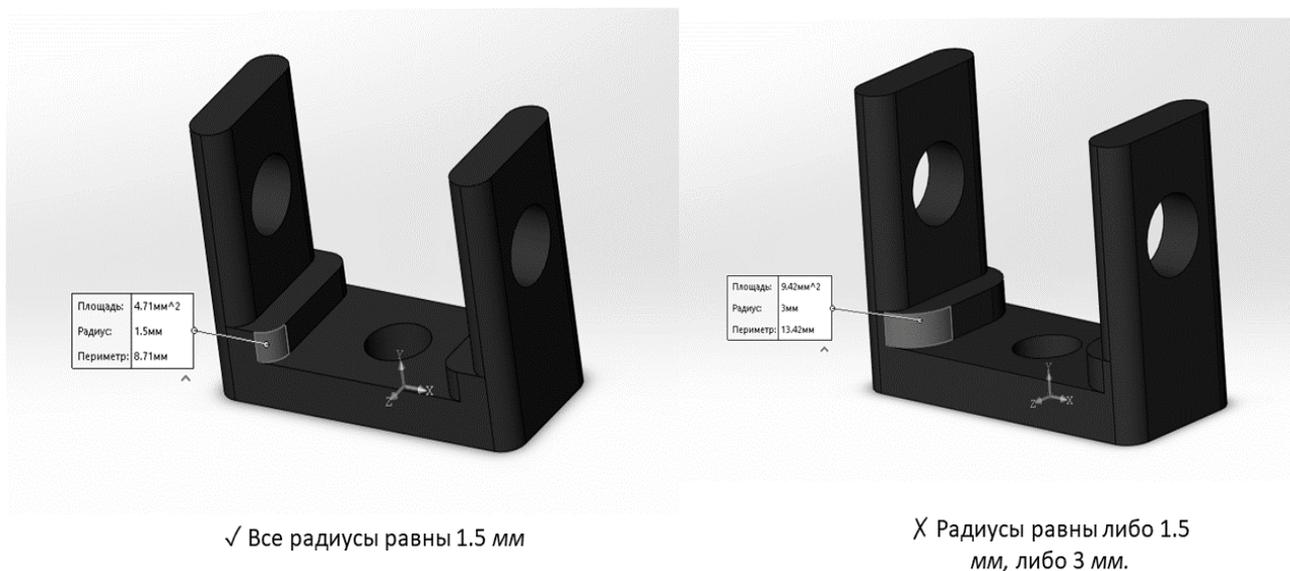


Рисунок 3 – Пример удачного и неудачного технического решения

Достаточно лишь начать предпринимать небольшие решения, направленные на экологическую и финансовую часть изготовления деталей, для того чтобы изменить подход и улучшить массу качественных и количественных показателей эффективности разработки. Не стоит всё же забывать, что учесть абсолютно все различные требования и добиться совершенства – невозможно, но квалифицированный специалист должен постоянно искать баланс и стремиться к нему.

Литература

1. Общие понятия и принципы конструирования [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/4010986/>
2. Виды фрез по металлу: какие бывают типы и их назначение [Электронный ресурс] URL: <https://stanokcnc.ru/articles/vidy-frez-po-metallu-kakie-byvayut-tipy-i-ikh-naznachenie/?ysclid=lnbcnj8in8800893297>

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

НАЗЕМНЫЕ КАНАЛЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ БВС

В современном мире все больше внимания на себя забирают беспилотные летательные средства, из-за того, что в их использовании кроется много преимуществ на фоне пилотируемых: нет опасности для жизни пилота, меньшая стоимость, меньший расход топлива, длинна взлетно-посадочной полосы, скорость сборки и ремонта. Но в мире нет ничего идеального, недостатком БВС является то, что его можно подавить или перехватить.

Развитие отрасли беспилотных средств заставляет идти вперед всю индустрию, улучшая качество как самих аппаратов и средств управления, так и защиту против них. Для управления БВС малого класса, представленный на рисунке 1, включая вертолеты, гражданские и пользовательские аппараты, наиболее распространенным является использование надежных и защищенных ре-

жимов, так называемых помехоустойчивых и защищенных режимов передачи данных.

Множество систем, предназначенных для борьбы с беспилотными летательными аппаратами малого размера, используют два основных метода: пассивное радио-радиотехническое обнаружение и активное воздействие на оборудование летательного аппарата или наземной постановочной установки. При этом, сигналы, генерируемые НПУ, могут быть обнаружены, а приемное оборудование на борту БВС может быть подавлено.

Таким образом, многие системы противодействия БВС малого класса реализуют методы обнаружения и подавления сигналов, испускаемых из НПУ и самого БВС, а также используют надежные методы передачи данных для управления такими аппаратами.

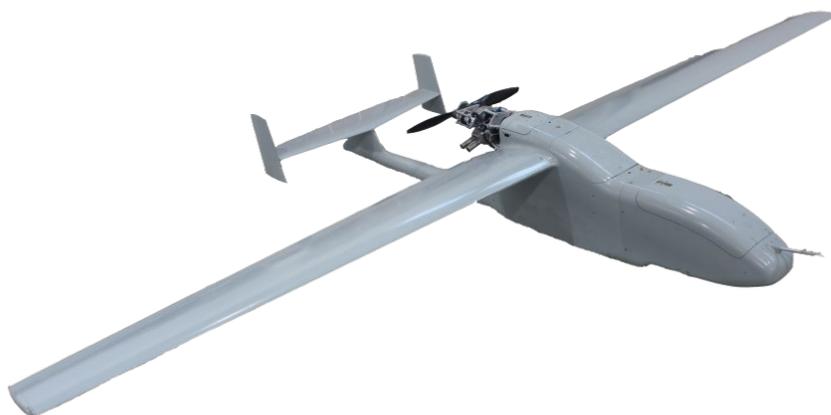


Рисунок 1 – БВС малого класса

Сейчас более половины производителей в своих выпускаемых аппаратах используют режимы передачи данных с высокой помехоустойчивостью. Изначально эти режимы были разработаны для использования в военных целях, но их применение в гражданской авиации обусловлено особенностями эксплуатации таких аппаратов. Использование менее помехоустойчивых режимов может привести к повышенному риску аварии, падения, повреждения или потери летательного аппарата.

Помехоустойчивый режим является основным способом управления БВС и обеспечивает надежную и эффективную связь между наземной станцией и самим аппаратом. В режиме наземный канал управления использует радиосвязь для передачи данных. Для этого могут использоваться различные типы радиосистем, такие как радиоустройства с усилителями мощности и антеннами высокой чувствительности.

Оператор на наземной станции отправляет команды управления БВС через наземный канал. Эти команды могут включать в себя указания на изменение

высоты, направления полета, скорости и других параметров движения БВС, схема работы представлена на рисунке 2. Команды передаются в виде цифровых данных, которые кодируются и передаются через радиоканал.

БВС, в свою очередь, принимает эти команды через свою радиосистему и выполняет соответствующие действия. При выполнении команд БВС может также передавать обратную связь и данные об окружающей среде через наземный канал. Например, БВС может передавать информацию о своем положении, состоянии батареи, сенсорных данных и других параметрах.

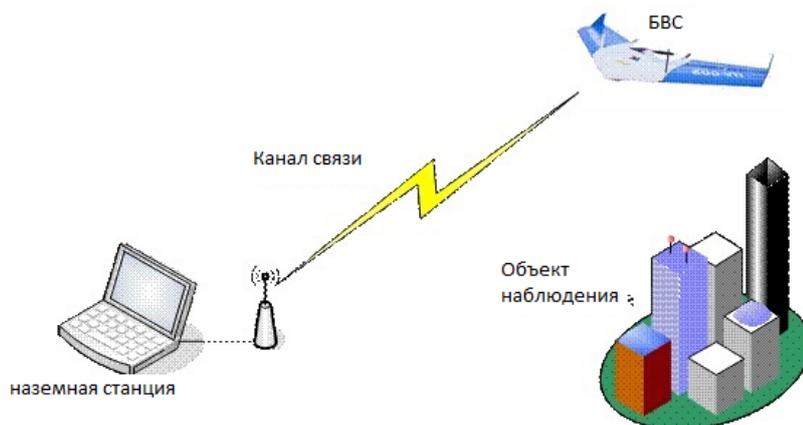


Рисунок 2 – Схема работы НПУ - БВС

Особенности помехоустойчивого режима:

- двусторонняя связь между НПУ и БВС для эффективного функционирования системы;
- высокая надежность является важным требованием для системы, чтобы обеспечить стабильную работу и минимизировать возможность сбоев;
- защита от несанкционированного доступа;
- низкая задержка передачи данных в реальном времени;

Можно выделить обобщенные параметры и характеристики ППРЧ режима:

- максимальная «легальная» мощность излучаемого сигнала в канале управления должна быть ограничена на уровне 100мВт;
- Низкая задержка передачи данных в реальном времени является важным требованием для обеспечения мгновенной и отзывчивой связи между НПУ и БВС;
- Модуляция FSK2 обеспечивает эффективное использование доступной полосы пропускания и повышает надежность передачи данных;
- длительность импульса – 500 мкс – 2.5 мс;
- ширина импульса – 300 кГц – 2 МГц;
- символьная скорость передачи данных – 1 000 – 2 000 кбод;

- полоса сетки ППРЧ 80 МГц обеспечивает достаточное количество доступных частотных ресурсов для передачи данных;
- Количество каналов сетки ППРЧ – 40.

Наземные каналы управления БВС должны обладать высокой степенью безопасности и быть защищенными от внешних воздействий. Для этого могут быть использованы различные методы шифрования данных и аутентификации, чтобы предотвратить несанкционированный доступ и вмешательство в процесс управления летательным аппаратом.

При разработке наземного канала связи с БВС необходимо учитывать несколько важных параметров.

Во-первых, модуль связи должен иметь несколько рабочих каналов, чтобы при появлении шума или заглушки одного их каналов, был автоматическая перенастройка на другой, лучший по качеству сигнала.

Во-вторых, он должен обладать достаточной дальностью связи, чтобы обеспечить эффективное управление аппаратом в различных условиях эксплуатации.

В-третьих, канал должен обеспечивать компактность и небольшой размер, чтобы установка и разборка были быстрыми и удобными.

В-четвертых, нужно учитывать, что видеосигнал так же должен идти четко и стабильно.

Список литературы:

1. Антоненков Д. А. Особенности применения микроэлектронных компасов в сложных навигационных системах // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2019. – Т. 62. – №. 12. – С. 1087-1091.
2. Малышев Г.В., Никитский В.П., Свотин А.П., Егоров Ю.Г., Ламзин В.А., Кузнецов А.А. Аэродинамическая интегральная система телекоммуникаций. Патент РФ № 2180767, 20.03.2002..
3. Афанасьев А. С., Матюхин Д. В. Реалии современного пути развития военной радиоэлектроники // Вооружение и экономика. – 2021. – №. 3. – С. 35-44.
4. Балыков А.А., Овчинников Г.Р., Перепечаев А.Н. Программный комплекс частотно-территориального планирования сетей УКВ-радиосвязи с использованием ретрансляторов на БВС // Информация и космос. 2014. № 2. С. 28 – 35.

СЕКЦИЯ 6 ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*М.А. Амелина, к. т. н., доц.; И.Э. Мачулин, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОБЗОР ПРИНЦИПОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Ректификационная колонна представляет собой систему, разработанную для осуществления функции разделения различных многокомпонентных смесей на фракции. Цилиндрическое строение устройства позволяет разместить внутри различные контактные элементы (как правило, система особых насадок и тарелок). Также в состав этого устройства включены различные контролирующие датчики, обеспечивающие необходимую интенсивность подачи исходной смеси и отбора продуктов дистилляции различных стадий.

На рисунке 1 приведено общее строение ректификационной колонны.

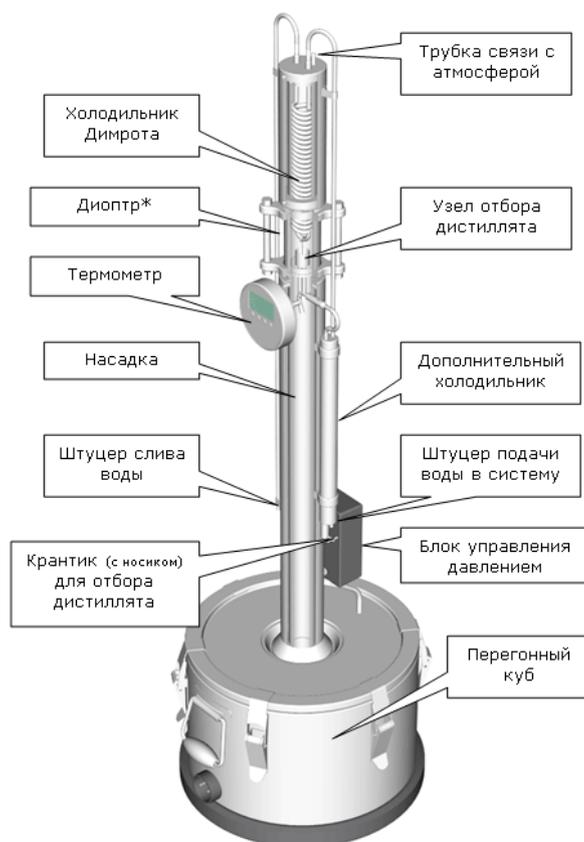


Рисунок 1 –Внутреннее устройство ректификационной колонны

Сам процесс ректификации обязательно включает в себя двусторонние испарения и теплообмены между двумя потоками паров и жидкостей. В ходе достаточно сложного физико-химического процесса происходит расщепление

жидкости на фазы, притом компоненты низкой температуры кипения оседают в потоках пара, а с высокой – в потоках жидкости.

Механизм деления многокомпонентных жидкостей на фракции основан на утверждении, что у каждой фракции своя температура кипения. Путем нагрева до заданной температуры можно выделять одну фракцию за другой, пока не останется лишь необходимая [1]. Чтобы повысить чистоту итогового продукта проводят процесс несколько раз.

Каждая ректификационная колонна обычно оснащена дополнительными узлами и системами контроля, которые обеспечивают эффективную работу процесса разделения. Например, с помощью этих узлов можно контролировать подачу исходной смеси, регулировать температуру и давление внутри колонны, а также отбирать дистиллят – чистые компоненты, полученные в результате разделения [1,2].

Также в системе всегда присутствует охлаждающая рубашка – механизм, представляющий собой насадку конденсатного типа для конденсации полученных компонентов.

На рисунке 2 приведены типы ректификационных колонн и схематически указаны различия между ними [3].

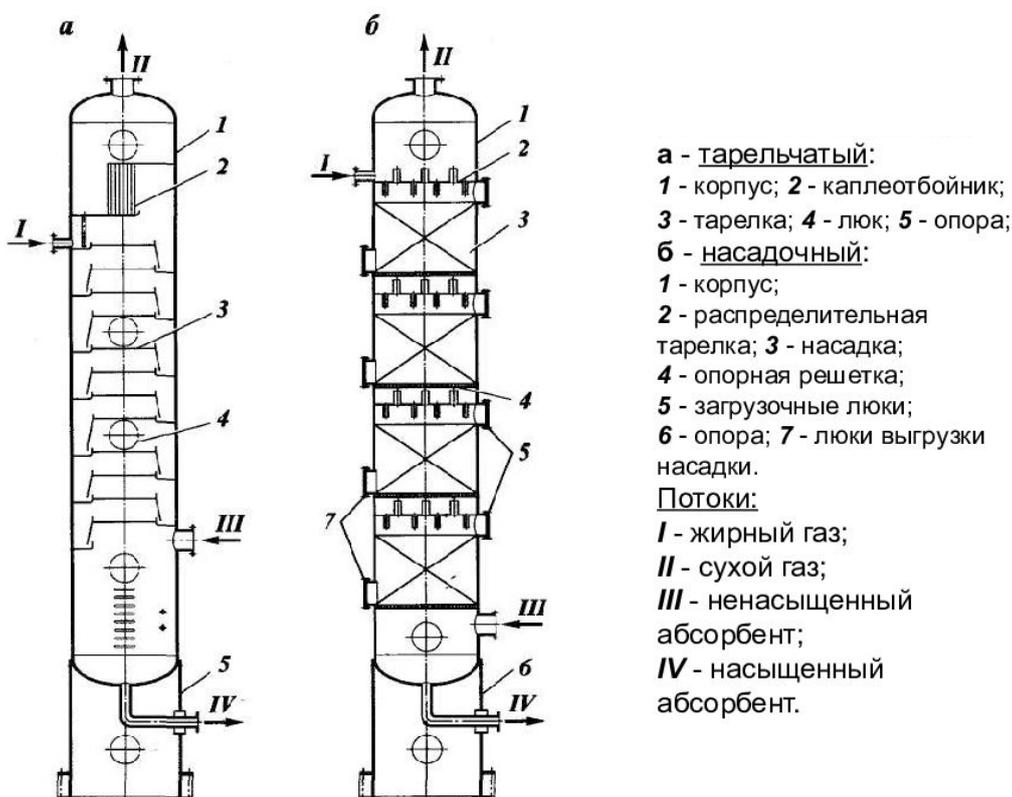


Рисунок 2 – Типы ректификационных колонн

Ректификационные колонны тарельчатого типа допустимо использовать при любом атмосферном давлении (от превышающего атмосферное до вакуума) [2], также поддерживают работу в случае переменного давления. В такой колонне допускается организация внутреннего промежуточного охлаждения, что обеспечивает возможность разделения веществ, которые при разделении

выделяют много тепла. Также она обладает отменной пропускной способностью, тем самым обеспечивая возможность очистки жидкостей с большим количеством различных твердых примесей. Тарелки представляют собой контактные элементы, конструктивно выполненные в форме плоских перегородок, и выполняют функцию перераспределения пара и жидкости во внутреннем пространстве колонны, тем самым увеличивая площадь контакта пара или жидкости с тарелкой.

Насадочная ректификационная колонна также может работать в условиях атмосферного и пониженного (вплоть до вакуума) давления, но не поддерживает работу при повышенном давлении. Гораздо лучше справляется с веществами, вызывающими пену при обработке. Также, в отличие от тарельчатых колонн, может работать с веществами, вызывающими коррозию, так как насадки для неё возможно изготовить не только из металла, но еще и пластика, керамики [3].

Благодаря своей эффективности и точности, ректификационные колонны позволяют получать высококачественные продукты с требуемыми характеристиками. Кроме того, современные технологии и разработки позволяют улучшать процесс ректификации. Например, в некоторых системах используются дополнительные элементы, такие как рефлюкс-конденсаторы, которые помогают повысить эффективность разделения и снизить энергозатраты. Также разрабатываются новые материалы для насадок и тарелок, которые обладают улучшенными свойствами и долговечностью. В итоге, ректификационные колонны являются важным инструментом для разделения сложных смесей на компоненты. Их использование позволяет получать чистые продукты высокого качества, что является необходимым во многих отраслях промышленности. Продолжаются исследования и разработки, направленные на улучшение эффективности и экономичности процесса ректификации, что открывает новые перспективы для применения этой технологии.

Литература.

1. Тарельчатая ректификационная колонна. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://koncept-lab.ru/rektifikat/tarelchataya-rektifikacionnaya-kolonna> – своб. Дата обращения 05.09.2023
2. Насадочная ректификационная колонна. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://koncept-lab.ru/rektifikat/nasadochnaya-rektifikacionnaya-kolonna> – своб. Дата обращения 01.09.2023
3. Ректификационная колонна. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://therumdiary.ru/teoriya-i-praktika/rektifikacionnaya-kolonna-osobennosti-vidy-princzip-dejstviya-i-preimushhestva.html> – своб. Дата обращения 07.09.2023

*С.П. Астахов, к. т. н., доц.; П.Б. Новиков, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА УСАДКИ МАТЕРИАЛА ПРИ 3D-ПЕЧАТИ

При печати изделий на 3D-принтере необходимо учитывать большое количество факторов, без которых конечный результат практически всегда не совпадает с моделью. Причиной могут быть неудачные параметры печати или

неправильная калибровка принтера, но даже при грамотном соблюдении всех этапов настройки возникают сложности: пластик расслаивается, усаживается (рисунок 1) или расплывается, искажая результат. Различные филаменты (волокно для 3D-принтеров) имеют разнообразные свойства, которые необходимо учитывать при разработке и постоянно создавать условия печати, приближённые к идеальным.

После экструзии, продавливания вязкого расплава материала через специальное сопло, пластик постепенно остывает и усаживается, что часто вызывает разрушения и неровности слоёв и всегда создаёт несоответствие реальных размеров изделия с моделью.

Полиамид (нейлон) усаживается на $1,5 \div 2,5 \%$, полипропилен на $1,8 \div 2,5 \%$, полиэтилен на $2,0 \div 5,0 \%$. Усадка акрилонитрил-бутадиен-стирола колеблется в диапазоне $0,4 \div 2,0 \%$ в зависимости от марки. Усадка полистирола $0,4 \div 0,8 \%$. Усадка бутадиен-стирольных каучуков во многом зависит от содержания в их составе стирола и способа их полимеризации и составляет в зависимости от марки $0,3 \div 2 \%$ [1].



Рисунок 1 – Усадка детали в виде «отлипания» от стола

Стол без подогрева также является проблемой для печати (рисунок 2). Когда принтер создал первые слои и перешел выше, нижний слой успевает остыть, а верхний все ещё равен температуре экструзии. На рисунке 2 горизонтальными стрелками в каждом слое показано направление усадки материала при остывании. Нижний слой самый холодный, поэтому он уже «сел» больше всех. Верхний слой самый горячий и, следовательно, самый широкий [2].

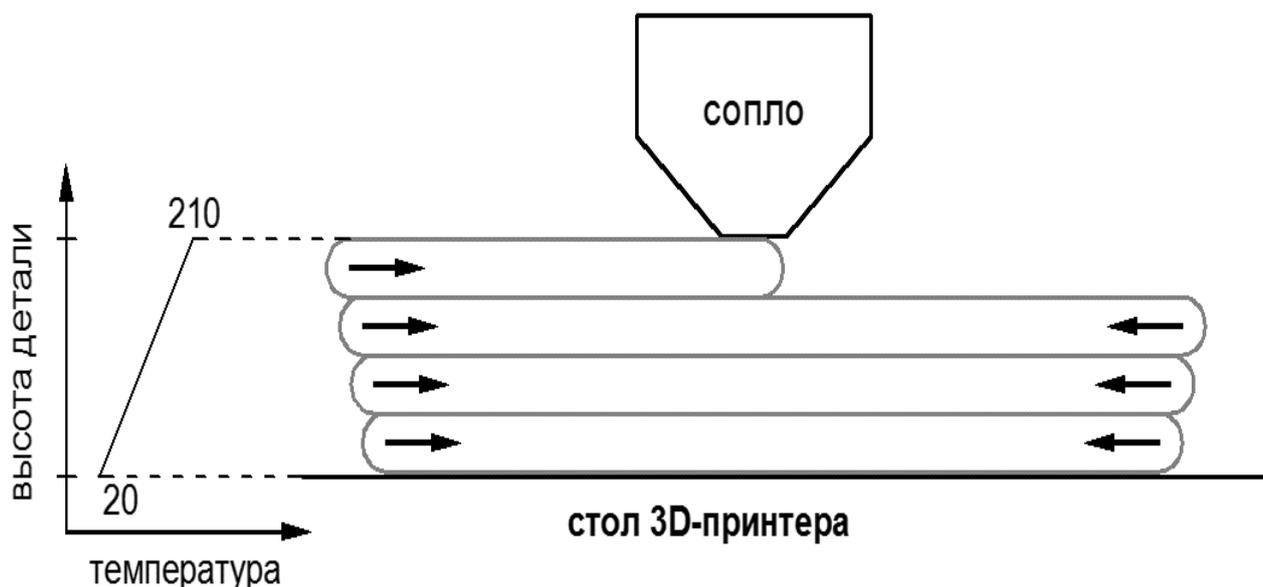


Рисунок 2 – Механизм возникновения внутренних напряжений из-за теплового расширения

Каждый слой после укладки остывает и усаживается в направлении стрелок, но так как слои спекаются между собой, то, усаживаясь, каждый новый слой немного тянет за собой предыдущий. По причине того, что натяжение от усадки происходит только с одной стороны, то слои изгибаются в дугу.

Избежать брака при усадке можно с помощью настроек печати и обработки рабочей зоны стола принтера клеевыми растворами, но габаритный вопрос решается исключительно модельным методом.

Для того чтобы задать размеры модели с учетом уменьшения габаритов необходимо рассчитать коэффициент усадки. После того, как сделан выбор филамента, следует тщательно подобрать оптимальные параметры печати, создать температурный режим и исключить любую возможность сквозных потоков воздуха. Когда уровень качества печати примет достойные показатели настанет лучшая возможность для измерения усадки.

Для измерения коэффициента усадки подойдет любая 3D-модель, размеры которой легко замерить штангенциркулем (рисунок 3). После печати необходимо сравнить габаритные размеры изделия с показаниями в модели [3]. Важно понимать, что усадка не является равной во всех координатах и размер по высоте может оказаться точным в отличии от ширины и глубины детали, которые зачастую имеют расхождения с моделью.

Известно, что усадка по осям не линейная. По оси Z она меньше, чем по X и Y , потому что стол, на котором формируется деталь, по Z опускается каждый раз на один слой вне зависимости от усадки. Существуют также разновидности принтеров, в которых стол неподвижен, а поднимается каретка с соплом, но эта конфигурация в том числе не создаёт влияние на усадку по Z -оси.



Рисунок 3 – Пример популярного калибровочного кубика

При этом, в ходе экспериментов, было выявлено, что при печати пластиком в закрытой камере, с нагревающимся столом, усадка по осям не так сильно отличается. В таких условиях можно использовать один коэффициент по всем осям (объемная усадка).

Коэффициент усадки можно рассчитать по формуле $K = L_{\text{модели}} / L_{\text{изделия}}$.

При дальнейшем моделировании необходимо умножать размер на рассчитанный коэффициент, чтобы после усадки деталь стала максимально близкой по габаритам к необходимым показателям.

Например, если калибровочный куб $10 \times 10 \times 10$ мм. в итоге получился шириной 10,2 мм, следует изменить размер модели, сделав стороны по 9,8 мм.

Важно помнить, что подобный метод справедлив при соблюдении примерно одинаковых условий печати. В случае изменений каких-либо параметров и настроек может возникнуть необходимость проведения новых расчётов данного коэффициента.

Литература

3. Тонкости 3D-печати [Электронный ресурс] URL: https://filamentarno.ru/masterclass_04.html
4. Усадка пластика при 3D-печати [Электронный ресурс] URL: <https://3dtoday.ru/blogs/sergey-engineer/usadka-plastika-pri-3d-pecati?>
5. Лучший калибровочный кубик для 3D-принтера [Электронный ресурс] URL: https://3dgram.ru/luchshij-kalibrovocnyj-kubik-dlya-3d-printera/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

*А.В. Борисов, д. ф.-м. наук, Н.М. Тищенко, асс.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕШЛАМОВ

Нефтяные шламы (нефтешламы) – физико-химическая смесь, состоящая из нефтепродуктов, механических включений, воды.

Анализ мирового объема нефтепереработки в сутки (рисунок 1) [1] за последнее десятилетие показал, что объемы переработки с каждым годом не уменьшаются, а растут. Подсчитано, что на данный момент накоплен примерно 1 миллиард тонн нефтешламов, и их количество растет с каждым годом примерно на 60 миллионов. Специалисты прогнозируют и дальнейшее увеличение объемов добычи и переработки нефти.

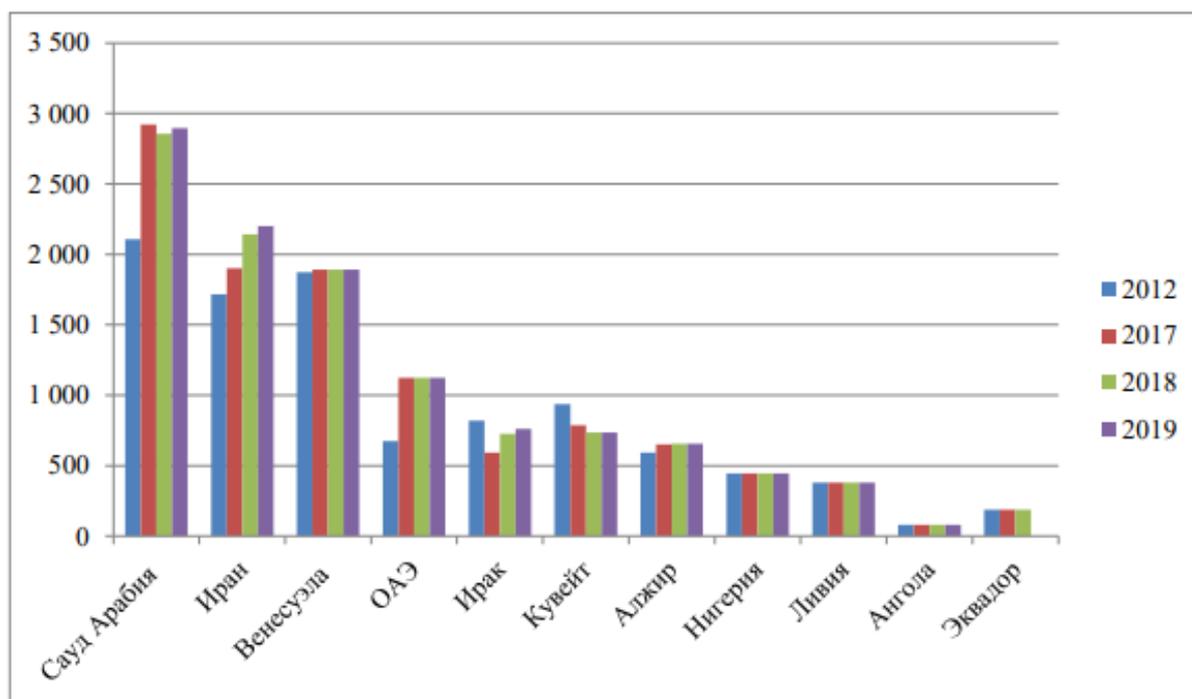


Рисунок 1 – Суточные объемы переработки нефти стран ОПЕК (в 1000 баррелей в сутки)

В связи с тем, что нефтешлам имеет множество путей возникновения и масштаб их велик, существует большое количество путей его переработки и утилизации. Наиболее распространенными являются такие методы как термический, биологический, механический, химический и физико-химический.

В настоящее время было разработано множество технологий по утилизации нефтешламов, некоторые из которых представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Запатентованные технологии по утилизации нефтешламов

Название патента	Область применения	Достоинства	Недостатки
Патент 2593386 «Устройство для очистки грунтов и почвы от нефти и нефтепродуктов»	Очистка пролитой нефти, очистка загрязненного грунта	Высокая степень очистки, простота конструкции, экономное использование технологической жидкости	Не выявлено
Патент 2513196 «Способ переработки нефтешлама»	Очистка нефтешлама собранного с водной поверхности	Возможность разделить высокоустойчивый нефтешлам на воду и нефтепродукты, простота конструкции, малоотходное производство	Необходимость предварительной очистки смеси от механических примесей
Патент 119069 «Установка для утилизации нефтешлама»	Очистка загрязненного грунта	Простота, надежность, соблюдены требования экологичности	Потеря нефтепродуктов в результате их сжигания
Патент 2341547 «Установка по пере-	Очистка загрязненного грунта	Надежность конструкции, эффективное выпаривание	Потеря нефтепродуктов в результате

работке нефтешлама»		нефти для нагрева рабочего барабана	их сжигания, отсутствие фильтров для дымовых газов
---------------------	--	-------------------------------------	--

В работе [2] в качестве утилизации предложен метод, основанный на пиролизе горючего сырья. Технология находит применение для утилизации нефтяных отходов различного происхождения. К недостатком данного метода можно отнести низкую производительность (2000 м³/год) и необходимость развивать экстремально высокие температуры для проведения технологического процесса (1400-1730°С).

В работе [3] проведен анализ некоторых наиболее часто применяемых методов утилизации нефтешламов и выявлены их недостатки. Так, метод отстаивания характеризуется как неэффективный в связи с тем, что процесс протекает медленно, отстойники занимают большие площади и большие дозы химических химикатов (деэмульсаторов) для проведения процесса. Фильтрация приводит к разделению смеси на две составляющие: механические примеси и жидкую фазу. Данный метод характеризуется низкой производительностью и оставляет нерешенным вопрос утилизации отделившихся примесей. Простое сжигание неразделенного на компоненты нефтешлама отличается дороговизной процесса и сопровождается потерями ценных углеводород. По мнению авторов, перспективным методом является пиролиз смешенного с паром твердого сырья, приводящий к получению ацетилена. Глубокую очистку фракций нефти и ликвидацию вредных отходов позволит осуществить плазменнокаталитическая переработка углеводородов.

В работе [4] представлены современные способы утилизации нефтесодержащих отходов. Для очистки жидких нефтесодержащих отходов, по мнению авторов, лучше всего подойдет установка, разработанная компанией АС8 530. Данная установка за счет центробежной силы разделяет исходную смесь на три компонента (нефть, вода, грунт), каждый из которых в дальнейшем подвергается доочистке и используется в производственных целях. Другой компанией из Германии была разработана технология, которую можно использовать для более комплексной утилизации. Установка состоит из заборного устройства, вибросита, которое отделяет от смеси большую часть механических примесей, трехфазной центрифуги, необходимой для отделения от смеси ценных углеводородов, сепаратора для фугата и печи для сжигания остатков нефти, не отделившейся от грунта.

Авторы работы [4] предложили технологию по утилизации нефтешлама, принцип работы предложенной технологии, следующий: нефтешлам из накопителя перекачивается в резервуар, после заполнения резервуара открывается задвижка и с помощью насоса смесь поступает в теплообменник после чего снова возвращается в резервуар (резервуар → насос → теплообменник → резервуар). Данный цикл необходим для достижения однородности и требуемой температуры сырья. После нагрева нефтешлама до необходимой температуры (65°С) он поступает на тарельчатый сепаратор, в котором и происходит разделение смеси

на компоненты. Отделившаяся нефть попадает в товарные емкости, после чего перекачивается в резервуары. Вода и механические примеси скапливаются в буферных емкостях.

Таким образом, правильная организация и оптимальная стратегия утилизации нефтешламов может сократить потери ценных углеводородов и максимально сократить экономические издержки от данного вида нефтесодержащих отходов.

Литература

1. Чинакулова, А. Н. Обработка и утилизация нефтешламов / А. Н. Чинакулова, Р. К. Ниязбекова // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 38. – С. 557-569.
2. Фетисов Д.Д., Шантарин В.Д. Исследования по утилизации нефтешламов // Материалы Шестой Всероссийской научно-технической конференции «Геология и нефтегазоносность западно-сибирского мегабассейна». Тюмень. С.157-160.
3. Крапивницкая Т.О., Смирнова В.М. Инновационные технологии утилизации нефтешламов // Современные наукоемкие технологии. 2013. N 8-2. С.331-332.
4. Гронь В.А., Коростовенко В.В., Шахрай С.Г., Капличенко Н.М., Галайко А.В. Проблема образования, переработки и утилизации нефтешламов // Успехи современного естествознания. 2013. N 9. С. 159-162.

*Л.В. Кончина, к.ф.-м.н., доц.; Е.А. Бурыкин, студ.; В.Р. Гафуров, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ НА МОЛЕКУЛЯРНО- МАССОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ

Резиновая крошка используется при производстве резино-технической продукции, уплотнителей, прокладок, шин. Также широкое применение измельченная резина получила в дорожном и гражданском строительстве. На основе резино-битумной композиции изготавливаются гидроизоляционные мастики и асфальтобетоны (рисунок 1) [1]. Свойства материалов, модифицированных измельченной резиной, очень чувствительны и в значительной мере зависят не только от состава смеси, вида и параметров технологического процесса, а также от типа и размера резиновых частиц. Более мелкие частицы будут быстрее набухать из-за большей площади реакции и следовательно, обеспечивать более высокие значения вязкости по сравнению с более крупными размерами. Битумные эмульсии, произведенные из мелких частиц каучука, также будут иметь сниженные показатели вязкости в процессе нагрева за счет более высокой скорости набухания и, соответственно, более быстрого процесса деполимеризации.

Помимо размера, свойства резиновой крошки могут отличаться и по микроструктуре. Молекулярный вес является важным параметром для характеристики полимеров, ведь динамические свойства и реологическое поведение материалов зависят от молекулярной массы, молярно-массового распределения и наличия длинноцепочечных разветвлений. Известно, что реологические свойства смесей высокой плотности на основе полипропилена и металлоценовых соединений существенно зависят от пропорции длинноцепочечных разветвлений и молекулярной массы эластомера [2]. Исследователями не раз отмечалось то, что явление снижения сдвиговой вязкости очень выражено в полимерах со

сложными структурными соединениями, по сравнению с линейными молекулярными аналогами той же молекулярной массой [3]. Также замечено возрастание индекса текучести и понижение комплексной вязкости полимеров с уменьшением их молекулярной массы [4]. Таким образом, выбор дисперсности резиновой крошки, с точки зрения повышения качества материалов на её основе, далеко не является однозначным.

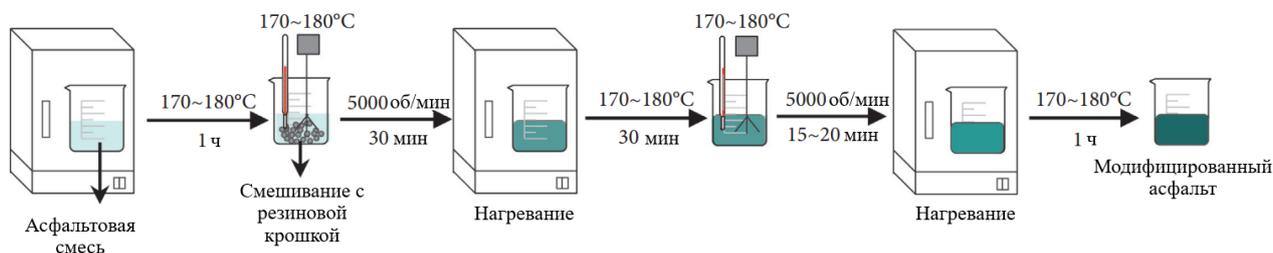


Рисунок 1 – Технологическая схема производства асфальта, модифицированного резиновой крошкой

Целью данной работы является анализ влияния размера частиц резиновой крошки на её молекулярно-массовые параметры.

В таблице 1 представлены средние значения молекулярной массы и распределение молекулярных масс резиновой крошки разной дисперсности.

Таблица 1 – Молекулярно-массовые параметры резиновой крошки

Размер частиц резиновой крошки, мм	\bar{M}_w	\bar{M}_n
>5,0	$2,608 \cdot 10^5$	$4,108 \cdot 10^5$
4,0-5,0	$2,105 \cdot 10^5$	$3,078 \cdot 10^5$
3,0-4,0	$1,590 \cdot 10^5$	$2,302 \cdot 10^5$
2,0-3,0	$1,232 \cdot 10^5$	$1,743 \cdot 10^5$
1,0-2,0	$1,182 \cdot 10^5$	$1,685 \cdot 10^5$
<1,0	$1,101 \cdot 10^5$	$1,275 \cdot 10^5$

Молекулярно-массовые параметры частиц были определены с помощью хроматографического способа. При проведении анализа, данным способом, образец растворенного образца пропускается через пористую матрицу, обычно представляющей собой полимерный гель. Размер пор подбирается в зависимости от анализируемого вещества и целей исследования. Величина и форма молекул определяют способность материала взаимодействовать с пора́ми стационарной фазы матрицы. Небольшие молекулы, как правило, взаимодействуют и проникают в поры без затруднений и поэтому дольше всего выводятся из стационарной фазы. Молекулы с очень большой молекулярной массой не могут взаимодействовать с пора́ми и перемещаться в них, поэтому проходят относительно быстро. При использовании этого метода хроматографии можно охарактеризовать широкий диапазон молекулярных масс, сравнивая время удерживания стандартных молекулярных масс.

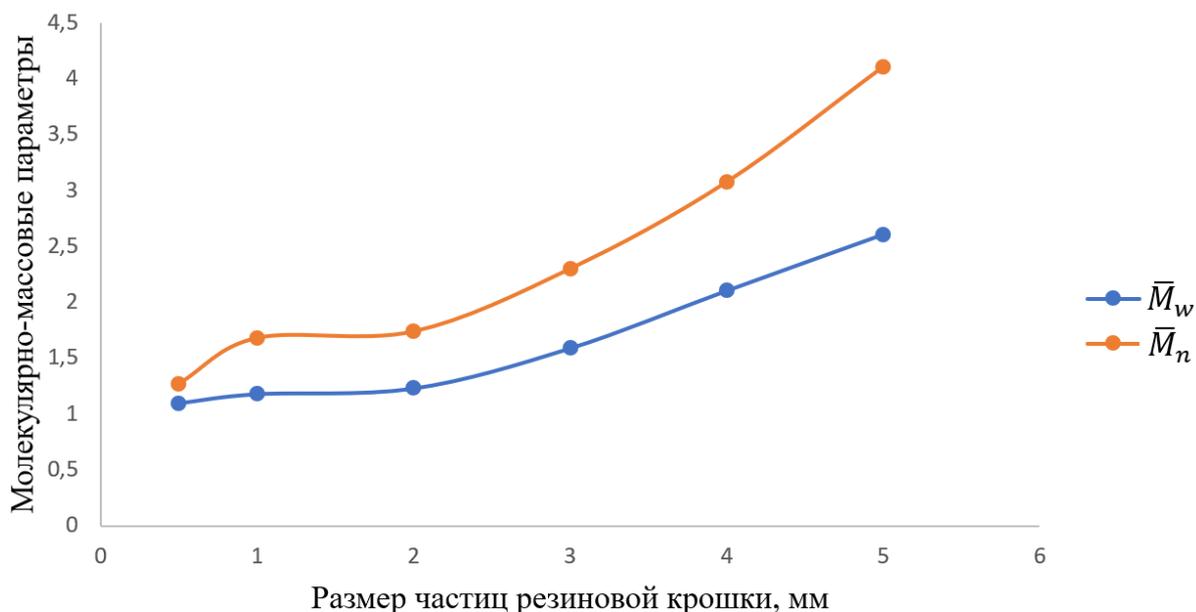


Рисунок 2 – Зависимость молекулярно-массовых параметров от размера частиц резиновой крошки

Среднечисловая молекулярная масса \bar{M}_n представляет собой суммарную массу всех молекул полимера в образце, деленную на общее количество молекул полимера в этом образце. Но, так как некоторые молекулы полимера могут обладать более высокой молекулярной массой, и вследствие чего содержат большую часть полной массы образца, чем молекулы, обладающие более низкой молекулярной массой, используется понятие средневесовая молекулярная масса \bar{M}_w . По сравнению с \bar{M}_n , \bar{M}_w учитывает молекулярный вес цепи при определении вкладов в средний молекулярный вес, чем сложнее строение цепи, тем больше она вносит вклад в общий молекулярный вес.

Как видно из графика, изображённого на рисунке 2, с уменьшением размера частиц уменьшаются значения \bar{M}_n и \bar{M}_w . Это объясняется тем, что при производстве резиновой крошки, из-за механического воздействия, разрушаются межмолекулярные связи вещества. Разорванные молекулярные цепи обладают меньшей длиной и массой. Также разрушает молекулярную структуру и выделяющееся тепло при дроблении резины, а в последствии при её девулканизации. Высокие температуры ускоряют химические реакции разрушения молекулярных цепей. Учитывая то, что резиновая крошка меньшей дисперсности подвергается более длительной механической обработке, размер молекулярных цепей и их вес будут значительно ниже, чем у более крупных частиц. Кроме того, если резиновая крошка была получена из технических отходов, то при многократной переработке и восстановлении резины, молекулярная структура полимера, несомненно, деградирует. Это оказывает широкое влияние на физические и реологические свойства материала, такие как прочность, эластичность, теплоустойчивость, вязкость и способность к деформации. Изменение молекулярной массы полимера также может повлиять на свойства материалов, в производстве которых участвует резиновая крошка. При производстве смесей на основе резиновой крошки, молекулярная структура играет важную роль, ведь при отсут-

ствии длинных цепей с большим количеством свободных радикалов в их структуре, резко снижается химическое взаимодействия компонентов при смешивании. Это может привести к расслаиванию смеси и потере необходимых прочностных свойств.

Таким образом выбор сырья с подходящими массово-молекулярными свойствами позволит оптимизировать процесс производства и улучшить свойства конечного продукта.

Литература

1. Zhaohui L., Chengcheng Y., Pretreatment of crumb rubber with a silane coupling agent to improve asphalt rubber performance/ Chengcheng Y, Zhaohui L. // *Micromechanical Properties of Construction and Building Materials*. – 2021. – pp. 912–921.
2. Guimaraes M.J.O.C., Coutinho F.M.B., Rocha M.C.G., Farah M., Effect of molecular weight and long chain branching of metallocene elastomers on the properties of high density polyethylene blends / M.J.O.C. Guimaraes, F.M.B. Coutinho, M.C.G. Rocha, M. Farah // *Polymer Testing*. – 2003. – № 8. – pp. 843–847.
3. LiP., YangS., WangM., Investigation of the molecular weight of polyethylene using rheological techniques / P. Li, S. Yang, M. Wang//*Journal of Applied Polymer Science*. –2012. – №2.–pp. 749–755.
4. Yan D., Wang W.J., Zhu S., Effect of long chain branching on rheological properties of metallocene polyethylene / D. Yan, W.J. Wang, S.Zhu // *Polymer*. – 1999. – № 7. – pp. 1737–1744.

*Г.В. Короткова, к.б.н., доц.; А.А. Нагапетян, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВОВ РАЗЛИЧНЫХ СОКОВ

Соки всегда занимали важное место в рационе человека, предоставляя не только возможность утолить жажду, но и обогатить организм ценными витаминами и минералами. Однако современному потребителю предстоит нелегкий выбор: натуральный сок, который извлекается из свежих фруктов и овощей (свежевыжатый фреш) или пакетированный сок, доступный в любом магазине. Это выбор, который влияет не только на здоровье, но и на экологическую ответственность, бюджет и вкусовые предпочтения.

Производство сока – это комплексный процесс, начиная с выбора сырья и заканчивая упаковкой готового продукта. В данной статье проведен анализ состава сока прямого отжима и сокосодержащих пакетированных напитков.

Наибольшим образом на качество натурального сока влияет сырье. Его состав, степень зрелости, микробиологическая безопасность – те характеристики, на которые необходимо обращать внимание. Сезонность и локальность также играют важную роль. Например, соки из сезонных фруктов могут быть более богатыми витаминами.

Натуральные соки являются богатым источником витаминов, минералов и антиоксидантов, которые могут оказать положительное воздействие на здоровье (табл. 1). Пакетированный сок – это популярный продукт, доступный в магазинах по всему миру. Производство пакетированного сока включает несколько этапов, и каждый из них влияет на конечное качество и характеристики продукта [1].

Таблица 1 – Функциональные компоненты натурального сока

Компонент	Физиологическое действие
Витамин С	способствует укреплению иммунитета, улучшает поглощение же-

	леза и поддерживает здоровье кожи
Витамин А	влияет на остроту зрения и здоровье кожи
Витамин В	способствует образованию гемоглобина и работе нервной системы.
Минералы (калий)	регулирует уровень воды и содействует нормальному функционированию мышц и нервных клеток
Полифенолы	являются мощными антиоксидантами, помогающими защищать клетки организма от повреждений свободными радикалами, снижая риск развития хронических заболеваний
Флавоноиды	способствуют улучшению здоровья сердца и сосудов

В качестве сырья для пакетированных соков обычно используются соко-содержащие концентраты, которые могут быть импортированы из разных регионов. Соко-содержащий концентрат – это концентрированный сок, из которого удалена большая часть влаги. Он часто подвергается обработке, чтобы продлить срок годности и убрать нежелательные ароматы и вкусы. Также во время производства данного напитка, могут добавляться ароматизаторы, сахар и консерванты для улучшения вкуса и продления срока годности [3].

Некоторые производства могут обогащать пакетированный сок витаминами и минералами для повышения его питательной ценности.

Независимо от способа производства напитков, преимущества и недостатки есть как у натурального, так и у пакетированного соков (табл.2).

Таблица 2 – Сравнение соков

Вид сока	Преимущества	Недостатки
Натуральный	<ol style="list-style-type: none"> 1. Богатое содержание витаминов, минералов и антиоксидантов, что делает их полезными для здоровья 2. Производятся из свежих фруктов и овощей без добавления искусственных ингредиентов, что делает их естественными и здоровыми 3. Имеют более насыщенный и натуральный вкус и аромат 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Имеют короткий срок годности и должны быть потреблены относительно быстро после приготовления 2. Дороже пакетированных аналогов из-за процесса производства и сезонности сырья 3. Изготовление натурального сока может быть трудоемким процессом, требующим времени и усилий, особенно при ручном приготовлении.
Пакетированный	<ol style="list-style-type: none"> 1. Имеет долгий срок годности, что делает его более удобным для хранения и использования 2. Доступны в магазинах круглый год, независимо от сезона, что позволяет потребителям наслаждаться свежими соками в любое время 3. Не требует подготовки или выжимания 4. На рынке представлены пакетированные соки разных видов 	<ol style="list-style-type: none"> 1. В процессе производства пакетированных соков могут теряться часть витаминов и антиоксидантов, особенно если сок подвергается высокой температурной обработке. 2. Содержат добавленный сахар, что делает их калорийными и может быть вредным для здоровья при чрезмерном потреблении. 3. Могут содержать искусственные ароматизаторы, красители

	и вкусов, что позволяет выбирать из богатого ассортимента	и консерванты, которые не всегда приемлемы для тех, кто стремится к натуральным продуктам. 4. Большинство упаковок для изготовления из пластика, что может вредить окружающей среде
--	---	--

Натуральный сок обладает натуральностью и высокой питательной ценностью благодаря богатому содержанию витаминов, минералов и антиоксидантов. Однако его короткий срок годности и требования к хранению делают его менее удобным в использовании.

Пакетированный сок имеет долгий срок хранения, доступность круглый год и удобство использования. Однако многие из них содержат добавленный сахар и искусственные добавки, что может негативно сказаться на здоровье при употреблении [2].

Чтобы получить максимум пользы, лучше пить свежесжатые соки. Употреблять их необходимо сразу после приготовления, ведь уже спустя час практически все полезные вещества разрушатся.

В среднем суточная норма любого сока составляет 500-700 мл. Превышать ее не рекомендуется.

Польза соков велика, но не стоит переоценивать их целебную силу. Ведь сок – это, прежде всего, пища. К сожалению, некоторые люди наивно полагают, что смесь какого-либо сока или выжимки может вылечить язву желудка, злокачественные опухоли, малярию, катаракту и десятки других заболеваний.

Вред и польза сока определяются свойствами компонентов, входящих в его состав. Людям, страдающим заболеваниями с повышенной кислотностью и язвенной болезнью желудка, категорически запрещается злоупотреблять некоторыми морсами. Ананасовый, яблочный и виноградный соки могут вызвать изжогу и обострение заболевания. Слишком сладкий сок противопоказан диабетикам и людям с избыточным весом. Лучше всего заменить его овощными соками с более полезным и нейтральным вкусом. Не забывайте о различных аллергических реакциях с болезненными последствиями. Вред натурального сока часто проявляется при его бесконтрольном употреблении.

Натуральные соки-самый ценный источник витаминов и питательных веществ.

Литература

1. Кононков, П. Ф. Овощи как продукт функционального питания / П. Ф. Кононков, В. К. Гинс, В. Ф. Пивоваров [и др.]. - М. : 000 «Столичная типография», 2008.
2. Овощи и фрукты на вашем столе / сост. Б. Г. Истомов, И. А. Яценко, Ю. И. Усков. Тула : ТОО «Ариаль», 1995.
3. Покровский, В. И. Политика здорового питания: федеральный и региональный уровни / В. И. Покровский, Г. А. Романенко, В. А. Княжев [и др.]. - Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2009.

*Г.В. Короткова, к.б.н., доц.; А.Д. Боханов, студ;
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРОИЗВОДСТВО БИОГАЗА, КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

С точки зрения экологии использование биотоплива позволяет человечеству сократить применение полезных ископаемых, что продлит время до их исчерпания. Переработка органических отходов снижает выбросы в атмосферу метана, что предотвращает глобальное потепление. Биогаз позволяет получить экологически чистый аналог природного газа – биометан, очищенный от примесей побочных газов. Биометан – возобновляемый источник энергии, тогда как природный газ – ископаемый энергоресурс. Преимуществом биометана является его практически CO_2 – нейтральность.

На основании отчета Международного энергетического агентства (МЭА) современный мир пользуется малой частью потенциала для производства биогаза из органических отходов. Потребление биогаза в 2020 г. составило около 40 млн т. Более 60% мощностей по производству биогаза в настоящее время приходится на Северную Америку и Европу. Около 20000 биогазовых установок расположено в Европе, большинство из которых находятся в Германии. В Швеции, Австрии и Финляндии биогаз составляет 15–20% от всего потребления.

Проведем анализ объема выработки электроэнергии на основе биогазовой энергетики (Рис. 1).

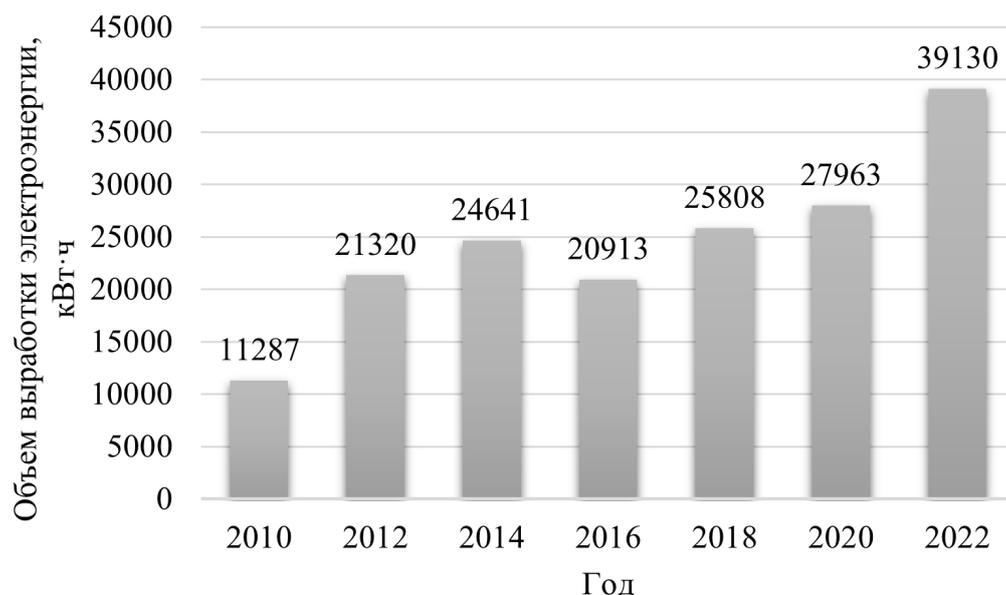


Рисунок 1 – Количественное соотношение выработки электроэнергии с использованием биогаза (тыс. кВт·ч), 2010–2022 гг.

Таким образом, исходя из выше представленной диаграммы, можно сделать вывод, что объем выработки электроэнергии на основе биогазовой энерге-

тики в общем стремительно растет. При этом даются прогнозы, что производство биогаза в будущем двадцатилетии может достичь около 80 млн т. в год.

На сегодняшний день действует более 10 миллионов фермерских установок по производству биогаза. Важным фактом является то, что биогазовые установки могут применяться как очистные сооружения на мясокомбинатах, птицефабриках, фермах, сахарных и спиртовых заводах. Биогаз применяют в качестве топлива для отраслей по производству пара, тепла и электроэнергии. Использование 40000 биогазовых станций способны обеспечивать работу 190 электростанций.

Во многих странах поощряют использование биоэнергии, доля которой достигает 15–20% от всей потребляемой энергии.

Биогаз образуется в результате ферментации органических веществ. В природных условиях это происходит в болотах, водоемах, а также в желудках животных. Аналогичный контролируемый процесс происходит в ферментерах биогазовых установок, благодаря разложению органического субстрата метановыми бактериями. Таким образом получается газовая смесь на 60% насыщенная метаном. Остаточные вещества, называемые дегистатом, могут быть полностью использованы как ценные природные удобрения.

Рассмотрим основное оборудование биогазовой установки, представленное на рис.2.

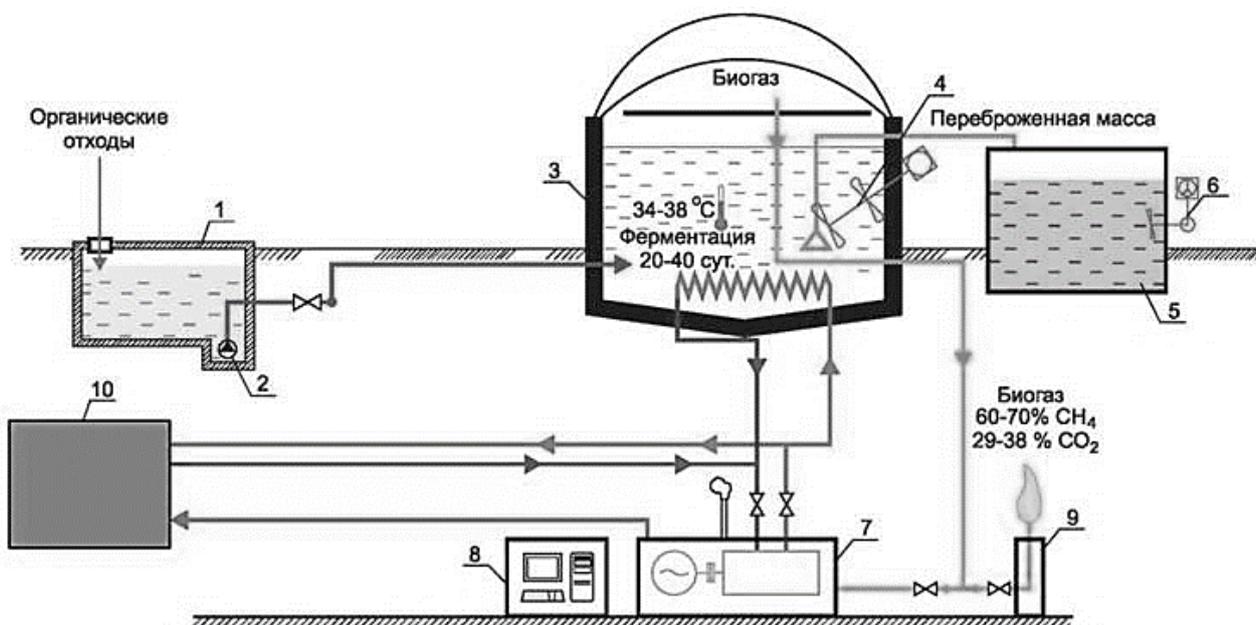


Рисунок 2 – Структурная схема биогазовой установки:

1 – пункт приема стоков, 2 – насос, 3 – метантенк (ферментер), 4, 6 – мешалка, 5 – резервуар для хранения органического удобрения, 7 – когенерационная установка, 8 – пульт системы контроля и управления, 9 – факел безопасности, 10 – потребитель

Биогазовая установка – комплекс инженерных сооружений, состоящий из устройств:

- подготавливающих сырье;
- производящих биогаз и удобрение;

- хранения и очистки биогаза;
- выработки электроэнергии и тепла;
- системы управления биогазовой установки.

Для обеспечения эффективной и стабильной работы биогазовой установки необходимо периодически перемешивать субстрат, находящийся в метантенке. Оптимальное перемешивание субстрата увеличивает выход биогаза до 50%. Через каждые 5 часов рекомендуется постепенное перемешивание массы для высвобождения биогаза и предотвращения образования осадка или корки. При перемешивании происходит увеличение эффективной площади метантенка, а также улучшается процесс симбиоза различных бактерий для улучшенной ферментации.

Одним из основных направлений модернизации процесса производства биогаза является установка анаэробной переработки органических отходов с системой гидравлического перемешивания (патент на полезную модель № 115350) [1]. Технология External Draft Tube Mixers обладает следующими преимуществами: возможность расположения в резервуаре; низкие затраты энергии на подогрев метантенка; простота технического обслуживания и возможность изменения направления циркуляции субстрата.

Инновационная модернизированная система имеет одну важную особенность – наличие двух подводящих патрубков. Один из этих патрубков расположен в нижней части корпуса резервуара, а второй – вверху, на крышке. При использовании данной системы органический субстрат осуществляет двойную подачу под давлением. Одна подача осуществляется через нижний патрубок, направляя субстрат в придонную область метантенка и предотвращая образование осадка. Вторая подача субстрата происходит через верхний патрубок, направляя его на уровень жидкости и препятствуя образованию корки на поверхности [2].

Известно устройство для очистки биогаза (патент на полезную модель RU №162185), включающее фильтр, состоящий из цилиндрического корпуса со съемной крышкой и штуцерами для подвода и отвода газа. Это важное звено в технологии, позволяющее отделить биогаз от углекислого газа.

Также известен метантенк барботажного типа, имеющий повышенную интенсивность получения биогаза и биоудобрения за счет увеличения равномерности нагрева перерабатываемого субстрата (патент РФ №162185) [3].

Метантенк представлен в виде герметичного вертикального цилиндрического резервуара с технологическими патрубками, первый патрубок для подачи перерабатываемого субстрата, второй патрубок для слива переработанного субстрата, а также патрубок для отвода биогаза.

В результате, с коммерческой точки зрения, направление по производству биогаза является достаточно перспективным, так как ежегодное увеличение тарифов на привычные энергоносители заставляет задуматься население об установке более экономичного источника электроэнергии и тепла.

Одна из причин, обусловившая необходимость повышения энергетической эффективности биогазовых установок, заключается в высоких энергозатратах

для поддержания работоспособности оборудования. Чтобы справиться с этой проблемой и повысить энергетическую эффективность, предлагается провести модернизацию системы, использующей гидравлическое перемешивание в метантенке. Такой подход позволит создать наиболее благоприятные условия для процесса и обеспечит более эффективное использование имеющегося объема метантенка.

Литература

1. Пат. 115350 Российская Федерация. МПК, C02F3/28. Установка анаэробной переработки органических отходов / Караева Ю.В., Халитова Г.Р., Трахунова И.А.; заявитель и патентообладатель: Учреждение Российской академии наук Казанский научный центр РАН. –№ 2011124487/05, заявл. 16.06.2011; опубл. 27.04.2012.
2. Трахунова И.А. Повышение эффективности анаэробной переработки органических отходов в метантенке с гидравлическим перемешиванием на основе многочисленного эксперимента // Научное пространство [Электронный ресурс]URL: [Текст-диссертационной-работы.pdf \(viesh.ru\)](#)(дата обращения: 21.09.23).
3. Пат. 162185 Российская Федерация. МПК, B01D 53/00. Устройство для очистки биогаза / Ямпиллов С.С., Раднаев Д.Н, Друзьянова В.П., Кобякова Е.Н.; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. – 2015147681/05, заявл. 05.11.2015; опубл. 27.05.2016.

*Г.В. Короткова, к.б.н.; В.Н. Клименкова, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ МИЦЕЛЛИЯ *MEDUSOMYCES GISEVILINDAU*

Целлюлоза является одним из наиболее распространенных и важных компонентов в современном мире. Данное органическое соединение используется в различных отраслях промышленности: производство бумаги и картона, текстильных волокон, пищевых добавок, лекарственных препаратов, косметических продуктов, биотоплива, удобрений. Целлюлоза – это органическое соединение, основной компонент стенок растительных клеток.

Общеизвестным примером объекта с высоким содержанием целлюлозы является древесина, но мало кто знает, что огромное количество данного полисахарида содержится во всем известном чайном грибе. Чайный гриб (также известный как квасной гриб, индийский чай, тибетский гриб и др.) – это симбиотическая колония микроорганизмов, состоящая из дрожжей и бактерий. Он используется для приготовления напитка, который имеет название «комбуча». Гриб выглядит как белый или коричневый круглый плотный сгусток, который плавает на поверхности жидкости. Он обычно разводится в сладком чайном напитке, также считается полезным для здоровья, благодаря своим пребиотическим и пробиотическим свойствам, которые могут помочь укрепить иммунную систему и улучшить пищеварение.

Целью данного исследования являлось сравнение способов извлечения целлюлозы из чайного гриба и выявление наиболее результативного.

Для реализации поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- проанализировать способы получения целлюлозы;
- выявить наиболее доступные методы;
- провести опыты в лаборатории;
- оценить результативность каждого из проведенных опытов.

В качестве ключевых методов научного исследования были избраны теоретический анализ и синтез данных различных источников, наблюдение, сравнение и измерение.

Если сравнивать древесину и тело чайного гриба в категории получения целлюлозы, мы увидим, что целлюлоза древесины является гомоцеллюлозой – смесь полисахаридов: глюкоза, манноза, ксилоза, целлюлоза. В то время, как тело чайного гриба, является «чистой» целлюлозой, не требующей дополнительных манипуляций очистки.

Для получения целлюлозы из растительных клеток используют различные методы, основанные на окислении, разрушении и растворении химических соединений, входящих в состав объекта:

1. Механический метод получения целлюлозы – размол древесной массы на мелкие частицы с помощью молотковых или дисковых мельниц.

2. Химический метод получения целлюлозы – обработка древесной массы химическими реагентами, такими как сода, серная кислота и другие.

3. Сульфатный метод получения целлюлозы – обработка древесной массы раствором сульфата натрия и серной кислоты.

4. Сульфитный метод получения целлюлозы – обработка древесной массы раствором сульфита кальция или натрия и серной кислоты.

5. Механико-химический метод получения целлюлозы - комбинация механического и химического воздействия на древесную массу.

6. Биохимический метод получения целлюлозы – использование микроорганизмов для разложения древесной массы и получения целлюлозы.

7. Энзиматический метод получения целлюлозы – использование энзимов для разложения древесной массы и получения целлюлозы.

8. Линейный метод получения целлюлозы – использование специального оборудования для получения непрерывной полосы целлюлозы из древесной массы.

Наиболее распространенным в промышленности для получения целлюлозы из древесины на сегодняшний день является сульфатный метод. Рассматривая же чайный гриб, большинство исследований сфокусированы на методе с использованием уксусной кислоты, но также возможны другие кислоты. В ходе данного исследования было рассмотрено три метода получения целлюлозы из чайного гриба.

Первый метод представляет собой процесс гидролиза с дальнейшей очисткой и сушкой. Раствор серной и азотной концентрированных кислот в соотношении 9:1 добавляют в емкость с чайным грибом. Далее емкость размещают в водяной бане при температуре 60-70 °С, проводят процесс гидролиза. Полученную смесь отфильтровывают, проводят отделение целлюлозы от жидкости. В ходе данного опыта конечный результат имел вид: рассыпчатой черной стружки с продольными белыми вкраплениями [2].

Второй метод представляет собой процесс замачивания гриба в растворах: в течение 24 часов выдерживают в 0,5%-ном растворе гидроксида натрия, промывают в дистиллированной воде до нейтральной реакции, по-

сле этого пленку обрабатывают в течение 24 часов в 0,5%-ном растворе соляной кислоты с целью отбеливания целлюлозы от красящих компонентов питательной среды, опять промывают дистиллированной водой [1]. Сушат при комнатной температуре в расправленном состоянии. Конечный продукт данного опыта представлял собой тонкую прозрачную пленку, на краях имеющую кремовый оттенок.

Третий метод основан на окислении, разрушении и растворении различных химических соединений, входящих в состав тела гриба. Отмеряют навеску образца на аналитических весах, помещают навеску в колбу, приливают смесь кислот: азотной и уксусной в соотношении 1:10, закрывают колбу обратным холодильником и нагревают на песчаной бане в течении часа. Затем отфильтровывают белый, слегка кремовый осадок через стеклянный тигель или тигель Гуча с асбестовым фильтром, высушивают до постоянной массы при температуре 105 °С в сушильном шкафу. Результат данного опыта имел вид так называемых «древесных опилок» светло бежевого цвета [3].

В ходе проводимых опытов было использовано фиксированное количество сырья, для сравнения результативности каждого из методов (представлены в таблице 1). Рассчитав в процентах полученные данные, наиболее «выигрышным» является способ под номером три, так как масса полученной целлюлозы составляет 3,268 % от затраченной массы гриба (в первом методе – 0,5%, во втором – 1,175%).

Таблица 1 – Количество использованного и полученного сырья

Метод №	m(чайного гриба), г	m (полученной целлюлозы)
1	5	0,027
2	10	0,1175
3	5	0,1634

Для доказательства, что полученный продукт является «чистой» целлюлозой была проведена реакция с молибденовой кислотой. На присутствие целлюлозы указывает смена окраски, обусловленная образованием комплекса голубого цвета. В ходе данной реакции все три образца окрасились в голубой цвет, наиболее интенсивен он был в первом опыте, наименее же в третьем. Данный анализ, позволяет сделать вывод о практическом наличии целлюлозы в образцах.

Таким образом, целлюлоза является важным и многосторонним компонентом в современном мире. Она используется в различных отраслях промышленности и играет важную роль в нашей повседневной жизни. Благодаря своим уникальным свойствам и широкому спектру применения, целлюлоза будет продолжать оставаться важным ресурсом в будущем.

Анализируя все вышеизложенное выбор метода – неоднозначен, зависит от целей экспериментатора. Если важно получить большое количество целлюлозы, лучше выбрать третий способ, так как он позволяет получить большой объем

продукции. Однако, если приоритетом является качество, следует обратить внимание на первый (второй).

Литература

1. Способ получения бактериальной целлюлозы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2597291C1/ru> (дата обращения 06.08.2023).
2. Способ получения целлюлозы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/WO2016072885A2/ru> (дата обращения 06.08.2023).
3. [Пищевая химия: Лабораторный практикум. Пособие для вузов / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова и др.; Под ред. А.П. Нечаева, - СПб: ГИОРД, 2006. – 304 с.](#)

*Г.В. Короткова, к.б.н., доц.; А.О. Любенкова, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск)*

ПРИОРИТЕРНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ВЫПЕЧКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЛИНОВ

Около 20 лет назад выпечка блинов происходила исключительно на сковороде в домашних условиях. Но для облегчения жизни людей были разработаны замороженные полуфабрикаты. В связи с этим, машины для выпечки блинов постепенно стали все более популярными и востребованными.

В данной статье представлены исследования патентов, направленные на модернизацию оборудования для выпечки блинов.

Одной из работ, выполненной Нефедовой Е.Н., является предложение устройства для выпечки блинов [1]. Этот аппарат включает в себя электроконфорки с жарочным диском и емкостью для теста. Жарочный диск имеет кольцевую форму с центральным отверстием и оборудован скребками-сбрасывателями, соединенными с внутренним цилиндром.

В результате сравнения с данным изобретением аппарат Болотиной М.Н. имеет низкую производительность, сложную конструкцию с нестандартными деталями, большую металлоемкость и габариты. Предложенное устройство позволяет увеличить производительность, обеспечить надежность работы, комфортность использования и полную автоматизацию. Однако, есть недостатки, связанные со сложностью и громоздкостью конструкции.

Работа Болотина Н.Б. описывает устройство для выпечки блинов [2]. Целью изобретения является создание высокопроизводительного разравнивателя порции блинного теста на жарочной поверхности для получения блинов заданной толщины и диаметра. В сравнении с аналогом устройства Куприя А.Н., которое имеет повышенный расход теста, длительный процесс выпечки и низкое качество изделий из-за непропечки сверху и пережарки снизу, представленное устройство позволяет ускорить процесс выпечки и улучшить вкус блинов. Аппарат имеет повышенный расход теста, длительный процесс выпечки и плохие вкусовые качества из-за непропечки блинов сверху и пережарки снизу.

В работе Болотиной М.Н. предлагает способ выпечки блинов и устройство для его осуществления [3]. Изобретение включает поверхность нагрева тонкого слоя теста с источником нагрева с одной стороны и дополнительным нагревателем (лазерным излучателем) с другой стороны. В отличие от аналога устрой-

ства авторов Сароян Г.П., Сароян М.М. и Оганесян Г.В., которое имеет низкую производительность, представленное устройство позволяет увеличить производительность и надежность процесса, а также облегчить его ремонт.

В работе Диданова М.Ц. и Диданова А.М. предлагается устройство для изготовления изделий из жидкого теста [4]. По сравнению с аналогом, блинный аппаратом ЖВЭ-720 и РК-2.1, которые имеют высокую цену, недостаток комплектующих и осуществление прожарки, с одной стороны, предложенное устройство осуществляет двустороннюю обжарку блинной ленты с помощью двух нагреваемых барабанов. Однако устройство характеризуется сложностью и громоздкостью конструкции.

В работе Вакса Г.Н., Качко М.К. и Качко Н.К. описывается устройство для выпечки пищевых изделий из жидкой смеси [5]. Существующие жаровни, такие как ЖВЭ-720, ЖВЭ-750, С1 и С2, отличаются большими габаритами и сложностью эксплуатации. Цель данного патента заключается в создании устройства для выпечки пищевых изделий из жидкой смеси с простой и компактной конструкцией и комфортной эксплуатацией. Для достижения этой цели предлагается крепление жаровней поперек ветвей вертикального транспортера с верхними и нижними звездочками. Эти изменения позволяют увеличить производительность и улучшить качество готовой продукции.

В работе Агеенко М.А. и Синявина А.С. рассматривается устройство с подъёмным нагревательным элементом [6]. Цель создания такого устройства заключается в расширении функциональных возможностей мультиварки с подъёмным нагревательным элементом. Многообразие видов мультиварок отличается различными исполнениями, параметрами объема и мощности, способами нагрева, конструктивными решениями, дизайном и расширенными функциональными возможностями. В данном устройстве положение нагревательного элемента (ТЭН) может быть изменено: нижняя позиция для приготовления обычных блюд и верхняя позиция для использования его в качестве сковороды для приготовления блинов, оладий, драников, омлета или тостов.

Таким образом, представлены патенты, связанные с модернизацией оборудования для выпечки блинов. Они направлены на увеличение производительности, сокращение времени производства, улучшение качества продукции, повышение надежности работы, обеспечение комфорта использования и полную автоматизацию.

Литература

1. Патент № 2636755 Российская Федерация, МПК7 А21В5/03 (2017.06). Податчик и разравниватель порций блинного теста на жарочной поверхности для блинного автомата: № 2012138848/08: заявлено 17.06.2017: опубликовано 12.07.2018 / Нефедова Е.Н.; заявитель и патентообладатель Нефедова Е.Н. – 3 с.: ил.
2. Патент № 2659402 Российская Федерация, МПК А21В5/03 (2006.01). Устройство для выпечки блинов: № 2018100439/09: заявлено 09.01.2018: опубликовано 02.07.2018 / Болотин Н.Б.; заявитель и патентообладатель Болотин Н.Б. – 13 с.: ил.
3. Патент № 2621542 Российская Федерация, МПК7 А21В5/03 (2016.03). Способ выпечки блинови устройство для его осуществления: № 2012138848/08: заявлено 09.03.2016: опубликовано 19.06.2017 / Болотина М.Н.; заявитель и патентообладатель Болотина М.Н. – 11 с.: ил.
4. Патент № 2447661 Российская Федерация, МПК7 А21В5/03 (2012.04). Устройство для изготовления изделий из жидкого теста : № 2012138848/04: заявлено 20.04.2012 : опубликовано 19.03.2013 / Диданов М. Ц., Диданов А.М.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профес-

сионального образования Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М.Бербекова (КБГУ). – 3 с.: ил.

5. Патент № 2055477 Российская Федерация, МПК7 А21В5/03 (2013.03). Устройство для выпечки пищевых изделий из жидкой смеси: № 2012138848/03: заявлено 19.04.2012 : опубликовано 20.03.2013 / Вакса Г.Н., Качко М.К. и Качко Н.К.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М.Бербекова (КБГУ). – 2 с.: ил.

6. Патент № 2532149 Российская Федерация, МПК7 А47J37/00 (2014.10). Мультиварка с подъемным нагревательным элементом : № 2007138848/04: заявлено 26.10.2014 : опубликовано 27.10.2014 / Агеенко М.А. и Синявина А.С.; заявитель и патентообладатель Синявин А.С. – 2 с.: ил.

*Г.В. Короткова, к.б.н., доц.; Т.И. Сидорук, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА

Молоко содержит разнообразные вещества, которые важны для организма человека, включая белки, углеводы, жиры, витамины и минеральные вещества. Однако, в нем содержатся опасные бактерии и микроорганизмы, которые могут быть потенциальными источниками инфекций и заболеваний, особенно для людей с ослабленным иммунитетом. Поэтому, пастеризация молока является неотъемлемой частью в процессе его производства и потребления. На производствах этот процесс применяют для снижения обсемененности молока.

Пастеризация молока – это процесс уничтожения бактерий и микроорганизмов путем нагревания молока до определенной температуры в течении заданного времени. Это повышает безопасность и увеличивает срок хранения молочных продуктов.

Тепловое воздействие может исходить от теплоносителей (горячая вода или водяной пар) или инфракрасного излучения. Для пастеризации молока необходимо выбирать оптимальные параметры, зависящие от конкретного продукта и его требований его безопасности. При этом должны сохраняться качество и питательные характеристики продукта. После процесса пастеризации продукт охлаждается для устранения теплового воздействия и предотвращения роста бактерий [1].

Существует несколько способов пастеризации молока, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки (рис. 1).



Рисунок 1 – Способы пастеризации молока

Одним из самых распространенных методов пастеризации молока является низкотемпературная длительная пастеризация. При длительной низкотемпературной пастеризации молоко нагревается до 63°C в течение 30 минут за счет воздействия воды высокой температуры. Главным преимуществом данного метода является сохранение большей части полезных веществ в молоке, таких как витамины и ферменты. Кроме того, низкотемпературная пастеризация позволяет сохранить органолептические свойства молока (аромат, запах и вкус). Однако, недостатком такой пастеризации является высокий риск выживания патогенных бактерий, таких как сальмонелла и *Listeria*. В связи с этим требуется соблюдать строгие санитарно-гигиенические требования для обеспечения безопасности потребителей. Срок хранения такого молока в холодильнике составляет примерно 7-10 дней со дня пастеризации.

В основе высокотемпературной пастеризации лежит метод беззараживания молока водяным паром. При этом методе молоко быстро нагревается до температуры 72-75°C в течение 30-40 секунд. При высокотемпературной пастеризации практически все патогенные бактерии, включая сальмонеллу и *E. coli*, уничтожаются. Срок хранения обычно около 5-7 дней. Достоинства и недостатки вышеуказанных методов представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Достоинства и недостатки низкотемпературной и высокотемпературной пастеризации

Также существует метод ультрапастеризации, который основывается на воздействии высоких температур. При ультрапастеризации молоко подвергается нагреву до 135-140°C за счет воздействия водяного пара на протяжении 4-5 секунд. Основным преимуществом ультрапастеризации является высокая эффективность в уничтожении патогенных бактерий и

микроорганизмов в молоке, что делает его полностью безопасным для потребителей. После обработки продукт может храниться до 6 месяцев [2].

ИК-пастеризация – это инновационный метод обработки молока. Он основан на использовании инфракрасного излучения для нагрева молока, с целью уничтожения бактерий, а также патогенных микроорганизмов. Обычно молоко пастеризуется при температуре около 74°C с выдержкой 10-20 секунд. Данный метод позволяет получить необходимую температуру для обеспечения безопасности продукта за короткий промежуток времени. Он обеспечивает эффективную пастеризацию молока, при этом сохраняет его питательные вещества, а также приятный вкус и аромат. Время нагрева молока ИК-излучением составляет примерно 15-20 секунд. Такой способ пастеризации широко используется на различных пищевых производствах при обработке продукции. Срок хранения молока, пастеризованного с помощью ИК-излучения, в холодильнике составляет около 7-10 дней. Достоинства и недостатки вышеуказанных методов представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Достоинства и недостатки ИК-пастеризации и ультразвуковой пастеризации

На основании сравнения исследованных методов можно сделать вывод, что наиболее эффективным методом для снижения общей обсемененности молока является его пастеризация с применением ИК-излучателя, как источника тепла. Данный метод позволяет сократить время обработки молока, тем самым увеличивая производительность установки. Исходя из полученных свойств обрабатываемого продукта такой способ пастеризации рекомендуется в использовании на пищевых производствах.

Литература

1. Крусъ Г.Н. Технология молока и молочных продуктов. / М.: ВО «Агропромиздат», 2004.
2. Твердохлеб Г.В., Диланян З.К., Чекулаева Л.В., Шиллер Г.Г. Технология молока и молочных продуктов. Учебник /М.: ВО «Агропромиздат», 1991.

МОРОЖЕНОЕ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Питание – один из важнейших процессов обеспечения жизнедеятельности организма за счёт поддержания обмена веществ, синтеза ферментов и энергообеспечения. Продукты питания играют ключевую роль в нашей жизни, предоставляя нам необходимые питательные вещества. Однако, чтобы быть действительно полезными, они должны также выполнять профилактические и лечебные функции. К сожалению, нет продукта, который содержал бы все необходимые человеку компоненты [1].

Эта проблема стала особенно актуальной в свете выявленных нарушений полноценного питания у большинства населения нашей страны. Дефицит полезных веществ, избыточное потребление животных жиров и другие проблемы требуют внимания и решения.

Для устранения этих недостатков в Российской Федерации был принят федеральный закон от 02.01.2000 года № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов». Этот закон направлен на обеспечение качества и безопасности пищевых продуктов, а также на регулирование их производства и оборота. Он является важным инструментом в борьбе с проблемами неполноценного питания и обеспечения здорового образа жизни населения.

Российская Федерация активно развивает политику здорового питания. В рамках этой политики основными тенденциями развития технологии производства мороженого являются:

1. Увеличение объемов производства мороженого с пониженным содержанием жира и сахара. Производители мороженого стараются создавать продукты с пониженным содержанием этих компонентов, что позволяет людям наслаждаться мороженым, не пренебрегая своим здоровьем.

2. Расширение ассортимента функциональной продукции. С учетом популяризации здорового образа жизни, производители мороженого стремятся предложить функциональные продукты, которые помогут удовлетворить дополнительные потребности организма. Например, мороженое с добавлением витаминов, минералов или пищевых волокон.

3. Использование натуральных компонентов, что позволяет создавать продукты, богатые полезными веществами, без использования искусственных добавок или консервантов.

4. Использование нетрадиционных источников сырья. Для разнообразия ассортимента и обеспечения более полноценного питания, производители мороженого обращают внимание на нетрадиционные источники сырья. Например, мороженое на основе растительных компонентов, которое может быть интересным вариантом для вегетарианцев или людей, предпочитающих растительную пищу [2].

Продолжение таких тенденций несомненно поможет решить проблемы неполноценного питания и создать более здоровое общество.

Мороженое является полезным продуктом, что доказано не только веками, но и современными исследованиями. Оно обладает высокой энергетической, биологической и пищевой ценностью, а также приятным вкусом и нежной консистенцией. В его состав входят витамины А, В, Д, Е, полезные для кожи и глаз, а также фосфор для укрепления костей и роста. Кроме того доказано, что мороженое имеет успокаивающий эффект, поднимает настроение и способствует улучшению концентрации.

Что же такое функциональное мороженое и как его сделать? Функциональное мороженое – это мороженое, обогащённое питательными веществами, которые могут принести пользу здоровью. Такие продукты могут содержать витамины, минералы, пищевые волокна, пре- и пробиотики, а также другие полезные вещества.

Так как же повысить функциональные свойства мороженого? Существует несколько способов повысить функциональные свойства мороженого. Одним из наиболее популярных способов является обогащение продукта полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК). ПНЖК, такие как альфа-линоленовая кислота (АЛК), эйкозапентаеновая кислота (ЭПК) и докозагексаеновая кислота (ДГК), обладают рядом полезных свойств. Таких как нормализация метаболических процессов, включая жировой обмен; повышение иммунитета; предотвращение онкологических мутаций клеток; восстановление эластичности сосудистых стенок; профилактика нарушений в сердечной деятельности. ПНЖК можно получить из растительного или животного сырья. К растительным источникам ПНЖК относятся семена льна, льняное масло, грецкие орехи, семена чиа и другие. К животным источникам ПНЖК относятся жирная рыба, такие как лосось, скумбрия, тунец и форель.

Другим способом повысить функциональные свойства мороженого является использование сахарозаменителей. Сахарозаменители – это вещества, которые обладают сладким вкусом, но не содержат калорий или содержат их в минимальном количестве. Использование сахарозаменителей позволяет снизить калорийность мороженого и сделать его более полезным для людей с сахарным диабетом или избыточным весом. Среди наиболее популярных сахарозаменителей для мороженого можно выделить: эритрит – многоатомный спирт со сладостью, составляющей 70 % от сладости сахара, и который не вызывает кариеса и имеет низкий гликемический индекс. И сукралозу – искусственный подсластитель, который в 600 раз слаще сахара. Сукралоза не только не вызывает кариеса, но и не содержит калорий [3].

Наконец, функциональные свойства мороженого можно повысить за счет добавления пре- и пробиотиков.

Пробиотики – это живые микроорганизмы, которые при введении в организм в достаточном количестве оказывают положительное влияние на здоровье человека. Пребиотики – это неперевариваемые пищевые вещества, которые избирательно стимулируют рост и активность полезных бактерий в кишечнике. Пре- и пробиотики могут быть как естественного происхождения, так и получены в результате биотехнологических процессов.

В настоящее время распространены следующие про- и пребиотики:

Пропионовокислые бактерии – это пробиотики, которые обладают широким спектром полезных свойств: пробиотические свойства – пропионовокислые бактерии способны подавлять рост патогенных и условно патогенных бактерий в кишечнике; антимуtagenные свойства – способность снижать геннотоксическое воздействие химических соединений и ультрафиолетовых лучей; иммуномодулирующие свойства – пропионовокислые бактерии способны усиливать иммунную функцию организма.

Ацидофильная палочка – это пробиотик, который обладает пробиотическими свойствами; иммуномодулирующими свойствами, а также антиоксидантными свойствами, то есть способность ацидофильной палочки вырабатывать вещества, которые защищают клетки организма от окислительного стресса.

Полидекстроза – это пребиотик, обладающий такими ценными свойствами свойствами как: стимуляция роста и активности полезных бактерий в кишечнике; снижение уровня холестерина в крови; улучшение пищеварения и укрепление иммунитета [4].

Добавление пропионовокислых бактерий, ацидофильной палочки и полидекстроз в функциональные пищевые продукты на основе молока позволяет повысить их качество и полезные свойства.

Таким образом, мороженное, без сомнений, может быть продуктом функционального назначения. Благодаря замене компонентов и внесению добавочных ингредиентов можно снизить количество калорий и при этом улучшить вкусовые качества, оставив традиционный вкус мороженого. Рецептуру можно разработать так, чтобы продукт был безопасен для употребления людям с заболеваниями и способствовал их профилактике. В будущем ассортимент и виды мороженого с функциональными свойствами, несомненно, расширятся, а спрос на такой продукт только возрастёт.

Литература

1. Варивода, А.А. Технология функциональных продуктов. /А.А.Варивода, Г.П.Овчарова // Технология функциональных кисломолочных продуктов. Курс лекций, 2013.
2. Пищевая химия / Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. и др. / Под ред. Нечаева АЛ. Изд. 2-е. - СПб.: ГИОРД, 2003. - 640 с.
3. Патент RU 2708334, кл. А 23 G 9/36, 2019.
4. Тутельян В.А., Спиричев В.Б. и др. Микронутриенты в питании здорового и больного человека. - М.: Колос, 2002. - 424 с.

*Г.В. Короткова, к.б.н., доц.; А.А. Черненко, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск)*

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ МАРМЕЛАДА В КОНДИТЕРСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Мармелад является одним из популярных и востребованных кондитерских изделий. Его качество определяется не только вкусовыми характеристиками, но и консистенцией, внешним видом, ароматом и другими факторами.

Продукт должен быть изготовлен в соответствии с требованиями ГОСТ по рецептурам и технологическим инструкциям производителя с соблюдением

требований или нормативных правовых актов [1]. Поэтому кондитерские предприятия должны точно оценивать качество мармелада для обеспечения его соответствия ожиданиям потребителей.

Рассмотрим различные методы оценки качества мармелада, используемые в промышленности, области применения и их вклад в обеспечение стандартов производства высокого качества. Анализ физических и сенсорных свойств мармелада, а также корреляции между ними имеет важное значение в оценке качества продукта.

Качественный анализ включает оценку потребительского восприятия мармелада и сенсорный анализ.

Оценка потребительского восприятия проводится путем опроса потребителей и оценки их предпочтений и мнений относительно различных образцов мармелада. Это позволяет получить информацию о вкусовых предпочтениях и ожиданиях потребителей и адаптировать производство мармелада соответствующим образом.

Сенсорный анализ продукта предполагает использование человеческих органов чувств – зрения, обоняния, осязания, вкуса – для оценки органолептических свойств мармелада. Это включает в себя ароматический профиль, визуальные аспекты и вкусовой профиль. Для получения информации об этих параметрах, которые могут быть количественно оценены с помощью таких методов, как балльные и рейтинговые тесты, обычно используется коллегия обученных дегустаторов [2].

Визуальная оценка включает в себя изучение формы, цвета и прозрачности желе. Цвет, предпочтительно яркий, соответствующий фруктовому, является первой точкой соприкосновения жележного мармелада с потребителем. Следовательно, обращает на себя внимание равномерная окраска и прозрачность внешнего вида желе.

Профиль аромата - еще один важный момент для анализа. Запах мармелада должен соответствовать типу фруктов, с возможностью появления сложных нот, если были использованы специи или другие ароматизаторы.

Оценка вкуса требует определения сладости, кислотности, горечи и твердости. Последовательность вкусов, которая устанавливается во время процедуры дегустации, часто определяет качество жележного мармелада.

Для оценки текстуры и твердости требуется, чтобы желе имело правильную форму, имело плотные края и имело однородную консистенцию. Поскольку текстура играет жизненно важную роль в определении того, нравится ли продукт потребителю, ее количественная оценка на основе сенсорного анализа помогает поддерживать качество.

Также органолептическая оценка способствует пониманию потребительской привлекательности, анализ физических свойств дополняет это, предлагая количественную оценку характеристик жележного мармелада.

Количественный анализ включает измерение физико-химических параметров готового продукта, таких как содержание сахара, влажность, рН-значение и

другие. Эти параметры имеют прямое влияние на качество мармелада и могут быть измерены с использованием аналитических инструментов и методов.

Например, содержание сахара может быть определено с помощью применения рефрактометрии или хроматографии. А кислотность можно определить с помощью стандартных методов титрования.

Ароматические соединения отбираются с помощью газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией. Этот сложный и детальный анализ помогает определить профиль аромата и отслеживать изменения на всех этапах производства желейного мармелада, что важно для обеспечения стабильности качества.

Между тем, количество веществ, придающих горечь продукту, можно определить с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) – один из эффективных методов разделения сложных смесей веществ. Основой хроматографического разделения является участие компонентов разделяемой смеси в сложной системе Ван-дер-Ваальсовых взаимодействий (преимущественно межмолекулярных) на границе раздела фаз.

Текстура является еще одним важным фактором, и существуют объективные методы для ее измерения, наиболее распространенным из которых является анализ профиля текстуры. Он предоставляет информацию о твердости, адгезионности, пружинистости и других параметрах, связанных с текстурой.

Существует несколько реологических методов для измерения физических свойств желейного мармелада. Ротационная реометрия является одной из наиболее распространенных методик. Она основана на измерении силы сопротивления, которую оказывает продукт на вращающийся диспергатор. Это позволяет получить данные о его вязкости в зависимости от различных скоростей сдвига и температур.

Еще один метод, используемый для измерения физических свойств желейного мармелада, — это метод динамического испытания. В этом методе образец мармелада подвергается периодическим колебаниям, и измеряются силы, которые возникают при этих колебаниях. Полученные данные позволяют определить эластичность и молекулярную структуру.

Реологические методы играют важную роль в измерении физических свойств мармелада. Они предоставляют информацию о его реологической природе и позволяют принимать решения, связанные с оптимизацией процессов производства и улучшением качества конечного продукта. Дальнейшие исследования и развитие реологических методов могут привести к новым открытиям и инновациям в области кондитерских изделий.

В целом количественный подход позволяет получить точные числовые значения, которые могут быть использованы для сравнительного анализа различных образцов мармелада.

Интегрируя количественный и качественный методы оценки в производственный процесс, кондитерские производства могут контролировать изменения технологического процесса и обеспечивать стабильное высокое качество продукции. Соблюдение определенного стандарта и наблюдение за корреляци-

ей между сенсорными и инструментальными данными могут обеспечить прогностическую модель производства желейного мармелада.

Кроме того, сочетание с другими продуктами- неотъемлемая часть более широкого сенсорного восприятия мармелада, еще один подход к повышению его качества. Например, сочетание мармелада и шоколада может привлечь новых потребителей.

Количественные и качественные методы играют важную роль при отборе образцов желейного мармелада и других кондитерских изделий. Разнообразные методы анализа продукта устанавливают стандарты качества, одновременно способствуя корректировке и совершенствованию производства.

С помощью каждой проведенной сенсорной оценки и аналитического теста можно определить внутренние параметры качества желейного мармелада. Хотя эти методы имеют решающее значение для поддержания стандартов и качества, непрерывная разработка и адаптация этих методов в постоянно развивающейся отрасли требует внимательности и инноваций.

Литература

1. ГОСТ 6442-2014. *Мармелад*. Общие технические условия. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 ноября 2014 г. N 72-П) – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114731> (дата обращения: 10.09.2023). – Текст: электронный.
2. ГОСТ ISO 6658-2016. *Органолептический анализ. Методология. Общее руководство*. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 20 апреля 2016 г. N 87-П) – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139405> (дата обращения: 09.09.2023). – Текст: электронный.

*Г.В. Короткова, к.б.н., доц.; А.А. Черненко, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ВЛИЯНИЕ ПЕКТИНА НА АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА МАРМЕЛАДА

Мармелад – сахаристое кондитерское изделие студнеобразной консистенции, имеющее определенную заданную форму, получаемое увариванием желирующего фруктового сырья и раствора студнеобразователя с сахаром, пищевых добавок, ароматизаторов [1].

Наиболее полезный из встречающийся на прилавках мармелад производится с добавлением желирующего вещества, такого как пектин. Пектин – это полисахарид, присутствующий в клеточных стенках большинства наземных растений и являющийся основным компонентом в процессе желирования джемов, желе и мармеладов.

Пектин представляет собой гетерополисахарид, состоящий из фрагментов α -(1→4)-связанных D-галактуроновых кислот, которые могут быть ацетилированы в положениях О-2 и О-3 или метилэтерифицированы по карбоксильной группе С-6. Наличие различных областей, а именно гомогалактуронана (HG) и рамногалактуронана I и II (RG-I и II), придает пектину уникальные свойства, делая его пригодным для различных применений в пищевой промышленности. Этот сложный углевод способен образовывать гелеобразную матрицу в сочетании с сахаром и кислотой, создавая плотную текстуру, идеальную для таких продуктов, как мармелад.

Процесс производства мармелада варьируется в зависимости от используемых ингредиентов и желаемой формы конечного продукта. Однако основной процесс его приготовления неизменно остается одним и тем же, включая в себя следующие основные технологические стадии:

- приготовление купажной смеси;
- варка мармеладной массы;
- формование и студнеобразование;
- сушка мармелада;
- охлаждение мармелада;
- фасование, упаковывание и хранение мармелада [2].

Но за этими, казалось бы, простыми технологическими стадиями скрывается множество структурных преобразований, влияющих на свойства мармелада.

Одним из них является адгезия, относящееся к поверхностным явлениям и обусловленная свойствами границы раздела фаз, в частности поверхностной энергией. Она характеризует связь между двумя телами. Адгезия возникает при контакте двух твердых тел, а также при контакте жидкостей с твердыми телами. Величина адгезии зависит от площади контакта между двумя телами и величины связи между ними, приходящейся на единицу площади контакта [3].

Пектин, содержащийся в кожуре и мякоти фруктов и экстрагируемый в процессе приготовления, служит основой клейких свойств мармелада. Структурная сложность пектина, главным компонентом которого является галактуроновая кислота, позволяет ему образовывать гелеобразную сетку при оптимальном соотношении сахара и кислоты.

При изготовлении мармелада важно взаимодействие пектина, сахара и кислоты. Так высокий уровень сахара способствует гелеобразованию пектина за счет связывания молекул воды, оставляя меньше воды для ингибирования связывания между молекулами пектина. Кислота, с другой стороны, повышает доступность водородных связей между цепочками пектина. Результатом взаимодействия является образование трехмерной полимерной сетки из пектина, удерживающая воду, сахар и другие компоненты мармелада в виде геля.

Процесс студнеобразования начинается при нагреве смеси из пектина, сахара и кислоты. Тепло расщепляет метиловые эфирные группы пектина на составляющие их карбоксильные группы, готовые к связыванию с двухвалентными ионами или к образованию водородных связей с другими карбоксильными группами на соседних цепях. При понижении температуры пектиновые цепочки "застывают" в виде геля. При переходе от раствора с низкой вязкостью к вязкому гелю захватывается и обездвиживается мармеладная масса, создавая характерную текстуру желе.

Степень гелеобразования и конечная текстура мармелада могут варьироваться в зависимости от используемого типа пектина. Высокоэтерифицированный пектин (HM) образует гели в средах с высоким содержанием сахара и низким pH. И наоборот, низкоэтерифицированный пектин (LM) образует гели с низким содержанием сахара и не зависит от кислотности фруктового пюре,

вместо этого требуется источник двухвалентных ионов, обычно кальция. Выбор пектина влияет на сладость, кислинку, текстуру и питательную ценность продукта.

Температура и продолжительность приготовления определяют качество клейкого геля. При нагревании смеси пектина, сахара и кислоты метиловые эфирные группы пектина деэтерифицируются в карбоксильные группы, которые либо связываются с двухвалентными ионами, либо образуют водородные связи с другими карбоксильными группами на параллельных цепях. Это явление склеивания выражается в вязкости и адгезионных свойствах готового продукта.

Однако длительное нагревание или перегрев могут привести к карамелизации сахара или другим нежелательным химическим реакциям. Это может ухудшить адгезионные свойства и привести к слишком густой текстуре до отливки мармеладной массы.

Способность мармелада к адгезии тонко коррелирует с его характерной текстурой. Мармелад на основе фруктового пюре будет иметь меньшую площадь поверхности для прилипания, чем мармелад на соке. Таким образом, рецептура изготовления мармелада является косвенным фактором, влияющим на адгезионные свойства конечного продукта.

Степень студнеобразования пектина также коррелирует с клейкостью мармелада. Большее гелеобразование приводит к образованию обширной гелевой сетки с большей адгезией.

Изменение адгезивных свойств мармелада – это сложный процесс уравновешивания. Он требует тщательного контроля содержания пектина, сахара, фруктового пюре или сока, кислоты и условий приготовления. Иногда в процессе производства добавляют пектин дополнительно для обеспечения оптимального желирования, особенно для сырья с низким содержанием натурального пектина.

Более того, изменения рецептуры, ориентированные на потребителей, заботящихся о своем здоровье, требуют тщательного пересмотра производственного процесса, прежде всего из-за снижения содержания сахара, что напрямую влияет на вязкость, упругость и адгезию мармелада.

Мармелад с добавлением пектина можно назвать функциональным продуктом, так как структура пектина, особенно обилие галактуроновой кислоты, благоприятно взаимодействует с холестерином и желчными кислотами в пищеварительной системе, повышая влияние на метаболизм холестерина. Кроме того, его гелеобразующая способность может изменять текстуру и вязкость содержимого желудочно-кишечного тракта, потенциально влияя на скорость всасывания питательных веществ.

Технология производства мармелада на пектине позволяет получить продукт с упругой текстурой и хорошими адгезионными свойствами. Любые изменения в характеристиках каждой стадии процесса влияют на эти свойства, подчеркивая важность правильного соблюдения технологических стадий при изготовлении мармелада на пектине. При более глубоком понимании взаимодей-

ствия этих факторов производственным процессом можно будет лучше управлять, чтобы производить продукцию с улучшенными свойствами.

Из приведенных данных можно сделать вывод о том, что пектин напрямую влияет на адгезионные свойства мармелада. Большое количество пектина способствует увеличению адгезионных свойств, что положительно влияет на производство многослойных изделий. Однако в большинстве технологических процессов адгезия рассматривается как отрицательное явление так, как происходит связь продукта с поверхностями оборудования. В дальнейшем исследовании следует рассмотреть механизмы взаимодействия пектина с другими компонентами мармелада и их влияния на адгезию.

Литература

1. *ГОСТ 32914-2014. Мармелад*. Общие технические условия. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 ноября 2014 г. N 72-П) – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114731> (дата обращения: 17.09.2023). – Текст: электронный.
2. Маршалкин, Г.А. Производство кондитерских изделий / Г.А. Маршалкин. – М.: Колос, 1994. – 272 с.
3. Орлова, Т. В. Физико-химические основы и общие принципы переработки растительного сырья : учебное пособие для вузов / Т. В. Орлова, Е. А. Ольховатов, А. В. Степовой. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — ISBN 978-5-507-44833-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/247592> (дата обращения: 29.09.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей. — С. 22.

*К.С. Маслова, асс., В.Н. Клименкова, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Развитие технологий производства продуктов для функционального питания является актуальным направлением современной пищевой промышленности.

В настоящее время особенное внимание обращено на возможности повышения пищевой ценности и обогащение многокомпонентных продуктов с целью увеличения их функциональных свойств. Особенной популярностью пользуются многокомпонентные смеси на основе зерновых хлопьев, сухих фруктов, орехов, сухих сывороточных концентратов.

Определение наиболее перспективных методов будет способствовать разработке инновационных рецептов для продуктов, максимально обеспечивающих потребности организма, что приведет к расширению производства и динамичному росту рынка продуктов для функционального питания.

В работе проведена оценка способов и возможностей повышения функциональных свойств и пищевой ценности многокомпонентных продуктов и смесей, содержащих злаки.

Используемые в рамках исследования научные методы: анализ теоретических источников и синтез полученной информации.

Многокомпонентные продукты на основе злаков, такие как мюсли, гранола, злаковые хлеба, батончики и кондитерские изделия, содержащие размоло-

тые и цельные зерна злаковых культур являются популярными продуктами питания. Их пищевые свойства обеспечиваются повышенным содержанием углеводов, значительным количеством макро и микронутриентов.

Функциональность пищевых продуктов обуславливается их компонентным составом, важную роль играет способ производства [1].

Характеристикой функциональности при рассмотрении продуктов питания является способность продукта при его регулярном употреблении оказывать положительное влияние на общее состояние организма, качественное функционирование иммунной, нервной, кровеносной систем. Организм человека, употребляющего в пищу функциональные продукты питания на регулярной основе, легче переносит стрессовые ситуации, физические, психологические перегрузки и более устойчив к внешним негативным воздействиям.

К основным параметрам, определяющим функциональность продуктов питания относят пищевую, энергетическую и физиологическая ценность, наличие биологической активности компонентов, безопасность и основные органолептические показатели (рис. 1).

Повышение пищевой ценности многокомпонентных продуктов для функционального питания можно обеспечить путем применения следующих методов: дополнительное обогащение компонентами, содержащими значительное количество клетчатки (семена льна, чиа, цельные или плющенные зерна злаковых культур); снижение общего количества сахаров в составе продукта, замена рафинированного сахара на натуральные подсластители (кленовый сироп, мед, сушеные фрукты); повышение содержания белка при изменении рецептурных компонентов (сухой сывороточный или молочный концентрат, ореховое масло) [2]; повышение антиоксидантной активности при обогащении продукта витаминными комплексами, пектином и экстрактами лекарственных растений; усиление вкуса и аромата за счет специй и ароматических компонентов (ваниль, корица). Создание уникальных текстур многокомпонентных продуктов для функционального питания возможно при включении в рецептуру целых или дробленых орехов и семечек [3].

Таким образом, функциональные свойства пищевых продуктов включают в себя их способность удовлетворять потребности организма в питательных веществах, обеспечивать потребность в энергии и поддерживать необходимый уровень здоровья. Многокомпонентные продукты на основе злаков обладают высокой пищевой ценностью и при регулярном употреблении положительно воздействуют на жизнеобеспечивающие системы организма. Необходимо учитывать, количество потребляемых продуктов в рамках разнообразного и сбалансированного рациона. Смесь ингредиентов для многокомпонентных продуктов на основе злаков должна соответствовать утвержденным требованиям качества.

Питательность	<ul style="list-style-type: none"> • пищевые продукты должны обеспечивать организм необходимыми питательными веществами, такими как белки, жиры, углеводы, витамины и минералы.
Энергетическая ценность	<ul style="list-style-type: none"> • продукты должны содержать достаточное количество калорий для поддержания нормального обмена веществ и уровня активности организма.
Физиологическая функция	<ul style="list-style-type: none"> • некоторые продукты могут иметь специальные функции, такие как улучшение пищеварения, регулирование уровня сахара в крови, укрепление иммунной системы и т. д.
Биологическая активность	<ul style="list-style-type: none"> • некоторые продукты могут содержать биологически активные вещества, такие как антиоксиданты, фитонутриенты или пробиотики, которые могут оказывать положительное влияние на здоровье.
Безопасность	<ul style="list-style-type: none"> • продукты должны быть безопасными для употребления и соответствовать стандартам качества и гигиены.
Вкус и текстура	<ul style="list-style-type: none"> • продукты должны быть приятными на вкус и иметь приемлемую текстуру, чтобы стимулировать аппетит и обеспечить удовлетворение от еды.
Удобство использования	<ul style="list-style-type: none"> • продукты должны быть удобными в использовании и хранении, чтобы облегчить приготовление пищи и удовлетворить потребности современного образа жизни

Рисунок 1 – Функциональные свойства пищевых продуктов

Результатом проведенных исследований явилась разработка линейки рецептур многокомпонентных смесей для функционального питания. Особенностью рассчитанных рецептур является сочетание злаковых смесей, сухого сывороточного концентрата, измельченных сухих фруктов. При регулярном употреблении продукта в указанном количестве, будут обеспечиваться потребности организма в необходимых питательных элементах.

В ходе проведенного исследования возможностей повышения пищевой ценности многокомпонентных продуктов для функционального питания выявили наиболее перспективные методы повышения пищевой ценности. Применение одного, нескольких или же комбинирование рассмотренных методов дает возможность для создания инновационных рецептур многокомпонентных продуктов для функционального питания. Наиболее перспективным направлением является дополнительное обогащение состава добавлением сывороточных концентратов, так как в них содержится большое количество незаменимых

аминокислот, макро и микронутриентов. Замещение рафинированных сахаров сухими фруктами и овощами позволит расширить ассортиментные линии многокомпонентных продуктов и обеспечить удовлетворение потребительского спроса.

Литература

1. Функциональные продукты питания: учебное пособие / коллектив авторов. - М.: КНОРУС, 2017. – 304 с. – (Бакалавриат).
2. Маслова К.С. Перспективы разработки функциональных пищевых продуктов, обогащенных витаминами / Маслова К.С., Гольцев И.Ю. // Актуальные проблемы формирования здорового образа жизни студенческой
3. Аксенова О.И., Куликова М.Г. Обоснование технологических решений при производстве продуктов питания повышенной биологической ценности / Агропродовольственная экономика. // 2017. № 6. С. 40-48.

*О.И. Миронычева, к.т.н., асс.; Е.А. Бурыкин, студ.;
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ СИЛАНОВЫМ СОЕДИНИТЕЛЕМ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОНА

В последние годы все большее внимание уделяется экономии энергии, снижению выбросов, переработке отходов и охране окружающей среды. Особенное внимание заслуживают резинотехнические отходы, ведь учитывая специфические свойства полимерных материалов – они не подвергаются гниению, коррозии и проблема их утилизации носит, прежде всего, экологический характер. Развитие промышленности позволило превратить резиновые отходы в компонент модификации для дорожного строительства, что не только решает проблему загрязнения, но и улучшает качество асфальтобетонных покрытий и продлевает срок их службы [1].

Резиновая крошка может использоваться при производстве асфальтобетона, резинобетона, стресс-поглощающих слоев, напрягающих промежуточных слоев, битуминозных материалов, щебеночных уплотнений, водонепроницаемых материалов для дорожных покрытий. Благодаря использованию полимерных добавок при производстве материалов можно достигнуть таких положительных эффектов, как снижение уровня шума на дороге, замедление образования трещин, уменьшение толщины асфальтобетонного покрытия, стойкости к тяжелым транспортным нагрузкам и перепадам температур [2].

Каучуковая крошка представляет собой макромолекулярное соединение, и ее приготовление и использование в качестве модификатора включает в себя сложную физико-химическую реакцию с асфальтом. Использование необработанной резиновой крошки не позволяет достигнуть необходимой степени растворимости в вяжущем. Основной причиной слабого взаимодействия модификатора со средой материала объясняется тем, что резиновая крошка является органическим соединением, асфальт представляет собой смесь, содержащую органические и неорганические вещества. Это приводит к расслоению композиции при транспортировке и эксплуатации, что вызывает снижение качества асфальтобетонных покрытий [3]. Таким образом, для широкого использования

дешёвого и перспективного модификатора строительных материалов, возникает потребность в решении проблемы слабого молекулярного взаимодействия.

Целью данной работы является поиск и анализ способа повышения степени взаимодействия резиновой крошки и асфальтобетона.

Наиболее целесообразным путём повышения взаимодействия разнородных компонентов, является применение дополнительных связывающих веществ. Например, молекулярная структура силанового соединителя может выступать в качестве "молекулярного моста" в виде $Y-R-Si(OR)_3$, где Y – органическая функциональная группа, а $Si(OR)_3$ – силоксановая группа. Наиболее подходящим веществом для образования новых молекулярных связей может стать КН550. Данное вещество, физические характеристики которого представлены в таблице 1, представляет собой бесцветную прозрачную жидкость и имеет формулу $NH_2(CH_2)_3Si(OC_2H_5)_3$.

Таблица 1 – Физические характеристики КН550

Наименование свойства	Значение
Удельный вес при 25 °С	0,9420
Точка кипения, °С	217
Показатель преломления	1,420-1,142
Температура вспышки, °С	96
Растворимость	Водорастворимый
Кислотно-основное свойство	Щелочность

$NH_2(CH_2)_3$ представляет собой органическую функциональную группу, которая может реагировать с неорганическими соединениями. В свою очередь, $(OC_2H_5)_3$ является силоксановой группой и может реагировать с неорганическими соединениями. Следовательно, если КН550 поместить между разными по происхождению молекулярными средами, то образуется своеобразное переходное состояние, представляющее собой органическую и неорганическую матрицы, между которыми располагается связывающий агент –силан.

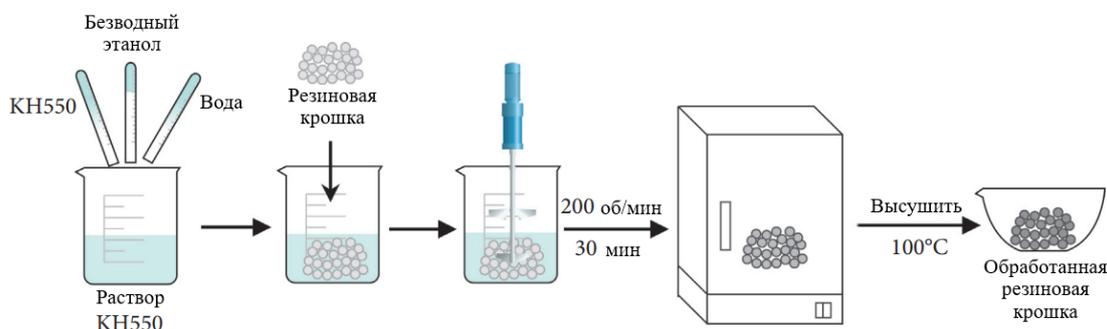


Рисунок 1– Технологическая схема предварительной обработки резиновой крошки раствором КН550

При смешивании резиновая крошка соединяется с асфальтом и поглощает более легкие компоненты, что приводит к набуханию частиц. Это образует гелеобразный слой, но в то же время уменьшается содержание легких компонен-

тов в асфальте, вследствие чего ослабляется деформационная способность при низкой температуре и прочностные характеристики асфальтобетона ухудшаются. Однако после обработки

раствором КН550 органические функциональные группы, связанные с молекулами каучука, могут вступать в реакцию с асфальтобетоном, и в результате образовывать устойчивые ковалентные связи, что может значительно улучшить реологические характеристики полученной смеси.

Что касается стабильности асфальтобетонной смеси, то она напрямую зависит от количества образующихся связей в процессе перемешивания компонентов. Для увеличения образования новых матричных связей, сначала необходимо разрушить существующие связи в молекулах каучука и составных компонентов асфальта. Наиболее простым способом является увеличение температуры реакции, но при этом повысится степень деструкции полимерных составляющих, что негативно скажется на качестве материала. При использовании связывающего агента в виде КН550, органическая функциональная группа в его составе, способствует разрыву насыщенной связи С-Н с образованием новых связей. Также, это способствует образованию новых связей $C\equiv C$, что приводит к усилению внутренней перекрёстной связи [4]. Следовательно, силан не только усиливает связь между резиновой крошкой и асфальтом, а также увеличивает предел прочности дорожного покрытия.

Хотя применение силанового агента, для укрепления структуры асфальтобетона увеличивает время молекулярного взаимодействия компонентов смеси, что может негативно сказываться на продолжительности технологического процесса, его использование не только значительно улучшит эксплуатационные характеристики дорожного материала, но также увеличит стабильность смеси, что решит проблему расслаивания при транспортировке продукта.

Литература

5. Lo Presti D., Airey G., Partal P., Manufacturing terminal and field bitumen-tyre rubber blends: the importance of processing conditions / D. Lo Presti, G. Airey, P. Partal // Procedia. – 2012. – № 53. – pp. 485–494.
6. Sun D.Q., Li L.H., Factors affecting the viscosity of crumb rubber-modified asphalt / D.Q. Sun, L.H. Li // Petroleum Science and Technology. – 2010. – № 15. – pp. 1555–1566.
7. Бурыкин Е.А., Метод производства резинобитумной эмульсии с помощью полимерных отходов // Сборник трудов XX Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика». Смоленск, 2023. С. 17–20.
8. Cheng D.X., Hicks R.G., Summary of Rubber Modified Asphalt Product Specifications from around the World / D.X. Cheng, R.G. Hicks // Ontario Tire Stewardship. – 2012. – pp. 211–218.

*О.И. Миронычева, к.т.н., асс.; Д.Р. Шапура, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА ЗАВАРНЫХ И СЫРЦОВЫХ ПРЯНИКОВ

Пряничное изделие – это особый вид выпечки, созданный из пряничного теста, которое отличается от обычного за счет добавления ароматных пряностей, натурального меда, сахара или патоки. Сочетание этих ингредиентов придает пряничным изделиям уникальный вкус и неповторимый аромат.

Пряники являются популярными кондитерскими изделиями, вследствие чего их достаточно выгодно производить. Для получения наибольшей прибыли необходимо выбрать такой вид пряничного изделия, при изготовлении которого затраты на производство окупались высоким качеством готового продукта. Таким образом, стоит выбор между глазированными заварными и сырцовыми пряниками.

Для приготовления пряников обычно используют следующие ингредиенты: мука 1 или второго сорта, сахарный песок, патока, маргарин, меланж, сгущенное молоко, аммоний углекислый, сода питьевая, ароматизатор, краситель пищевой, вода питьевая [1].

По технологии изготовления пряники делятся на заварные и сырцовые. Технология изготовления заварных пряников включает следующие этапы, представленные на рис.1.

В котле нагревают патоку до 40-45°C и процеживают. Затем к патоке добавляют горячую воду, нагретую до 70-80°C, и сахар. Смесь ингредиентов перемешивают при температуре 65-70°C, чтобы сахар полностью растворился. Готовый сироп охлаждают до 50-65°C.

Приготовленный сироп подают в тестомесильную машину с паровой рубашкой, и к нему добавляют муку. Замешивают заварку в течении 10-15 мин на скорости 12-14 об/мин. На выходе температура заварки должна быть в пределах 50-55 °C, а ее влагосодержание должно составлять 19-20 %. После заварку охлаждают в той же тестомесильной машине до 25-27°C.

Для приготовления теста заварку загружают в другую тестомесильную машину и добавляют маргарин, ароматизатор, краситель, раствор солей, меланж и сгущенное молоко. Предварительно в сахарожирорастворителях нагревают сгущенное молоко до 40°C и темперируют маргарин. Замес теста длится 30 минут на скорости 18-20 об/мин. Полученное тесто должно иметь влажность 20-22 % и температуру приблизительно 30°C.

Далее тесто загружают в тестоосадочную машину для формовки пряника. Вес одного пряника в среднем составляет 20 г. Формованное изделие отправляют в конвейерную печь и выпекают при температуре 200-230°C в течении 6-7 минут. После чего пряники охлаждают на ленточном конвейере до 40-45°C в течении 30 минут.

Отдельно готовят сироп для глазирования. В котел добавляют воду и сахар в пропорции 0,4 к 1, нагревают до 110-114°C и уваривают сироп до плотности 1,32-1,33 г/см³. Готовый сироп охлаждают до 85-90°C и процеживают.

Остывшие пряничные изделия и глазурь подают в барабан для тиражирования пряников на 30-40 секунд. После глазирования пряник отправляется на конвейер с сушильным коробом, где сушится при 60-65°C в течении 5-6 минут. Затем охлаждается на ленточном конвейере при 20-22°C и отстаивается в цехе 2 часа. После чего направляется на фасование, упаковывание и хранение [2].

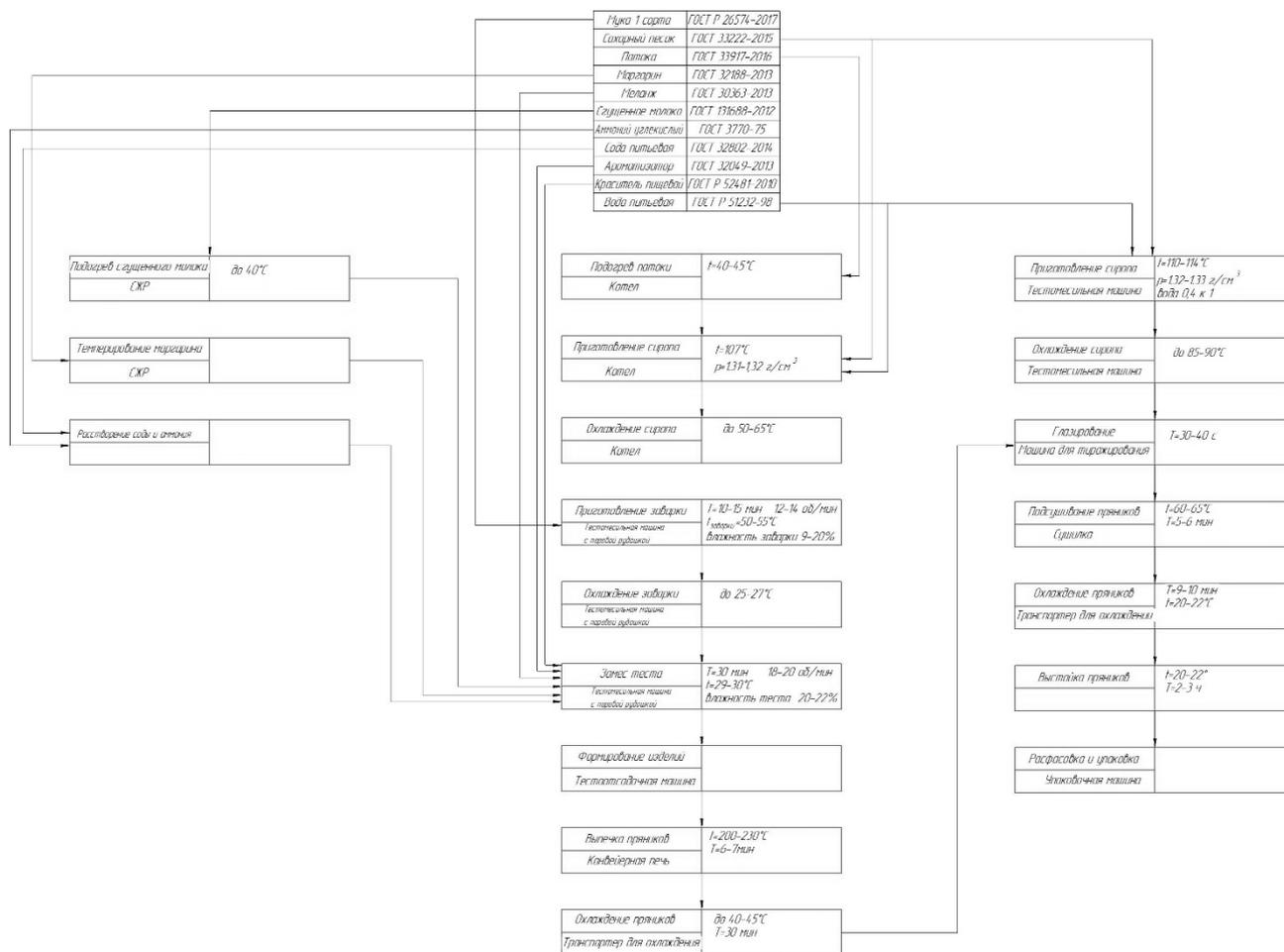


Рисунок 1 – Технологическая схема производства заварных пряников

Технологическая схема производства сырцовых пряников представлена на рис. 2. Она схожа по технологическим процессам с технологической схемой производства заварных пряников, однако есть небольшие различия.

Для сырцовых пряников не надо заваривать тесто, поэтому при приготовлении сиропа для теста его охлаждают до 30-40°C и отправляют сразу в тестомесильную машину для замеса теста [3].

Анализ технологических изготовления показал, что производство сырцовых пряников получается быстрее и проще, но потребительский спрос строится на анализе органолептических показателей, именно поэтому заварные пряники пользуются большей популярностью.

Благодаря заварке заварные изделия получаются мягче, ароматнее и дольше хранятся. Такие пряники покупатели охотнее покупают, а само их изготовление не требует сильного усложнения и удорожания процесса, поэтому при выборе между сырцовыми и заварными пряниками выгоднее отдать предпочтение заварным.

В зависимости от возможных способов насыщения установки бывают: смешительные, распылительные, комбинированные. Установка, в которой смешивание производится по средствам барботажа, является смешительной.

Распылительным является аппарат, в котором распыленная жидкость подается в колонну с сетками большой поверхности, которые способствуют увеличению площади, тем самым проводя смешивание с движущимся навстречу углекислым газом. Соответственно, сатурационные установки, в которых используется более одного способа насыщения жидкости называются комбинированными.

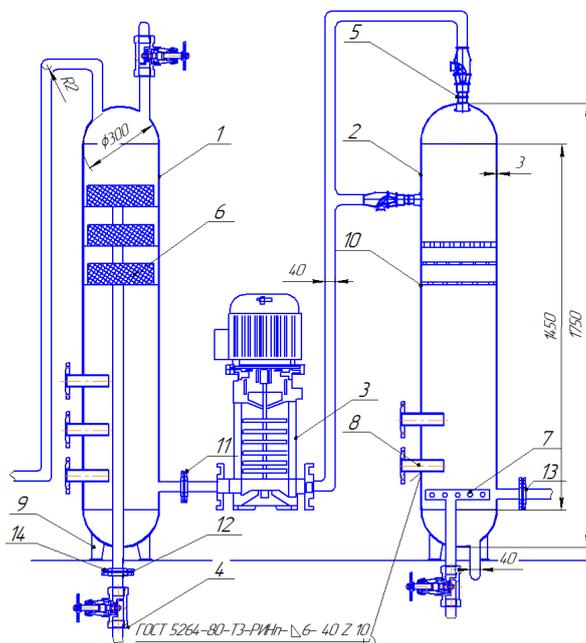


Рисунок 1 – Принципиальная схема действия сатураторов

Для более качественного насыщения углекислотой предварительно используется процесс деаэрации, основанный на удалении из жидкости частиц воздуха. В силу разности парциальных давлений газа и воздуха, кислород, как более легкий, вытесняется из колонны. В настоящее время все более распространены сатураторы комбинированного типа. В работе конструируется двух-колонный сатуратор для смешивания диоксида углерода с безалкогольным напитком, основным компонентом которого является чай матча [1].

Карбонизация осуществляется в аппарате данного типа, т.к. сатуратор подобран в соответствии с производительностью линии по производству напитка с основным компонентом – матча. Для карбонизации чайного напитка используется сатуратор комбинированного типа, принцип работы которого следующий:

Жидкость под давлением проходит через водопроводный клапан в колонну деаэрации 1, далее распределяется сквозь тарелки с кольцами Рашига и освобождается от растворенных в ней газов, за счет увеличенной площади взаимодействия сред. Далее жидкость собирается на дне колонны.

По мере заполнения нижней части колонны 1 поочередно включаются штуцера, подающие углекислоту. Колонна деаэрации предназначена для удаления воздуха из напитка. В силу движения вверх подаваемого снизу углекислого газа, частицы воздуха вытесняются из продукта. Более легкий газ накапливается вверху колонны и выбрасывается в атмосферу. Тем самым некоторая часть углекислого газа остаётся в жидкости.

Для создания вакуума в колонне деаэрации существует накопитель, куда по средствам насоса отправляется карбонизированная жидкость.

Колонна 2, предназначенная для сатурации напитка, представляет собой цилиндрический сосуд, по внутреннему диаметру которого располагаются перегородки в виде сетки. Верхняя часть колонны заполнена газовой средой. Из колонны 1 в колонну сатурации подается жидкость под давлением. С помощью эжектора жидкость распыляется и смешивается с частицами газа. Один из эжекторов всасывает газы из верхней части колонны и выпрыскивает жидкостно-газовую смесь в зону распыления другого эжектора 5. Таким образом, происходит более тщательное насыщение напитка. Углекислый газ в верхнюю часть колонны поступает с помощью барботера, находящегося внизу колонны. Газ движется навстречу потоку жидкости, который создается эжекторами, обеспечивая смешивание.

Карбонизированная жидкость отправляется в сборник 5. Использование нескольких стадий насыщения позволяет проводить сатурацию при низких давлениях. Понижение рабочего давления карбонизационных установок, при котором происходит насыщение жидкости, способствует более прочному взаимодействию углекислоты и воды, что благоприятно для напитков, в составе которых есть сахароза.

Для наиболее интенсивного смешивания жидкости с частицами газа целесообразно использовать барботирующие устройства (рис. 2). Так, в работе был сконструирован «барботер» с учетом размеров колонны сатурации [2].

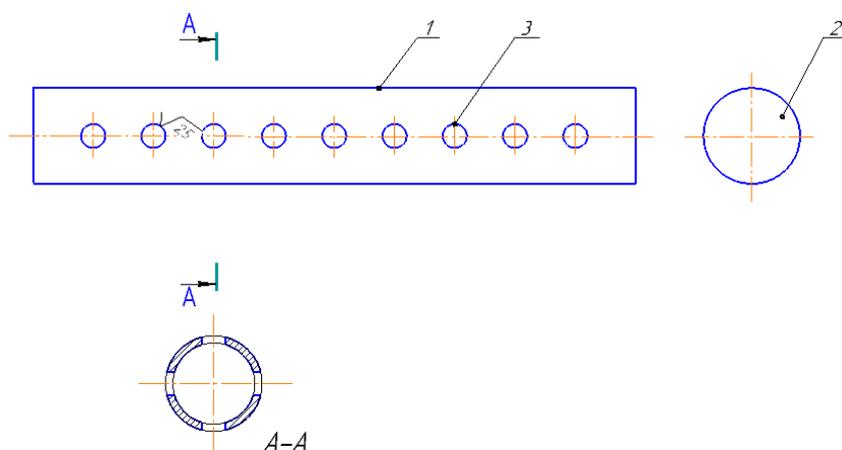


Рисунок 2 – Барботирующие устройство

Барботер – конструктивный элемент, пропускающий через слой жидкости пузырьки углекислого газа. Деталь изготавливается из стали 12Х18Н10Т. Это

высоколегированный конструкционный сплав. Является коррозионноустойчивым и жаропрочным. Основной легирующий компонент – титан (содержится до 0,8%), повышающий прочность металла, устойчивость к межкристаллитной коррозии.

Для производства детали был проведен анализ технологичности, согласно которому, изготавливаемая деталь является соответствующей.

Получить заготовку необходимо с помощью сортового проката.

Маршрутная карта изготовления детали состоит из следующих операций: заготовительная, фрезерная, токарная, шлифовальная, моечная, контрольная. Поверхность 1 – обрабатывается фрезерованием, поверхность 2 – шлифованием, поверхность 3 – точением.

Длина изготавливаемой детали – 250 мм, диаметр – 40 мм. Количество отверстий по всему объёму детали – 36.

Таким образом, за основу был взят сатуратор комбинированного типа, изменение технологии позволило использовать аппарат для сатурации напитка на основе чая матча. Было сконструировано барботирующее устройство, способствующее более тщательному насыщению жидкости диоксидом углерода. Кроме того, аппарат отличается наличием тарелок с кольцами Рашига, а также распределительных тарелок в области колонны сатурации, наличие эжекторов также способствует ускорению процесса смешивания.

Литература

1. Паукова В.С. Разработка технологической схемы производства чая матча // 8-ая Международная молодежная научная конференция ПОКОЛЕНИЕ БУДУЩЕГО: Взгляд молодых ученых - 2019. Под ред. Горохов А.А. В 8 томах. Том 5. Секция 8. – Курск, 2019.
2. Тарасов, С. Г. Расчет сатураторов Текст. / С. Г. Тарасов // Известия вузов. Пищевая технология. 1998. - № 1. - С. 51-53.

*М.А. Новикова, ст. преп.; В.С. Паукова, маг.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ФИЛЬТРУЮЩИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ ЖИДКОСТЕЙ

Литературный обзор по теме исследования является обязательным элементом каждой научной работы. Обзор литературы позволяет подготовить теоретическую основу исследования, оценить развитие темы, обосновать выбор направления исследования и выявить новые технологические решения.

Цель работы: оценить уровень развития технологий в области фильтрации напитков.

Задачи работы:

- повести анализ патентов на фильтрующие установки;
- сделать вывод о уровне развития процесса фильтрации;
- дать оценку новой разработке для фильтрации напитков.

Фильтрация – один из важнейших этапов технологического процесса производства напитков.

В работе [1] было разработано устройство для фильтрации пищевых жидкостей, особенно молока. Изобретение имеет форму цилиндрического корпуса, на боковой стороне которого расположен входной патрубок для подачи жидкости. Выходной патрубок расположен в нижней части цилиндра. Большую часть внутренней поверхности цилиндра занимает фильтрующий материал. Устройство оснащено переходниками, позволяющими заменить фильтр в цилиндре. Фильтрующий материал представляет собой полимерный патрон. Особенность фильтра в том, что середина выполнена из пищевого полипропилена, с уменьшающимися в радиальном направлении от периферии к центру размерами пор, образующими радиальные диффузорные каналы. Такой фильтр будет иметь широкое применение в пищевой промышленности благодаря простой конструкции и легкости эксплуатации.

Авторами работы [2] была получена полезная модель, сущность которой состоит в очистке пищевых жидкостей с помощью металлических мембран. Устройство представляет собой герметичный цилиндрический корпус с штуцерами по периметру для входа и выхода жидкости. Внутри корпуса находится пакет мембранных дисков и средства регенерации пакета. Данный аппарат отличается от других тем, что металлокерамические мембраны изготовлены из пористой нержавеющей стали с внешним слоем из пленки оксидов пористой керамики, при этом размер пор керамического слоя составляет от 0,03 до 1 микрона. Таким образом, увеличена производительность процесса фильтрации жидкости.

Авторы работы [3] изобрели фильтр для очистки пищевых жидкостей от механических примесей. Фильтр представляет собой цилиндрическое устройство с коническим дном и крышкой. Аппарат имеет две секции, фильтрующий материал состоит из шариков оксида алюминия. При этом верхняя секция содержит засыпной материал высотой 80 – 100 мм и фракцией 1,5 – 2,5 мм, а нижняя секция содержит засыпной материал высотой в 1,5 – 2,0 раза больше верхней и фракцией 0,6 – 1,0 мм. Фильтрующая жидкость подается в верхнюю часть аппарата и фильтрат выходит из нижней части колонны. Данное изобретение повышает качество очистки жидкости путем двухступенчатой очистки.

В работе [4] был сконструирован фильтр-отстойник. Корпус состоит из двух цилиндрических камер, разделенных вертикальной перегородкой из фильтрующего материала. Нижние части камер представляют собой конусообразные части и являются шлам сборниками. Подводящие патрубки располагаются над фильтрующей перегородкой, в свою очередь выходные патрубки перпендикулярны перегородке. Данный аппарат увеличивает производительность процесса фильтрации и отличается простотой эксплуатации.

Работоповысила эффективность процесса фильтрации. Фильтр-загуститель – изобретение, которое представляет собой вертикальный корпус с трубами для ввода и вывода жидкости, ввода и вывода газа под давлением и выхода фильтрата. Корпус устройства содержит две вертикальные решетки, образующие рабочую камеру, внутри которой находится фильтрующий материал. Материал состоит из незакрепленных нитей и плавающих в суспензии гранул фильтрую-

щего материала. В данном оборудовании выполняется главная цель – повышение эффективности процесса разделения жидкости.

Другими авторами было сконструировано устройство для стерилизующей фильтрации напитков. Фильтр предназначен для очистки напитков, а также осветления соковой продукции и некоторых видов вин. Устройство представляет собой резервуар с подключённым к нему сжатым воздухом. Резервуар можно монтировать в одном из двух положений на подставке. Внутри корпуса резервуара под крышкой находится фильтрующий элемент, который представляет собой три стадии фильтрации. Первая ступень – пористый диск из нетканого материала, который способствует первичной очистке жидкости. На второй ступени располагается дисковая гидрофильная мембрана с размером пор от 0,2 мкм, такой процесс фильтрации называется стерилизацией. На последней стадии находится дренажный диск, предоставляющий собой нетканый материал. Такая конструкция фильтра способствует быстрой и качественной очистке жидкости, к тому же как перед фильтрацией, так и после есть возможность оценить стерилизующую способность мембраны.

В ране опубликованных работах сконструирована установка для фильтрации жидкости, в частности, воды. Данный аппарат легко использовать в сельском хозяйстве и на производстве. Аппарат представляет собой корпус, внутри которого находятся разделяющие перегородки. Внутри аппарата зернистая загрузка, по бокам выходные патрубки для готового продукта. Сущность процесса заключается в прохождении жидкости через фильтрующую загрузку в условиях гидродинамического равновесия. Как и в любом аппарате в данном фильтре есть недостатки, основной из которых – затрудненность получения равномерной и доброкачественной регенерации фильтрующей загрузки.

Рассмотрев множество возможных модернизаций в области безалкогольных напитков, можно сделать вывод о постоянном совершенствовании технологий. Для совершенствования процесса фильтрации напитков конструируется новое оборудование. Основная идея – получение аппарата двухступенчатой очистки. Фильтр представляет собой сосуд, разделенный на две секции – грубая и тонкая очистка жидкости. Для второй ступени очистки планируется конструирование перфорированной воронки, именно такой тип фильтрующего материала позволит увеличить площадь фильтрации. Материал воронки – нержавеющей сталь. Поверх детали накладывается дополнительный фильтрующий нетканый материал, подобранный ранее экспериментально.

Таким образом, на современном этапе развития технологии все больше изобретений для фильтрации напитков. Большое количество исследований в области фильтрации дает возможность увеличить теоретические знания и способствует разработке новых технических решений.

Литература

1. Салихов З.Г. Фильтр для разделения суспензий// Патент на изобретение RU 2035199 С1, 20.05.1995. Заявка № 4637259/26 от 28.12.1998.
2. Верхоломов Е.И., Ющенко С.В., Устройство фильтрации пищевых жидкостей, преимущественно молока // Патент на изобретение RU 53585 U1, 27.05.2006. Заявка № 2006100392/22 от 10.09.2012.

3. Сенявин А.Б., Новиков В.И. Мембранный аппарат с металлокерамическими фильтрующими элементами // Патент на изобретение RU 120015 U1, 18.10.2018. Заявка № 201114989/05 от 10.09.2012.

4. Паповянец А.К., Мартынов П.Н., Болтоев Ю.Д., Мельников В.П., Карлашова Н.В. Фильтрационный аппарат для очистки пищевых жидкостей, способ фильтрации пищевых жидкостей и фильтрующий элемент для пищевых жидкостей // Патент на изобретение RU 2054299 C1, 20.02.1996. Заявка № 5049429/13 от 25.06.1992.

*М.А. Новикова, ст. пр.; Д.С. Пляц, студ.;
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРОГРЕСС ИССЛЕДОВАНИЙ МЕМБРАННОГО БИОРЕАКТОРА В БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Промышленные сточные воды сегодня представляют серьезную экологическую угрозу. Обычные методы очистки не могут полностью удовлетворить потребности в очистке тяжелых органических загрязнений с высокой концентрацией. Поэтому исследование и разработка новых технологий стали актуальной задачей. Мембранный биореактор (МБР) является многообещающей технологией очистки таких стоков, обладающей высокой эффективностью и качеством очищенной воды [1]. В данной статье рассматриваются принципы работы, характеристики процесса, методы очистки различных типов промышленных сточных вод, а также анализируются проблемы, связанные с загрязнением мембран, и определяются тенденции будущего развития.

МБР, также известный как мембранный биореактор, представляет собой новую технологию очистки воды, объединяющую мембранный разделитель и биологическую очистку [2]. Этот процесс включает модуль мембранного разделения и биореактор. Основным принципом заключается в использовании активного ила в биореакторе для разложения биоразлагаемых органических веществ в сточных водах. Параллельно, аммиачный азот в сточных водах превращается в нитратный азот благодаря действию нитрифицирующих бактерий, а мембранный модуль обеспечивает эффективное разделение твердой и жидкой фаз.

Применение МБР при очистке органических промышленных сточных вод позволяет достигать хороших результатов, особенно для стоков с высокой концентрацией и тяжелыми загрязнителями. Эта технология широко используется в промышленности для очистки органических промышленных сточных вод.

Сточные воды с нефтехимических предприятий представляют собой сложную смесь, характеризующуюся большой изменчивостью в объеме и качестве, а также содержанием разнообразных загрязнителей, включая токсичные и опасные вещества, такие как нефть, сульфиды и летучие фенолы. Прямой выброс таких стоков может негативно повлиять на окружающую среду [8].

Исследователи, такие как Скрибский Д. А., проводили промышленные эксперименты с использованием мембранного биореактора (МБР) для очистки сточных вод с нефтеперерабатывающего завода [2]. При концентрации ХПК в диапазоне от 275,0 до 921,0 мг/л была достигнута степень удаления $[X_{ПК}C_{гв}]$ размере 98%. При концентрации NH_3-N в диапазоне от 8,2 до 72,1 мг/л степень удаления достигла более 99%. Когда концентрация масла в диапазоне от 10,1 до 87 мг/л, была достигнута эффективная очистка масла с удалением до 90%, и содержание масла уменьшилось до менее 5 мг/л, что соответствует национальным

стандартам выбросов первого класса. Этот процесс демонстрирует высокую эффективность при удалении ХПК, аммиачного азота, нефти и других загрязнителей, но существует ограничение в максимальной концентрации загрязнений. Превышение этого предела может привести к изменениям в микроорганизмах и ухудшению очистки.

Лихуа Линь и соавторы [3] исследовали очистку сточных вод нефтехимических предприятий в индустриальном парке провинции Цзянсу. Они достигли средних показателей удаления COD_{Cr} в размере 86,4%, БПК₅ - 97,6%, NH₃-N - 99%, TP - 68%, и класса нефти - 86,7%. Также они использовали гидролизный мембранный биореактор для очистки сточных вод с нефтяного месторождения в зоне "Золотого треугольника" Пекин-Тяньцзинь-Ганшань. Их эксперименты показали эффективное удаление загрязнений, таких как органические вещества, аммиачный азот и мутность, со степенью удаления, составившей 95,82%, 99,86%, 98,82%, 98,86% и 99,82% соответственно. Качество очищенных сточных вод соответствует национальным стандартам первого класса для комплексного сброса сточных вод (GB8978-1996).

Чертанов Е. Е. и коллеги [4] применили биореактор с погружной мембраной (MBR) для химической очистки сточных вод с производительностью 60 м³/ч. При входных концентрациях ХПК, NH₃-N и SS в размере 533, 182 и 86 мг/л соответственно, они достигли степени удаления в 94,6%, 95,6% и 93% соответственно. Очищенные стоки были прозрачными и стабильными, что позволяло их повторно использовать в системе циркуляционной охлаждающей воды.

Стоки от полиграфических и красильных производств имеют сложный состав, насыщенный цветом, сильнощелочные и содержат множество токсичных и вредных веществ, которые серьезно негативно влияют на окружающую среду. Для очистки стоков от производства бумаги, печати и красок был применен метод мембранного биореактора (MBR) в сравнении с традиционным методом активного ила и методом биологического контактного окисления. Результаты различных исследований показали, что применение MBR для очистки сточных вод от бумажного производства приводит к увеличению концентрации осадка, а содержание COD_{Cr} в сточных водах может быть снижено до уровня менее 100 мг/л (при времени гидравлического удержания в системе 18 часов), а общая скорость очистки в реакторе может быть повышена до 90%. Это говорит о высокой эффективности MBR в удалении загрязнителей из сточных вод бумажного производства.

Таким образом, использование MBR представляет собой перспективный метод для эффективной очистки сточных вод с высоким содержанием загрязнений, таких как стоки от полиграфических и красильных производств, и может способствовать снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Проблемы, возникающие при использовании MBR и пути их решения. Загрязнение мембраны относится к физико-химическому действию частиц, коллоидных частиц или молекул растворенных веществ в сточных водах с мембраной во время мембранной фильтрации или из-за концентрационной поляризации, вызывающей превышение растворимости некоторых растворенных ве-

ществ и механическое воздействие на поверхность мембраны. Адсорбция и осаждение на поверхности и в порах мембраны, что приводит к небольшому размеру пор или закупорке мембраны, что приводит к изменениям мембранного потока и характеристик разделения.

Единого заключения о механизме мембранного загрязнения не существует. В литературе принято считать, что коллоидные частицы, растворенные макромолекулы, микрочастицы и мембраны в жидком сырье оказывают различное воздействие (физическое, химическое, биохимическое или механическое), которые адсорбируются на поверхности мембраны в течение длительного времени или откладываются в порах мембраны, что приводит к образованию мембранной воды. Обычно считается, что загрязнение мембраны в основном делится на три части: концентрационная поляризация, загрязнение поверхности мембраны (образование и сжатие слоя фильтрационной корки), адсорбция и закупорка пор мембраны. Концентрационная поляризация увеличит концентрацию растворенного вещества на поверхности мембраны, вызывая увеличение осмотического давления, тем самым снижая динамику массопереноса; осажденный слой или слой геля, образующийся на поверхности мембраны, изменит характеристики разделения мембраны; сильная концентрационная поляризация приводит к кристаллизации, блокируя проход, ухудшая операцию. Материал частиц, размер которых меньше размера пор мембраны, адсорбируется в порах мембраны, а поры мембраны забиваются в разной степени из-за концентрации, кристаллизации, осаждения и роста или из-за концентрационной поляризации, так что растворимость некоторых растворенных веществ превышает их растворимость и механическое воздействие на поверхность мембраны. Мембрана производит изменение скорости потока и характеристик разделения, что приводит к загрязнению мембраны.

Изменение характера сырой воды может в разной степени замедлить загрязнение мембран, и исследователи в стране и за рубежом провели множество исследований. Сырая вода модифицируется путем добавления коагулянта, активированного угля, предварительного окисления, биологической предварительной очистки, ультразвуковой обработки и устройств очистки перед мембраной. Условиями эксплуатации, влияющими на засорение ультрафильтрационной мембраны, являются поток мембраны, цикл фильтрации, время обратной промывки и прочность. По мере увеличения времени фильтрации загрязняющие вещества в воде постепенно образуют более толстый слой глинистой корки на поверхности мембраны, и как только слой глинистой корки уплотнится, его будет трудно очистить. Загрязнение мембраны можно уменьшить путем добавления суспензионных носителей, сокращения цикла фильтрации, увеличения времени обратной промывки и увеличения силы обратной промывки.

В последние годы мембранные биореакторы для очистки органических промышленных сточных вод активно развиваются. Многие ученые как в России, так и за рубежом разработали инновационные методы применения технологии MBR для более эффективной обработки сточных вод с высокой концентрацией органических веществ.

Однако стоит отметить, что мембранные биореакторы все еще имеют ограничения в обработке сточных вод с высокой концентрацией органических веществ. Поэтому в будущем необходимо уделить внимание следующим аспектам:

- 1) Исследованию и разработке более доступных, высокоустойчивых и менее подверженных загрязнению новых материалов для мембран.
- 2) Созданию новых адаптированных процессов MBR для разнообразных типов промышленных сточных вод с различными требованиями к очистке.
- 3) Усилению исследований в области механизмов загрязнения мембран и поиску эффективных решений для их предотвращения.
- 4) Оптимизации технологии предварительной очистки промышленных сточных вод для достижения наивысшего качества очищенных сточных вод.

В заключении, применение мембранных биореакторов (MBR) в очистке органических промышленных сточных вод представляет собой перспективное направление, но существуют проблемы, связанные с загрязнением мембран и обработкой высококонцентрированных стоков. Для дальнейшего развития технологии необходимо исследовать новые материалы мембран, разрабатывать специализированные процессы MBR, изучать механизмы загрязнения мембран и оптимизировать предварительную очистку сточных вод. Эти меры позволят сделать очистку промышленных стоков более эффективной и экологически устойчивой.

Литература

1. Скрибский Д. А. Уникальные аспекты внедрения мембранных биореакторов в процесс очистки сточных вод / Научно-практический журнал «Экология». Ярославль, 2017. С. 68 -82.
2. Степанов А. С., Габидуллина Л. А., Степанов А. С., Дубов О. В. Биологическая очистка сточных вод нефтеперерабатывающего завода в биосорбционно-мембранном реакторе. Самара, 2015. С. 17=31
3. Lin, L.H. (2015) Application of MBR in advanced treatment of petrochemical industry wastewater. J. Journal of Xiamen University of Technology, 23: С.105-110.
4. Чертанов Е. Е..Характеристики метода обработки сточных вод в мембранных биореакторах // Коммунальное хозяйство. 2016. № 93.С. 44.

ВЛИЯНИЕ ОЗОНИРОВАНИЯ НА ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ХПК СТОЧНЫХ ВОД РЫБОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В Российской Федерации рыба является важным источником пищи, обеспечивая многие семьи свежими и качественными белками, витаминами и минералами. Чтобы обеспечить достаточный спрос на эти продукты питания для потребителей, сырье должно обрабатываться на предприятиях по переработке рыбы, которые в конечном итоге производят сточные воды в процессах дефростации, разделке и т.д. Сточные воды этой промышленности могут содержать огромное количество биоразлагаемых органических веществ и коллоидных веществ, таких как жиры, белки. Следовательно, сточные воды должны очищаться должным образом, чтобы обеспечить безопасность и устойчивость воды перед ее выбросом в окружающую среду. Однако небiorазлагаемые материалы и аммиачный азот из сточных вод рыбоперерабатывающей промышленности не могут быть полностью удалены с помощью обычного процесса биологической очистки воды. Это может привести к снижению биоразлагаемости и растворимости конечных сточных вод. Содержание органических веществ в сточных водах будет превышать эти стандартные пределы и существует риск попадания в водоемы, такие как реки, озера и моря. Это может привести к серьезным экологическим проблемам.

Озонирование – это новая технология очистки воды, которую можно использовать для окисления небiorазлагаемых материалов в сточных водах из-за их высокого окислительного потенциала. В водной среде озон уничтожает микроорганизмы и разлагает органические загрязнители посредством прямой реакции диссоциации озона или образования высокореактивных гидроксильных радикалов ОН. В частности, озонирование показало хорошую эффективность в разложении широкого спектра органических загрязнителей, включая пестициды, фармацевтические препараты и поверхностно-активные вещества. Следовательно, органические материалы с низкой степенью разложения будут превращаться под действием озона в побочный продукт с меньшим молекулярным размером, а также превращать аммиак в нитрат, который более биоразлагаем [1]. Однако предыдущие исследования по озонированию сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий не позволяют четко оценить и охарактеризовать трансформацию фракций сточных вод с химическим потреблением кислорода (ХПК) с точки зрения растворимости и биоразлагаемости. Следовательно, в этом исследовании будет оценено влияние озонирования на фракционирование ХПК сточных вод рыбоперерабатывающей промышленности. Фракционирование ХПК будет основано на биоразлагаемости и растворимости.

Образцы сточных вод, использованные в этом исследовании, представляют собой сточные воды, приготовленные в лабораторных условиях. Водородный показатель сточных вод доводили с помощью растворов 1 М NaOH или 1 М HCl до необходимых экспериментальных условий.

Процесс озонирования проводили в стеклянном реакторе полупериодического действия объемом 2 л. Кислородный баллон использовался для подачи газообразного O₂ с чистотой 99,8% в генератор озона. Озон генерировался в озонаторе со скоростью потока 300 мл/мин и поступал в нижнюю часть стеклянного реактора через стеклянный диффузор, в котором газ O₃ контактировал с компонентами сточных вод. Остаточный газ O₃ разлагался в растворе-ловушке KI.

Четыре пробы воды (I – IV) будут получены путем различных предварительных обработок, включая седиментацию, фильтрацию и обработку квасцами. Четыре пробы воды и их описания приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Четыре пробы воды (I – IV) и их описание

Образец I, «сточные воды».	Первичные сточные воды
Образец II, «отстоявшиеся сточные воды»	Надосадочная жидкость сточных вод, отстаивавшихся в течение 90 мин.
Образец III, «отстоявшиеся и отфильтрованные сточные воды»	Надосадочную жидкость от «отстоявшихся сточных вод» фильтруют с помощью фильтровальной бумаги с размером пор 0,45 мкм.
Образец IV, «флокулированные и фильтрованные»	Сточные воды флокулирует с 150 мг/л квасцов, рН нейтральный. После этого пробу перемешивают в баночном испытательном аппарате в течение 1 мин при высокой скорости 300 об/мин и 5 мин при медленном перемешивании при 30 об/мин, затем следует 1 час отстаивания. Надосадочную жидкость отбирают и фильтруют через фильтровальную бумагу с размером пор 0,45 мкм для получения «флокулированных и отфильтрованных сточных вод».

Различия в концентрации ХПК между этими пробами воды помогают рассчитать количество затвердевающих твердых веществ (C_{SS}), несхватываемых твердых веществ (C_{NS}), растворимых ХПК (C_S) и коллоидных ХПК (C_C). Далее использовалась матрица преобразования. С помощью матрицы преобразования фракции, упомянутые выше (C_{SS} , C_{NS} , C_S и C_C), были преобразованы во фракционирование ХПК, которые представляли собой растворимую биоразлагаемую ХПК (SS), биоразлагаемую ХПК в виде частиц (XS), растворимую небiorазлагаемую ХПК (SI) и твердые частицы, небiorазлагаемый ХПК (XI). Матрица преобразования используется, как показано ниже, для расчета процентных долей.

Уравнения для расчета всех фракций:

$$SS = 0.11 C_{SS} + 0.21 C_{NS} + 0.23 C_C + 0.92 C_S \pm 20 \quad (1)$$

$$XS = 0.17 C_{SS} + 0.37 C_{NS} + 0.59 C_C + 0 C_S \pm 10 \quad (2)$$

$$SI = 0 C_{SS} + 0 C_{NS} + 0 C_C + 0.08 C_S \pm 4 \quad (3)$$

$$XI = 0.72 C_{SS} + 0.42 C_{NS} + 0.18 C_C + 0 C_S \pm 44 \quad (4)$$

Таблица 2 – Различные ХПК

Различные ХПК	Фракция
Образец I «сточные воды» – Образец II «отстоявшиеся сточные воды»	C_{SS}
Образец II «отстоявшиеся сточные воды» – Образец III «отстоявшиеся и фильтрованные сточные воды»	C_{NS}
ХПК в образце IV «флокулированные и фильтрованные сточные воды» CS	C_c
ХПК в образце I «сточные воды»	C_s

Анализ химического потребления кислорода (ХПК) проводили калориметрическим методом. На рисунке 1 показано начальное процентное содержание ХПК в сточных водах рыбоперерабатывающей промышленности. Очевидно, что в пробе сточных вод преобладает небиоразлагаемое ХПК в виде твердых частиц (40%). За ним следуют растворимое биоразлагаемое ХПК (33%) и биоразлагаемое ХПК в виде твердых частиц (25%). С другой стороны, первоначальный процент растворимого небиоразлагаемого ХПК незначителен (2%). Эти результаты показывают, что сточные воды содержат более высокий процент биоразлагаемого ХПК (58%). Поскольку ХПК находится в твердом состоянии и ее можно отделить от сточных вод, небиоразлагаемую ХПК в виде частиц можно удалить из сточных вод с помощью технологии фильтрации, коагуляции или флокуляции. Однако ее также можно удалить путем биоразложения, когда биоразлагаемость этой фракции увеличивается. Ожидается, что обработка озонированием превратит как твердое, так и растворимое небиоразлагаемое ХПК в биоразлагаемые компоненты, которые можно легко удалить путем биоразложения.



Рисунок 1 – Первоначальное фракционирование ХПК пробы сточных вод.

На рисунке 1 изображена трансформация фракций ХПК промышленных сточных вод рыбоперерабатывающего производства после озонирования. При 5-минутном озонировании общий ХПК значительно снизился с 1400 до примерно 1000 мг/л. Замечено, что удаление ХПК может способствовать уменьшению растворимого биоразлагаемого ХПК, биоразлагаемых и твердых частиц ХПК. Кроме того, общая эффективность удаления ХПК лишь незначительно увеличивалась с увеличением продолжительности озонирования через 5 минут. За первые 5 минут озонирования произошло 30,37 % общего удаления ХПК; однако только 39,85 % ХПК удалялось после 25-минутного озонирования. Это может быть связано с тем, что озонирование в течение длительного времени

может привести к образованию компонентов, ингибирующих диссоциацию озона. Хотя эффективность удаления ХПК была достигнута самой высокой при времени озонирования 25 минут, тенденция удаления имеет тенденцию сохраняться и при более длительном времени озонирования. Однако необходимо учитывать эффективность и стоимость метода озонирования.

Среди четырех фракционирований ХПК растворимое небиоразлагаемое ХПК имело самую высокую эффективность удаления, которая составила 52,56% по сравнению с растворимым биоразлагаемым, биоразлагаемыми частицами и твердыми частицами с 47,39%, 44,26% и 30,43% соответственно. Сокращение растворимой биоразлагаемой фракции ХПК позволило предотвратить ее загрязнение окружающей среды.

С помощью техники озонирования крупномолекулярные, небиоразлагаемые органические материалы смогли расщепиться на низкомолекулярные. Метод озонирования также позволил улучшить обрабатываемость тугоплавких органических загрязнителей, не поддающихся биологическому разложению, а также преобразовывает небиоразлагаемые компоненты ХПК в биоразлагаемое ХПК.

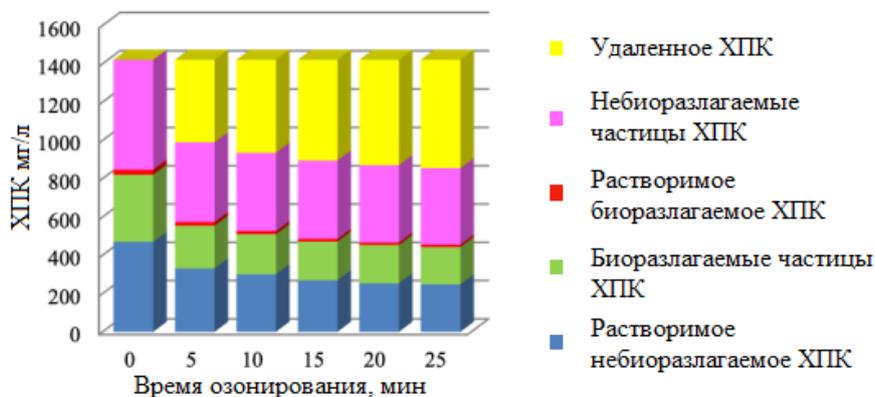


Рисунок 2 – Преобразование ХПК после озонирования.

Снижение концентрации твердых частиц ХПК после озонирования может быть связано с тем, что некоторые компоненты превратились в биоразлагаемые частицы. Теоретически, поскольку часть твердых частиц была преобразована в биоразлагаемые частицы, количество биоразлагаемых частиц должно быть увеличено. Однако результат эксперимента показал, что наблюдается снижение количества биоразлагаемых частиц, это связано с тем, что озонирование способно минерализовать биоразлагаемые вещества в сточных водах. Доказано, что озонирование минерализует простые органические загрязнители в углекислый газ (CO₂), воду (H₂O) и неорганические соли. Кроме того, в результате окисления биоразлагаемой ХПК образуются кислородсодержащие органические продукты, а также низкомолекулярные органические кислоты. Эти органические кислоты

внесли значительный вклад в образование ХПК, и они легко биоразлагаемы.

Озонирование позволило улучшить биоочистку сточных вод, содержащих небактериально разлагаемые органические вещества, которые токсичны для обычных микроорганизмов, но при этом не образуют опасных побочных продуктов. По этой причине озонирование снижает загрязнение воды, превращая небактериально разлагаемые загрязнители в биоразлагаемые вещества.

Затем растворимый биоразлагаемый компонент ХПК удалось удалить, следовательно, при проведении озонирования наблюдалось снижение растворимого биоразлагаемого ХПК. Это доказало, что метод озонирования способен минерализовать простую органическую, биоразлагаемую ХПК, а также разлагать коллоидные и сложные органические вещества до более простых органических, биоразлагаемых веществ. В заключение следует отметить, что биоразлагаемость сточных вод после обработки озонированием увеличивается.

Растворимость – это способность вещества смешиваться с жидкостью. При фракционировании биоразлагаемые частицы ХПК и твердые частицы биоразлагаемого ХПК имели низкую растворимость. Эффективность удаления составила 36,26 и 27,57% соответственно после 5-минутного озонирования. Причина удаления ХПК произошла из-за того, что небактериально разлагаемая ХПК трансформировалась в биоразлагаемую ХПК, а биоразлагаемая ХПК минерализовалась или распалась на мелкие вещества. Следующей возможной причиной было то, что твердые частицы ХПК, такие как коллоидные и взвешенные твердые вещества, могли окисляться и разлагаться до более мелких органических частиц, растворимых в сточных водах.

Считалось, что озонирование способно разложить ХПК в виде частиц до растворимого ХПК, а также небактериально разлагаемое ХПК до биоразлагаемого ХПК. Процессы осуществлялись одновременно. Однако небактериально разлагаемое ХПК в виде частиц не было основной проблемой при очистке сточных вод, поскольку их можно удалить с помощью процесса флокуляции и коагуляции, а также с помощью традиционной биологической очистки, такой как процесс очистки отходов с активным илом [2].

Данное исследование было проведено с целью изучения влияния озонирования на фракционирование ХПК сточных вод рыбоперерабатывающей промышленности. Фракционирование ХПК в сточных водах рыбопереработки показало, что небактериально разлагаемое ХПК преобладает по сравнению с другими фракциями. Однако сточные воды содержат более высокий процент биоразлагаемого ХПК. Ожидается, что обработка озонированием превратит как твердое, так и растворимое небактериально разлагаемое ХПК в биоразлагаемые компоненты, которые легко удаляются путем биоразложения. Удаление ХПК было значительным при продолжительности озонирования до 5 мин. Однако эффективность удаления ХПК увеличивалась лишь незначительно с увеличением продолжительности озонирования через 5 мин. Это может быть связано с тем, что озонирование в течение длительного времени может привести к образованию компонентов, ингибирующих диссоциацию озона.

Литература

1. . Алексеев, СЕ . Применение озонирования для интенсификации процессов очистки природных и сточных вод / Алексеев СЕ . // Первая Всероссийская конференция "Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технология" : матер, конф. - М.: Изд. ЧеРо-2014, "Книжный дом Университет", 2005. – С 179.-ISBN 5-887 И-229-8.

2. Разумовский С.Д. «Озон в процессах восстановления качества воды, ЖВХО им. Д.М. Менделеева». Химия окружающей среды, 2017, т. 35, 1, С. 77 - 88.

*Е.Л. Царегородцев, к.т.н., доц.; А.Н. Венедиктова, Е.А. Майорова, Д.А. Монархина, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОГО ОБОГРЕВА- ТРУБОПРОВОДА В ИНТЕРЕСАХ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОПЕ- РЕРАБОТКИ

Нефтегазовая промышленность часто сталкивается с необходимостью транспортировки газов и нефти на большие расстояния при низких температурах. Обогрев трубопроводов является важным аспектом передачи и хранения жидкостей и газов. Эффективный обогрев позволяет предотвратить замерзание продуктов, обеспечить стабильность работы системы и снизить расходы на обслуживание. Транспортировка и хранение жидкостей и газов чрезвычайно важны в современном обществе. Однако при работе с этими средами возникают различные технические проблемы, включая замерзание внутри трубопроводов[2]. Замерзшие продукты могут вызвать серьезные аварии и потери. Один из методов обогрева, который будет рассмотрен в данной статье— это индукционно-резистивный обогрев трубопровода.

Индукционно-резистивный обогрев трубопровода (иногда называемый также электромагнитным обогревом) является одним из методов поддержания оптимальной температуры в нефтегазовой отрасли. Преимуществом является то, что этот метод позволяет равномерно нагревать трубопровод по всей его длине, обеспечивая стабильную температуру продуктов транспортировки, также стоит отметить, что он сочетает в себе использование индукции и сопротивления, чтобы генерировать тепло в самом трубопроводе. Схема обогрева трубопровода представлена на рис. 1[3].

Индукционно-резистивный обогрев более эффективен с точки зрения энергопотребления, чем некоторые другие методы обогрева, также отсутствие нагревательных элементов внутри трубопровода уменьшает риск коррозии и механических повреждений [4].



Рисунок 1 –Схема обогрева трубопровода

Интерес вызывает научно-технические расчеты, оценки температурного режима различных составляющих технологического процесса (трубопроводов, оборудования и т.д.). Существует большое разнообразие специальных пакетных программ, позволяющих выполнить необходимые расчеты на вычислительных системах. Среди них особое место занимает – конечно-элементный пакет для инженерного моделирования «ELCUT». Программа используется, когда необходимо протестировать задачу, или экспериментально проверить, рассчитать.

Создание задачи начинается с построения геометрической модели. В дальнейшем пользователь задает свойства материала и граничные условия. Программа строит сетку конечных элементов, которую человек может адаптировать и задать определенные параметры, а после проанализировать полученный результат. Геометрическая модель может быть построена как в «ELCUT», так и импортирована из различных cad-систем.

Решая стационарную тепловую задачу в используемом пакете, можно проанализировать распределение температуры.

Проводник с переменным током помещён в стальную трубу. Ток течет в проводнике в одном направлении и возвращается по стальной трубе.

Выделяемое тепло используется для подогрева трубопровода с продуктом, всего используется три нагревателя. Средняя температура газа $+25^{\circ}\text{C}$. С учётом вышеперечисленного, модель распределения температуры по сечению трубы представлена на рис. 2.

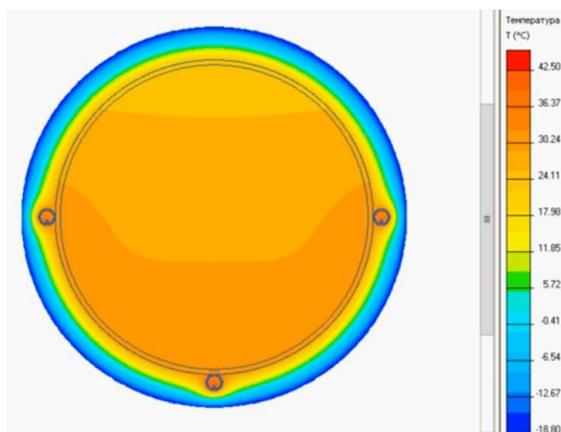


Рисунок 2 – Модель распределения температуры по сечению трубы

Теплоизоляция имеет теплопроводность (λ) = 0.05 (Вт/К·м), магнитную проницаемость (μ) = 1 (Гн/м); сталь имеет теплопроводность (λ) = 40 (Вт/К·м), магнитную проницаемость (μ) = 1000 (Гн/м), электропроводность (L) = $6 \cdot 10^6$ Ом⁻¹; медь имеет теплопроводность (λ) = 380 (Вт/К·м), магнитную проницаемость (μ) = 1 (Гн/м), электропроводность (L) = $56 \cdot 10^6$ Ом⁻¹; газ имеет теплопроводность (λ) = 1 (Вт/К·м), магнитную проницаемость (μ) = 1 (Гн/м); воздух имеет теплопроводность (λ) = 0.1 (Вт/К·м), коэффициент теплопередачи (α) = 23 (Вт/К·м²), температура воздуха (T) = -20°C; сила тока (I) = 100 А.

Температура на поверхности трубопровода снижается под действием температуры воздуха, а температура внутри трубопровода благодаря нагревательному элементу не снижается.

Таким образом, имеется возможность оценки распределения температуры как в конкретной точке, так и на поверхности.

График перепада температур в стенке трубы и теплоизоляции представлен на рис. 3.

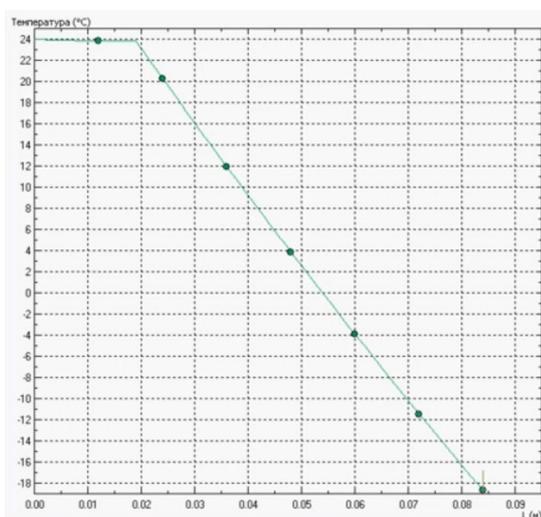


Рисунок 3 – График перепада температур стенки трубы и теплоизоляции

По данным графика, можно сделать вывод, что температура стальной стенки трубы равна 24 °С, а наружная температура теплоизоляции равна 18°С при температуре окружающего воздуха $T=-20$ °С.

Данный метод обогрева имеет множество преимуществ, но также имеет недостатки, он требует высокой начальной инвестиции в оборудование, и его эффективность зависит от различных факторов, таких как материал трубопровода, его диаметр, требуемая мощность и климатические условия [1].

Индукционно-резистивный обогрев трубопровода играет ключевую роль в обеспечении надежной и безопасной работы нефтегазовых систем транспортировки, особенно в условиях низких температур и агрессивных окружающих сред.

Литература

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Учебник для вузов. Изд. 3-е перераб. и доп. М.: «Энергия», 1975, 488 с.
2. Коршак А. А., Нечваль А. М. Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа: Учебное пособие. Уфа: «ДизайнПолиграфСервис», 2005, 516 с.
3. Система обогрева трубопроводов [Электронный ресурс]. – URL: https://elemagtpk.ru/product/skin_sistema_obogreva_truboprovodov-1125/, свободный. Загл. с экрана (Дата обращения: 26.06.2023).
4. Ступинский М.Л., Кувалдин А.Б. Индукционно-резистивная система обогрева трубопровода. // «Электрика», № 11, 2008. С. 21-24.

*Е.Л. Царегородцев, к.т.н., доц.; Е.А. Майорова, А.Н. Венедиктова, Д.А. Монархина студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ СТЕНОК РЕЗЕРВУАРАХРАНЕ- НИЯ ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ

Значение газа и нефти особенно велико в современном мире, ведь нефть и газ – это уникальные полезные ископаемые. Продукты их переработки применяются во многих отраслях промышленности, на всех видах транспорта, в строительстве, энергетике, а также в быту.

При исследовании и переработки нефти и газа широко используется метод перегонки под вакуумом. Данный метод заключается в получении фракции нефти, называемой вакуумным газойлем, при помощи перегонки мазута. Вакуумный газойль можно подвергать дальнейшей переработке, преобразуя в материалы для последующего использования в различных сферах, либо же использовать в качестве добавок [1].

Наиболее популярный метод переработки вакуумного газойля – гидрокрекинг. В последние годы этот процесс прочно вошел в технологию переработки нефти и продолжает развиваться. Гидрокрекинг вакуумного газойля необходимо осуществлять при определённых температурах и давлении.

Перед тем, как вакуумный газойль поступает в установку гидрокрекинга, его необходимо нагреть до $t = 380$ °С. Нагрев происходит в стальном резервуаре. Сталь, как один из наиболее распространенных материалов, используемых для резервуаров, обладает относительно высокой теплопроводностью что озна-

чает, что тепло передается через его стенки. Это приводит к потере тепла в окружающую среду [3].

Теплопотери – это тепло, бесцельно уходящее за пределы ёмкости. Плотность теплового потока – физическая величина, характеризующая интенсивность теплообмена между жидкостью и ёмкостью, в данном случае между вакуумным газойлем и стальным резервуаром. Тепловые потери в стальных резервуарах для вакуумного газойля – это важный аспект их проектирования и эксплуатации. Понимание механизмов и источников тепловых потерь позволяет разрабатывать эффективные методы снижения этих потерь, что может сэкономить ресурсы и улучшить эффективность производственных процессов в нефтегазовой промышленности [2].

ELCUT – конечно-элементный пакет для инженерного моделирования, был реализован как простой и универсальный инструмент для расчетов. Программа используется, когда необходимо протестировать конкретную задачу, также экспериментально проверить, рассчитать либо модернизировать.

Создание задачи начинается с построения геометрической модели, далее пользователь задает свойства материала и граничные условия. Программа строит сетку конечных элементов, которую пользователь может адаптировать и задать некоторые параметры, но в целом построение идёт автоматически и последним шагом является анализ результатов. Геометрическая модель может быть построена как в ELCUT, так и импортирована из различных cad систем.

Результаты расчета можно просматривать в различных формах представления: линии поля, цветные карты, графики различных величин вдоль произвольных контуров и пр. Можно вычислять различные интегральные величины на заданных пользователем линиях, поверхностях или объемах. Постпроцессор обеспечивает вывод таблиц и рисунков в файлы для дальнейшей обработки.

Решая стационарную тепловую задачу в данной программе, можно проанализировать плотность теплового потока, рассчитать теплопотери.

На рис. 1 представлены необходимые данные для дальнейшего моделирования и расчёта теплопотерь.

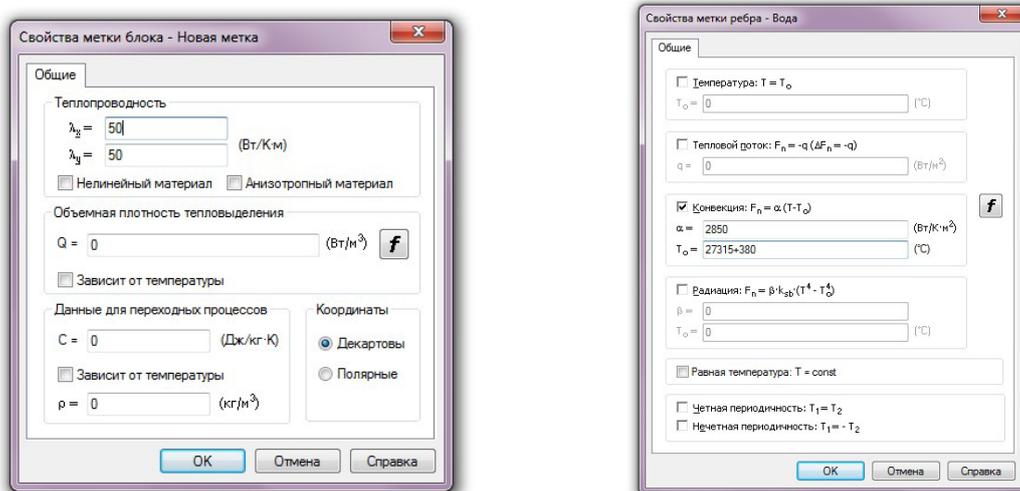


Рисунок 1 – Фрагмент листинга ввода исходных данных для моделирования

С учётом вышеперечисленного, результаты моделирования теплотерь участка стенки резервуара показаны на рис. 2.

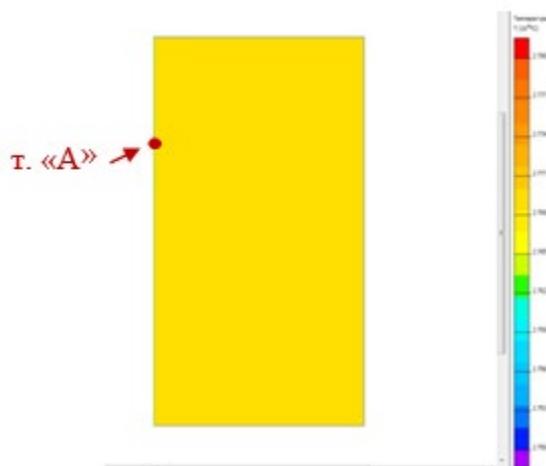


Рисунок 2 – Результаты моделирования для участка стенки резервуара

Температура вакуумного газойля $t_1 = 380$ °С. Температура охлаждающего воздуха $t_2 = 15$ °С. Коэффициент конвекции стенка-воздух $\alpha = 10$ (Вт/м² °С). Теплопроводность стенки $\lambda = 50$ (Вт/ К·м). Точка «А» – контрольная точка оценки параметров стенки резервуара хранения вакуумного газойля.

Расчетные данные контрольной точки «А» стенки резервуара представлены на рисунке 3.

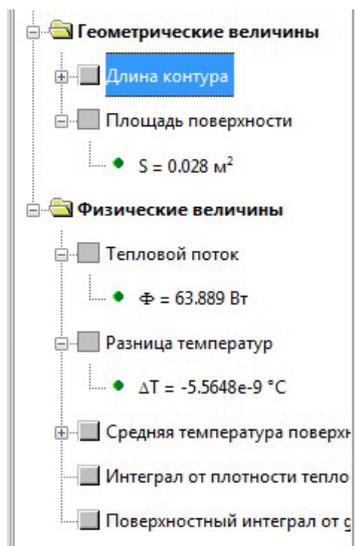


Рисунок 3 – Полученные данные

Таким образом, имеется возможность анализа потерь теплового потока и расчета температур поверхности стенки резервуара. Для выделенного участка стенки средняя плотность теплового потока определяется как отношение потока к площади. Тепловой поток (63,889 Вт), площадь поверхности (0,028 м²), следовательно плотность теплового потока (теплотери) равна 2281 Вт. Распределение температуры в стенке равно 1100°С. Таким образом, создавая моде-

ли в данном конечно-элементном пакете, можно проектировать резервуар для вакуумного газойля с наилучшими характеристиками, а именно изменять условия и получать необходимую плотность теплового потока.

Так как толщина стенок резервуара играет важную роль, можно сделать вывод: чтобы уменьшить теплопотери, необходимо увеличить толщину стен, так как они имеют наименьшую теплопроводность. Размер и форма резервуара также влияют на тепловые потери. Большие резервуары имеют более высокую поверхность, через которую происходит потеря тепла.

Разница в температуре между содержимым резервуара и окружающей средой также влияет на тепловые потери. Чем больше температурный градиент, тем больше потери. Поэтому контроль температурных условий вокруг резервуара может помочь снизить потери.

Ну и, конечно же, выбор правильных изоляционных материалов с высокой способностью снижения тепловых потерь может существенно улучшить эффективность резервуара. Это может включать в себя использование пенопласта, минеральной ваты и других современных изоляционных материалов.

Тепловые потери в стальных резервуарах для вакуумного газойля играют важную роль в эффективности и экономичности этих систем. Понимание основных факторов, влияющих на тепловые потери, и разработка методов их снижения имеют стратегическое значение для промышленных предприятий. Уровень вакуума, толщина стенок, теплопроводность материала, температурный градиент и изоляция – все эти аспекты должны учитываться при разработке и эксплуатации резервуаров.

Эффективное управление тепловыми потерями в стальных резервуарах для вакуумного газойля требует комплексного подхода, учитывающего различные факторы, влияющие на эти потери. Дальнейшие исследования и инновации в области материалов и технологий могут помочь снизить тепловые потери и сделать хранение и транспортировку вакуумного газойля более эффективными и экологически безопасными.

Литература

1. Каминский Э.Ф. Глубокая переработка нефти/ Э.Ф. Каминский. – М.: Техника, 2001. – 384 с
2. Магарил Р.З. Теоретические основы химических процессов переработки нефти: Учебное пособие для вузов/ Р.З. Магарил. – Л.: Химия, 1985. – 280 с.
3. Смиридович Е.В. Технология переработки нефти и газа. Крекингнефтяного сырья и переработка углеводородных газов/ Е.В. Смиридович. – 3-е изд., пер и доп. – М.: Химия, 1980. – 328 с.

*Е.Л. Царегородцев, к.т.н., доц.; Д.А. Монархина, Е.А. Майорова, А.Н. Венедиктова студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОЧИСТКА ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА МЕТОДОМ ОБЖИГА В ПЕЧИ

В последние годы, проблемы экологии становятся все более актуальными в связи с быстрым ростом населения и расширением промышленности. Экономический рост и увеличение потребительского спроса приводят к увеличению

производства и потребления товаров и услуг, что в свою очередь приводит к увеличению выбросов и использованию природных ресурсов.

Одна из главных проблем связана с загрязнением окружающей среды, включая воздух, воду и почву. Эмиссии выбросов из автомобилей, промышленных предприятий и энергетических установок являются основными источниками загрязнения воздуха. Водные ресурсы страдают от промышленного и сельского стока, что приводит к ухудшению качества воды и уничтожению экосистем. Опустынивание и вырубка лесов также оказывают негативное влияние на биоразнообразие и климат[1].

Однако существуют способы решения этих проблем. Они включают в себя рациональное использование природных ресурсов, переход на чистые источники энергии, сокращение выбросов в атмосферу и воду, внедрение эффективных методов утилизации и переработки отходов, сохранение экосистем и охрану природы, а также принятие мер для снижения потребления и повышения осознанности охраны окружающей среды.

Для минимизации негативного воздействия на экологию необходимо провести тщательный анализ различных отраслей промышленности, разработать и внедрить новые экологически безопасные технологии с последующим использованием их в производстве.

По мнению ученых, нефть и газ останутся главными источниками энергоресурсов в мире. Это связано с несколькими факторами, включая наличие значительных запасов углеводородного сырья и развитие технологий для его добычи и использования.

Природный газ имеет ряд преимуществ, которые способствуют его увеличению доли в топливно-энергетическом балансе. Он является относительно чистым топливом с низкими выбросами парниковых газов и других загрязнений. Более того, газ имеет разнообразные применения, включая использование в бытовых, коммерческих и промышленных целях, а также его использование в качестве сырья для производства химических и пластиковых материалов.

Однако, необходимо учитывать, что использование нефти и газа также сопряжено с проблемами, такими как выбросы парниковых газов и зависимость от источников энергии. Важно продолжать развивать и совершенствовать технологии, направленные на более эффективное использование этих ресурсов и искать альтернативные источники энергии для устойчивого развития и более экологически чистого будущего[2].

Большое количество газов в составе содержат сероводород, который является нежелательной примесью. Газы проходят специальную очистку, в результате чего получается сероводородный газ, а затем его используют для получения серной кислоты.

Выбор способа очистки газа зависит от многих факторов, в том числе от требований и условий процесса, а также цены на материалы и технологии.

Наиболее экономичным способом очистки газа от сероводорода является сжигание сероводорода в печи. Этот метод имеет наилучшие показатели по

вложениям капитала и стоимости переработки, а также позволяет использовать как высокие, так и низкие концентрации сероводородсодержащего газа.

Серная кислота имеет огромную ценность как в производстве, так и в народном хозяйстве. Сероводород же является отходом многих производств.

Тепловое напряжение печи указывает на количество тепла, которое может быть выделено в единицу времени. Печь может выделять от 150 000 до 200 000 килокалорий тепла в час на каждый кубический метр объема печи.

Такая печь представляет собой стальной цилиндрический котел, футерованный огнеупорным кирпичом и снабженный колосниковой насадкой из огнеупорного глиняного кирпича. Данная насадка обеспечивает равномерное распределение газа в топке и эффективное сжигание сероводорода [3].

Сероводородный газ поступает в верхнюю часть печи через горелку, смешивается с воздухом и сгорает в печи в виде пламени. Образующийся в результате сгорания сероводорода газ отводится из нижней части печи по газопроводу. Для предотвращения возможных взрывов и аварий при сгорании сероводорода газопровод также оснащен предохранительным взрывным клапаном.

Устройство топки для сжигания сероводорода представлено на рис. 1.

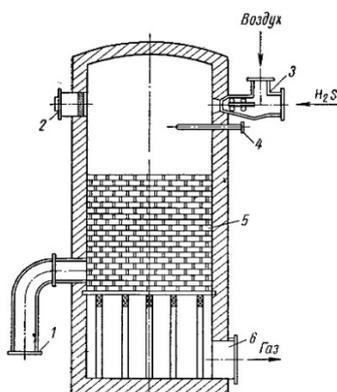


Рисунок 1 –Топка для сжигания сероводорода

1 – взрывобезопасный клапан; 2 – люк для осмотра печи при остановках; 3 – горелка для сжигания сероводорода; 4 – карман для термомпары; 5 – шамотная насадка; 6 – выход газа.

Можно сделать вывод, что топка для сжигания сероводорода обеспечивает безопасное и эффективное сжигание газа с выделением значительного количества тепла.

Температура газа, образующегося после сжигания сероводорода, может быть рассчитана по следующей формуле:

$$t_r = \frac{t_c + \delta t_b + 167a}{1 + \delta - \frac{a}{200}},$$

где t_c и t_b – температура сероводородного газа и воздуха, С;

a – содержание H_2S в сероводородном газе, %;

δ - коэффициент выражающий объем воздуха.

После сжигания в печи газ проходит через фильтр для удаления сажи, металлов, образовавшихся при сжигании сероводородсодержащих газов или отработанной серной кислоты и поступает в контактный аппарат, где в присутствии ванадиевого катализатора окисляется до оксида серы.

Представленный способ оценки температуры газа после печи может быть интересен для специалистов, занимающихся проектированием эффективного оборудования нефтегазопереработки. Именно температура газа после сжигания сероводорода в печи является важнейшим параметром для целесообразности его использования в дальнейшем технологическом процессе.

Далее сернистый газ проходит через блок охлаждения, WSA-конденсатор, где происходит превращение пара серной кислот в жидкий продукт H_2SO_4 .

Таким образом очистка газа от сероводорода методом сжигания является самым простым и бюджетным вариантом утилизации вредоносных газов, которые пагубно влияют на окружающую среду и человечество, в целом.

Литература

1. Челноков А.А. Основы промышленной экологии. - М.: Высш.шк, 2001. - 343с
2. Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. - Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1981. - 382 с.,
3. Пышнограева И.С. Справочник химика - М.: ТКО АСТ, 1999. - 480 с.

*Е.Л. Царегородцев, к.т.н., доц.; Е.А. Майорова, А.Н. Венедиктова, Д.А. Монархина студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОМЕРЗАЮЩИХ И ПРОСТАИВАЮЩИХ ГРУНТОВ НА ПОДЗЕМНЫЙ ТРУБОПРОВОД

Проблема прокладки трубопроводов в условиях вечной мерзлоты всегда являлась актуальной. На прокладку и эксплуатацию трубопровода влияет множество факторов, но самым главным из них является температурный режим. С помощью конечно-элементного пакета «ELCUT» можно решить нестационарную тепловую задачу, построив модель со всеми необходимыми параметрами, и проанализировать изменение температуры во времени, глубину промерзания грунта и многие другие факторы.

Подземные трубопроводы – это неотъемлемая часть современной инфраструктуры, которая широко используется для транспортировки нефти и газа, воды и других жидкостей, а также тепла и холода. Трубопроводы применяются на любом производстве нефтегазопереработки, например, при гидрокрекинге вакуумного газойля, при очистке природного газа и на производстве получения серной кислоты. Зачастую такие трубопроводы находятся в постоянном контакте с окружающей средой, что может приводить к различным проблемам, таким как коррозия, трещины и нарушение герметичности труб. Одним из основных факторов, влияющих на работу подземных трубопроводов, является температура грунта [1].

Промерзающими называют грунты, если они имеют отрицательную или нулевую температуру, происходит это при понижении температуры, когда вода

в грунте замерзает и образует ледяную прослойку. Как результат – это смещение и деформация трубопровода, что в свою очередь приводит к нарушению его целостности и потере проходимости.

К простаивающим относятся грунты, которые долгое время находятся на поверхности, что вызывает провалы и оседание, а в следствие деформацию и смещение трубопровода. Простаивание грунта происходит при повышении температуры, когда вода в грунте испаряется и теряется часть его связующих свойств, что приводит к замораживанию жидкостей внутри трубопровода. Вечномерзлыми являются грунты, которые находятся в мерзлом состоянии более 3-х лет [2].

При проектировании и прокладывании трубопровода в вечномерзлых грунтах важен комплексный подход, при котором будут учитываться такие важнейшие факторы как: грунт, а именно его структура, методы строительства, температурные характеристики грунта и окружающей среды, толщина сезонно-оттаивающих и сезоннопромерзающих слоев грунта. Необходимо уделять особое внимание выбору соответствующих материалов и методов защиты от низких температур и промерзания [3].

Сооружение газопровода на территориях, где распространена вечная мерзлота, происходит в период, когда грунт находится в мерзлом состоянии. Связано это с тем, чтобы не создавать цементационных связей между трубой и мерзлым грунтом.

С целью предотвращения этих негативных последствий и обеспечения надежной работы трубопроводов используются различные методы инженерных решений. Они включают в себя использование теплоизоляционных материалов, установку системы обогрева трубопровода, использование зданий в качестве источника тепла и многое другое.

Именно поэтому температурный анализ (распределение температуры и температурного градиента, распределение теплового потока) играет важную роль при проектировании и прокладки подземных трубопроводов. Как правило,

ELCUT – конечно-элементный пакет для инженерного моделирования, который реализован как простой и универсальный инструмент для расчетов. Программа используется, когда необходимо протестировать конкретную задачу, также экспериментально проверить, рассчитать либо модернизировать.

Создание задачи:

1. Построение геометрической модели;
2. Задание свойств материала и граничных условия;
3. Построение сетки конечных элементов (пользователь может адаптировать и задать некоторые параметры);
4. Анализ результатов.

Геометрическая модель может быть построена как в ELCUT, так и импортирована из различных cad систем.

Решая нестационарную тепловую задачу в программе ELCUT можно провести температурный анализ во времени, рассчитать максимальную глубину промерзания грунта, выполнить линейный и нелинейный температурный ана-

лиз в двумерной и трехмерной постановках. Формулировка задачи основывается на двух уравнениях:

1. Теплопроводность с граничными условиями радиационного теплообмена.

2. Теплопроводность с граничными условиями конвективного теплообмена.

С учётом вышеперечисленного, модель распределения температуры грунта по глубине для различных фаз годового цикла представлена на рис. 1.

Теплопроводность (λ) и удельная теплоемкость грунта равна $1,7 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}$ и $1200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ соответственно. Плотность грунта (ρ) 1900 кг/м^3 . Климатические условия: температура наружного воздуха г. Якутск республики Саха Якутия. Средняя годовая температура $-9,8^\circ\text{C}$. Изменения происходят в течение годового цикла. Температура на глубине грунта меняется вследствие изменения температур на поверхности.

Таким образом, оценить распределения температурного поля в конкретной точке, можно не только на поверхности грунта, но и в глубине.

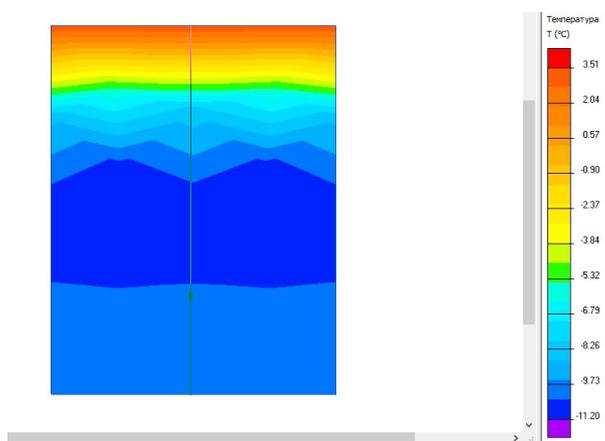


Рисунок 1 – Модель распределения температуры грунта по глубине для различных фаз годового цикла

График зависимости глубины промерзания грунта от времени изображен на рис. 2.

По данным графика, можно сделать вывод, что максимальная температура промерзания грунта равна -23°C . Такая температура достигается через 12/24 года, считая от самого жаркого месяца.

Расчет утепления фундаментов мелкого заложения – одна из практических задач, которую можно решить с помощью нестационарной теплопередачи в программном обеспечении ELCUT.

Нижний уровень фундамента на пучинистых грунтах должен быть глубже уровня промерзания. Поэтому при укладке фундаментов мелкого заложения его необходимо утеплять.

Программа ELCUT даёт возможность провести температурный анализ и выбрать наиболее оптимальный вариант конструкции на любом нефтеперерабатывающем предприятии. Таким образом, понимание влияние температуры грунта на работу подземных трубопроводов является очень важным фактором для обеспечения их стабильной и безопасной работы. Меры безопасности

крайне важны на любом НПЗ и ГПЗ. Единственное правильное решение проблем, связанных с температурой, может гарантировать надежную работу трубопроводов в любых климатических условиях.

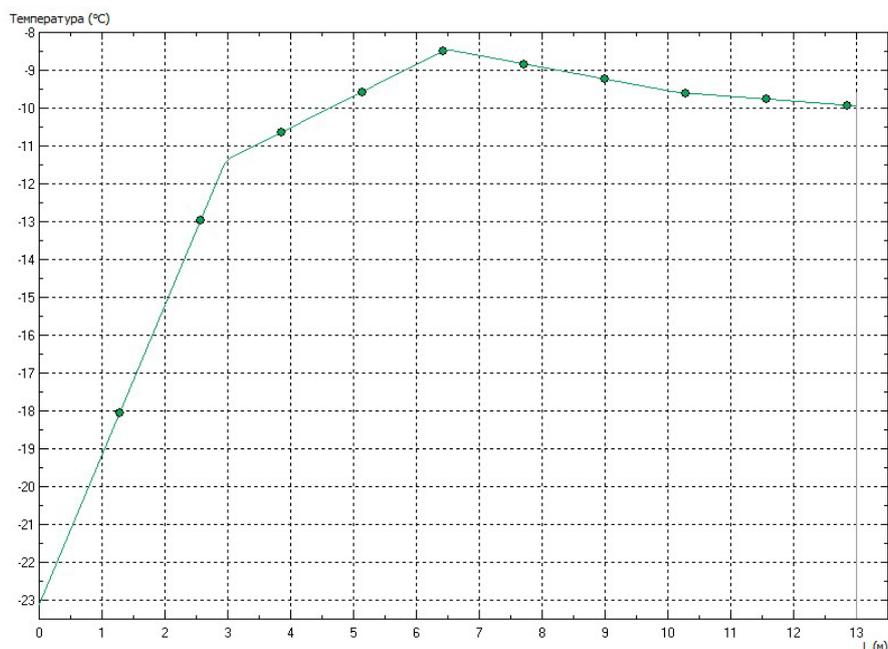


Рисунок 2 – График зависимости глубины промерзания грунта от времени

Литература

1. Лисин, Ю. В. Создание системы координатно-временного обеспечения магистральных нефтепроводов / Ю. В. Лисин // Известия вузов. Сер.: Машиностроение. – 2013. – № 2 – С. 46.
2. Бородавкин П. П. Подземные магистральные трубопроводы. Проектирование в строительстве / П. П. Бородавкин. – М. : Недра. – 1982. – 183 с.
3. Идрисова Я.Р. Методические основы определения напряженно-деформированного состояния трубопроводов на участках многолетнемерзлых грунтов / Я.Р. Идрисова, А.К. Гумеров А, Р.Х. Идрисов // М.: Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2010. – №12.– С. 34.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 5 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ОПТОТЕХНИКА

1. *Амелин С.А., Петрова Ю.С. УСТРОЙСТВО КОММУТАЦИИ НАГРУЗКИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С БЕСПРОВОДНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ* 3
2. *Амелин С.А., Петрова Ю.С. МЕТОДЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ В ПЛИС* 6
3. *Амелин С.А., Петрова Ю.С. АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ПОДСВЕТКИ ЛЕСТНИЦЫ НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНЫХ АДРЕСНЫХ ЛЕНТ* 8
4. *Амелин С.А., Демидкина Л.К. МОДЕЛЬ СЕКЦИОНИРОВАННОГО ДРАЙВЕРА СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП* 11
5. *Амелин С.А., Демидкина Л.К. ДРАЙВЕРЫ СВЕТОДИОДОВ ДЛЯ БЫТОВЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ* 15
6. *Амелин С.А., Чулков А.И. МЕТОДЫ ОСУШЕНИЯ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ* 20
7. *Астахов С.П., Романов Д.Д. БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА* 23
8. *Астахов С.П., Саленков В.Ю., Трошко Д.А. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА КЛИМАТКОНТРОЛЯ ТЕПЛИЦЫ* 26
9. *Бобков В.И., Якименко Ю.И. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В ДИАПАЗОНЕ 7,5–14 МКМ* 30
10. *Дроздецкий С.В., Трояновская Т.В. ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДСВЕТКИ СТУПЕНЕЙ ЛЕСТНИЦЫ* 37
11. *Жбанова В.Л., Антипова Ю.Д. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ШУМОВ ЦИФРОВОЙ ФОТОКАМЕРЫ* 42
12. *Жбанова В.Л., Гафуров В.Р., Бурькин Е.А. ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕТОДИОДА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИБОРА* 45
13. *Жбанова В.Л., Гафуров В.Р. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ШУМОВ МАТРИЧНЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ СОВРЕМЕННЫХ СМАРТФОНОВ* 47
14. *Жбанова В.Л., Дерябина А.О. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОСКАНИРОВАНИЯ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ* 51
15. *Жбанова В.Л., Дерябина А.О. ПРИМЕНЕНИЕ НОВЕЙШИХ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ СОВМЕСТНО С ТЕХНОЛОГИЕЙ МИКРОСКАНИРОВАНИЯ* 55
16. *Жбанова В.Л., Корогодова Я.В. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ЦВЕТА ЦИФРОВЫМ МИКРОСКОПОМ* 59

17.	<i>Жбанова В.Л., Никитин И.В. РАСЧЕТ КОЛЛИМАЦИОННОГО ОБЪЕКТИВА ЛАЗЕРНОГО КАНАЛА СПЕКТРОМЕТРА</i>	63
18.	<i>Жбанова В.Л., Никитин И.В. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ АБЕРРАЦИЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СПЕКТРОМЕТРА</i>	67
19.	<i>Зинченко К.А., Павловская В.А. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ НЕПРЕРЫВНОГО ТОКА</i>	70
20.	<i>Зинченко К.А., Павловская В.А. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ</i>	74
21.	<i>Зинченко К.А., Павловская В.А. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ</i>	79
22.	<i>Краснинский К.А., Полозов Д.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОТВЕТСВИЯ МАКЕТОВ ОСНАСТОК С МОДЕЛЯМИ В САПР ДЛЯ ЛУЧШЕГО ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОСКОВЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ</i>	83
23.	<i>Кусова Д.А., Смолин В.А. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПРОЕКЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ</i>	86
24.	<i>Мальшикин В.В., Панасов Д.А., Радаев К.Н. МНОГОХОДОВАЯ ЗЕРКАЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ КЮВЕТА</i>	90
25.	<i>Найденов В.А. ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИКА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ТОНКОЙ РАССЕЙВАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ</i>	93
26.	<i>Образцов С.А., Ахмедов А.А. ЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ SOC ZYNQ</i>	97
27.	<i>Рассказа Д.С., Ковжаров Е.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЛЕРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С WEB-ИНТЕРФЕЙСОМ</i>	99
28.	<i>Рассказа Д.С., Прудников А.В. РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ЛИТИЙ-ПОЛИМЕРНОГО АККУМУЛЯТОРА</i>	102
29.	<i>Рассказа Д.С., Якушов Н.С. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ</i>	105
30.	<i>Смолин В.А., Щетина А.С. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА КОПИЛКИ С ЭЛЕКТРОННЫМ СЧЁТЧИКОМ НАКОПЛЕННЫХ МОНЕТ</i>	108
31.	<i>Смолин В.А., Бугрова А.А. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРМУШКИ ДЛЯ ЖИВОТНЫХ</i>	112
32.	<i>Смолин В.А., Ковалева М.С. РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО УСТРОЙСТВА НА ЛОГИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТАХ</i>	115
33.	<i>Строев Н.Н., Черкасова Е.А. ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ СЕГМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ</i>	120
34.	<i>Строев Н.Н., Астахова Т.С. РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ОЗОНАТОРА ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ</i>	123

35. Строев Н.Н., Петрова А.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАТЕНТОВ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ, ИЗМЕРЯЮЩИЕ СКОРОСТЬ ПОТОКА ЖИДКОСТИ 128
36. Строев Н.Н., Петрова А.О. ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕРМИЧЕСКОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ВРЕМЕНИ ПЕРЕГРЕВА 131
37. Строев Н.Н., Сапроненкова Е.А. ОРГАНИЗАЦИЯ ФАКУЛЬТАТИВНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПРОФИЛЯ «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА» С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ РЕСУРСОВ БАЗОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 135
38. Строев Н.Н. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 138
39. Якименко И.В., Астахова Т.С. ВАРИАНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ИНДИКАЦИИ НАЗЕМНОГО ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА 142
40. Якименко И.В., Афанасьев Д.А. ПРОБЛЕМАТИКА УЛУЧШЕНИЯ СКРЫТНОСТИ РАДИОЛИНИИ СКОРОСТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ 146
41. Якименко И.В., Кичулкин Д.А. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕЙ СОЗДАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ 149
42. Якименко И.В., Лямец А.Л., Лямец Л.Л. СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ АНАЛОГОВОГО ПРОТОТИПА 153
43. Якименко И.В., Поляков Р.В. КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ БВС 156
44. Якименко И.В., Сулимский Е.С. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНОГО ПРОХОДНОГО СКАНЕРА ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА ИНСПЕКЦИОННО-ДОСМОТРОВОГО КОМПЛЕКСА 159
45. Конаков А.Н., Марина А.В. СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ «БЕЗОПАСНЫЙ ГОРОД» 164
46. Новиков П.Б., Астахов С.П. МЕТОДЫ УЧЁТА ТРЕБОВАНИЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА 168
47. Солдатенков С.И., Астахов С.П. НАЗЕМНЫЕ КАНАЛЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ БВС 171

СЕКЦИЯ 6
ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1.	<i>Амелина М.А., Мачулин И.Э. ОБЗОР ПРИНЦИПОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ</i>	175
2.	<i>Астахов С.П., Новиков П.Б. РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА УСАДКИ МАТЕРИАЛА ПРИ 3D-ПЕЧАТИ</i>	177
3.	<i>Борисов А.В., Тищенко Н.М. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕШЛАМОВ</i>	180
4.	<i>Кончина Л.В., Бурькин Е.А. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ НА МОЛЕКУЛЯРНО–МАССОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ</i>	183
5.	<i>Короткова Г.В., Нагапетян А.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВОВ РАЗЛИЧНЫХ СОКОВ</i>	186
6.	<i>Короткова Г.В., Боханов А.Д. ПРОИЗВОДСТВО БИОГАЗА, КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ</i>	189
7.	<i>Короткова Г.В., Клименкова В.Н. СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ МИЦЕЛЛИЯ MEDUSOMYCESGISEVII LINDAU</i>	192
8.	<i>Короткова Г.В., Любенкова А.О. ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ВЫПЕЧКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЛИНОВ</i>	195
9.	<i>Короткова Г.В., Сидорук Т.И. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА</i>	197
10.	<i>Короткова Г.В., Терехов А.С. МОРОЖЕНОЕ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ</i>	200
11.	<i>Короткова Г.В., Черненкова А.А. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ МАРМЕЛАДА В КОНДИТЕРСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ</i>	202
12.	<i>Короткова Г.В., Черненкова А.А. ВЛИЯНИЕ ПЕКТИНА НА АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА МАРМЕЛАДА</i>	205
13.	<i>Маслова К.С., Клименкова В.Н. ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ</i>	208
14.	<i>Миронычева О.И., Бурькин Е.А., ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ СИЛАНОВЫМ СОЕДИНИТЕЛЕМ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОНА</i>	211
15.	<i>Миронычева О.И., Шапура Д.Р. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА ЗАВАРНЫХ И СЫРЦОВЫХ ПРЯНИКОВ</i>	213
16.	<i>Новикова М.А., Паукова В.С. КОНСТРУИРОВАНИЕ САТУРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАСЫЩЕНИЯ НАПИТКА НА ОСНОВЕ МАТЧА УГЛЕКИСЛОТОЙ</i>	216
17.	<i>Новикова М.А., Паукова В.С. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ФИЛЬТРУЮЩИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ ЖИДКОСТЕЙ</i>	219
18.	<i>Новикова М.А., Пляц Д.С. ПРОГРЕСС ИССЛЕДОВАНИЙ МЕМБРАННОГО БИОРЕАКТОРА В БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД</i>	222

19. Новикова М.А., Пляц Д.С. ВЛИЯНИЕ ОЗОНИРОВАНИЯ НА ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ХПК СТОЧНЫХ ВОД РЫБОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 226
20. Царегородцев Е.Л., Венедиктова А.Н., Майорова Е.А., Монархина Д.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОГО ОБОГРЕВА ТРУБОПРОВОДА В ИНТЕРЕСАХ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКИ 231
21. Царегородцев Е.Л., Майорова Е.А., Венедиктова А.Н., Монархина Д.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ СТЕНОК РЕЗЕРВУАРА ХРАНЕНИЯ ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ 234
22. Царегородцев Е.Л., Монархина Д.А., Майорова Е.А., Венедиктова А.Н. ОЧИСТКА ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА МЕТОДОМ ОБЖИГА В ПЕЧИ 237
23. Царегородцев Е.Л., Майорова Е.А., Венедиктова А.Н., Монархина Д.А. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОМЕРЗАЮЩИХ И ПРОСТАИВАЮЩИХ ГРУНТОВ НА ПОДЗЕМНЫЙ ТРУБОПРОВОД 240

Научное издание

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2023
(микроэлектроника и оптотехника, технологии и оборудование в промышленности)
Сб. трудов XIII Межд. науч.-техн. конф.
Сборник трудов в 3-х томах
Том 2

Подписано в печать 16.11.2023 г.
Формат 60x84^{1/16} . Тираж 300 экз. Печ. л. 15,0 Усл. печ. л. 13,83.

Издательство «Универсум»
Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-520-9

