

**ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА,  
ИННОВАЦИИ – 2022**

**(микроэлектроника и оплотехника)**

**XII МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**23 ноября 2022 г.**

**СБОРНИК ТРУДОВ**

**ТОМ 2**

**СЕКЦИИ 4**

**СМОЛЕНСК  
2022**

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

Э-65

## **ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2022**

(микроэлектроника и оптотехника). Сб. трудов XII Межд. науч.-техн. конф. В 3 т. Т 2. – 2022. – 289 с.

ISBN 978-5-91412-494-3

В сборнике публикуются труды участников XII Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2022», состоявшейся 23 ноября 2022 г. в филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области микроэлектроники и оптотехники.

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

ISBN 978-5-91412-494-3

©Авторы

©«Универсум»

© филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2022

## СЕКЦИЯ 4 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ОПТОТЕХНИКА

М.А. Амелина, к.т.н., доц.; С.А. Амелин, к.т.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

### НЕПРЕРЫВНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ С ЛО- ГОМЕТРИЧЕСКИМ ПРИНЦИПОМ УПРАВЛЕНИЯ

*Рассмотрены особенности моделирования стабилизаторов напряжения с логометрическим принципом управления и обоснована необходимость создания новой универсальной модели таких преобразователей. Рассмотрены основные принципы, на основе которых создавалась модель и результаты ее использования. Доказана адекватность полученной модели и показана хорошая сходимость вычислительных алгоритмов при ее использовании.*

**Ключевые слова:** нелинейная непрерывная модель, ключевая ШИМ-структура, логометрическая система, частотные характеристики, Voltage Mode, Micro-Cap.

Для моделирования импульсных преобразователей постоянного напряжения используются два вида математических моделей: ключевые и непрерывные.

Ключевая (полная) модель более точно воспроизводит процессы, происходящие в каждом из компонентов реального устройства, в том числе и во время коммутации силовых ключей. Однако для ее использования требуются очень большие вычислительные мощности. Кроме того, при анализе сложных систем процесс вычислений расходится и результата не удастся получить вообще. Используя только ключевую модель невозможно или, по крайней мере, очень сложно и трудоемко получить амплитудно- и фазочастотные характеристики, а, следовательно, сделать вывод об устойчивости системы и предложить способы ее коррекции.

Непрерывные модели, в свою очередь, не рассматривают коммутационные процессы, но позволяют получать как амплитудно-частотные характеристики, так и ряд других характеристик и параметров импульсных источников электропитания. Именно такие модели нужны для анализа систем с нелинейными обратными связями для оценки их динамических свойств. Однако вычислительные эксперименты показали, что существующие в библиотеке программы схемотехнического моделирования Micro-Cap 12, непрерывные модели, разработанные Кристофом Бассо на основе исследований Бен-Якоба и Ворпериана [1], не позволяют анализировать процессы в импульсных источниках питания с нелинейными обратными связями. Процесс вычислений расходится и никакого результата получить не удастся. Поэтому для исследования таких систем пришлось разрабатывать альтернативную модель, максимально использующая средства программы Micro-Cap. Основой для разработки стала универсальная непрерывная модель [2], построенная на основе усредненной непрерывной модели SD-структуры с ШИМ (рис. 1).

Универсальность этой модели заключается в том, что ее можно использовать практически для всех основных типов регуляторов постоянного напряжения (в том числе и составных), использующих как режим управления *Voltage Mode*, так и режим *Peak Current Mode*. Модели будут отличаться лишь способом подключения ёмкостного и индуктивного компонентов преобразователя напряжения [2]. Непрерывные модели базовых регуляторов для режима *Voltage Mode* показаны на рис. 2.

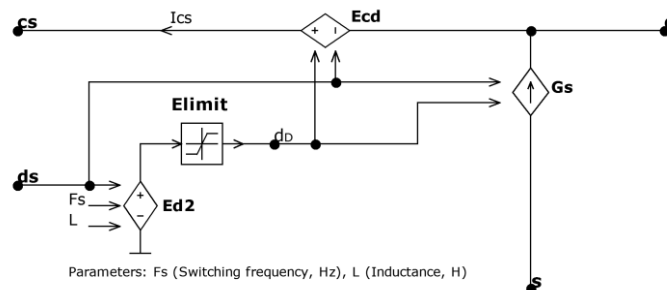


Рисунок 1 – Эквивалентная схема усредненной непрерывной модели SD-структуры

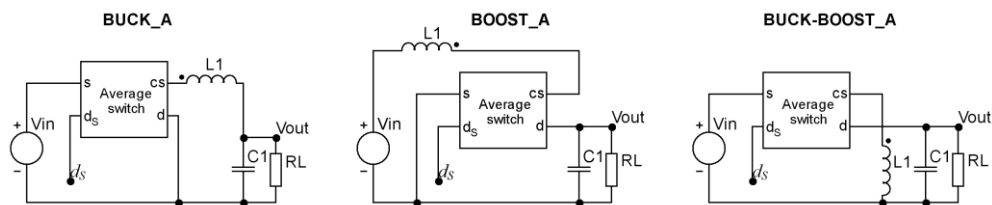


Рисунок 2 – Непрерывные модели базовых регуляторов для режима Voltage Mode

Возможность использования одной и той же модели для разных типов регуляторов является очень важным свойством модели. В данном случае это позволяет исследовать свойства стабилизаторов напряжения, построенных на основе нелинейной (логометрической) системы управления при использовании различных преобразователей постоянного напряжения (силовой части).

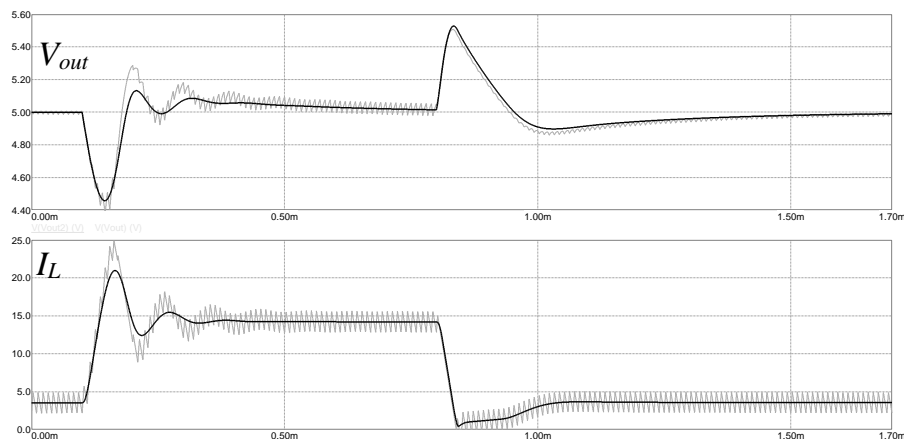


Рисунок 3 – Сравнение поведения непрерывной и ключевой модели обратноходового преобразователя в замкнутой системе (возмущение нагрузки):

а – выходное напряжение; б – ток дросселя-трансформатора

Для проверки адекватности полученной модели были проведены расчеты по непрерывной и по ключевой модели для всех основных типов регуляторов постоянного напряжения. Результаты расчетов показали, что модель корректно воспроизводит переходные процессы в схеме и гарантировано обеспечивает



высокую точность моделирования в том числе и при использовании логометрической системы управления. Временные диаграммы переходного процесса представлены на рис. 3.

Вычислительные эксперименты показали адекватность полученной модели и хорошую сходимость алгоритмов расчета при ее использовании. Это в дальнейшем позволит получить основные характеристики стабилизаторов напряжения с логометрическим принципом управления, оценить целесообразность применения таких систем при использовании различных топологий силовой части, а также сравнить их со стабилизаторами, использующими традиционный принцип управления.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00193 А «Использование нелинейных обратных связей для улучшения характеристик преобразовательных устройств».*

#### Литература

1. Christophe P. Basso Switch-mode power supplies. SPICE Simulations and Practical Designs. Second Edition. (www.digitalengineeringlibrary.com). Copyright © 2014, 2008 by McGraw-Hill Education. – 955 p.
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. 2021. № 4. С. 45–57. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-4-45-57.

*С.А. Амелин, к.т.н., доц.; М.А. Амелина, к.т.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГОМЕТРИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА РЕГУЛИРОВАНИЯ В СТАБИЛИЗАТОРЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЯМОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

*В статье рассматривается вариант использования нелинейных звеньев (множительно-делительного устройства) в системе управления импульсным источником электропитания. Показаны основные свойства такой системы и приведено теоретическое обоснование улучшения динамических свойств по сравнению с традиционной системой управления. Проведено моделирование системы с прямоходовым преобразователем напряжения в качестве силовой части и показано существенное улучшение динамических характеристик при возмущении напряжения питания.*

**Ключевые слова:** Buck, Voltage Mode, логометрическая система управления, импульсный стабилизатор напряжения, обратная связь, множително-делительное устройство, запас по амплитуде.

Системы с логометрическим управлением представляют собой реализацию способа построения обратных связей, в которой сигнал рассогласования формируется не разностным звеном, а множително-делительным устройством [1]. Типовая структура такой системы представлена на рис. 1.

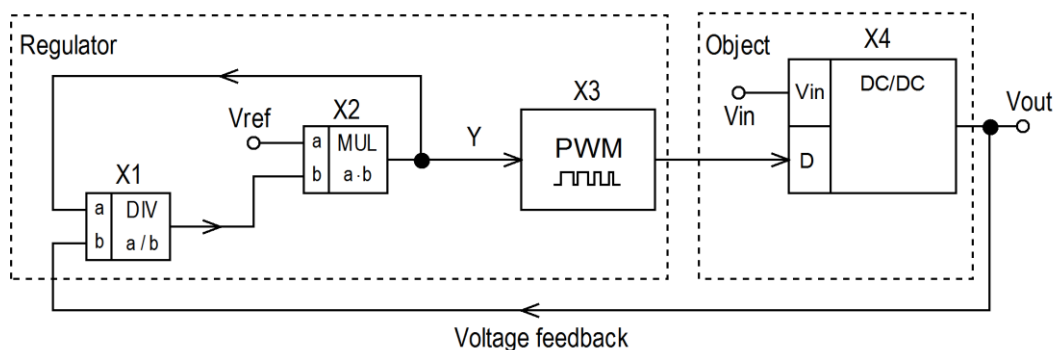


Рисунок 1 – Структурная схема стабилизатора напряжения с множительно-делительным устройством в цепи обратной связи

В терминах ТАУ такая система является системой с управлением по отклонению. Регулятор сравнивает сигнал установки  $V_{REF}$  с выходным напряжением  $V_{OUT}$  и формирует сигнал рассогласования, который управляет широтно-импульсным модулятором PWM, обеспечивающим необходимую относительную длительность замкнутого состояния силового ключа импульсного преобразователя напряжения. Однако, в отличие от классической структуры, это сравнение осуществляется множительно-делительным устройством. Такое устройство является нелинейным, в результате чего меняются характеристики системы в целом [1]. Такая система обладает тремя важными особенностями:

1. Петлевой коэффициент усиления является постоянной величиной и не зависит от коэффициента усиления объекта управления (в данном случае – импульсного преобразователя постоянного напряжения).
2. Логометрическая система при малых возмущениях эквивалентна классической системе управления, поэтому методы обеспечения устойчивости можно использовать те же, что и для классических систем.
3. При больших возмущениях нелинейность множительно-делительного устройства приводит к тому, что даже при одинаковых амплитудно-частотных характеристиках переходные характеристики у классической и логометрической систем получаются различными, причем в логометрической системе время регулирования получается существенно меньше.

Однако эти особенности выявлены для систем управления как таковых. Поэтому представляют интерес свойства логометрической системы управления с импульсным регулятором или преобразователем постоянного напряжения в качестве объекта управления.

Для оценки этих свойств рассмотрено поведение логометрического стабилизатора на основе прямоходового импульсного преобразователя постоянного напряжения (Buck) и его сравнение со стабилизатором с классической системой управления с той же силовой частью и с той же системой коррекции.

Синтез корректирующих звеньев проведен стандартным способом. Они представляет собой один из вариантов ПИД-регулятора (коррекция Type 3). В рабочей точке логометрическая система и классическая система являются устойчивыми с необходимым запасом по фазе и амплитуде. Амплитудно-частотные характеристики в окрестности рабочей точки у них абсолютно одинаковые.

В качестве возмущающего воздействия проводилось скачкообразное изменение напряжения питания и скачкообразное изменение тока нагрузки.

При двухкратном изменении напряжения питания в большую и меньшую сторону у логотметрической системы амплитудно-частотная характеристика остается неизменной, поскольку при этом у регулятора постоянного напряжения меняется лишь коэффициент заполнения управляющих импульсов, а, следовательно, коэффициент усиления. Однако, логотметрическая система нечувствительна к изменению коэффициента усиления объекта управления [1], поэтому никаких изменений не происходит (рис. 2).

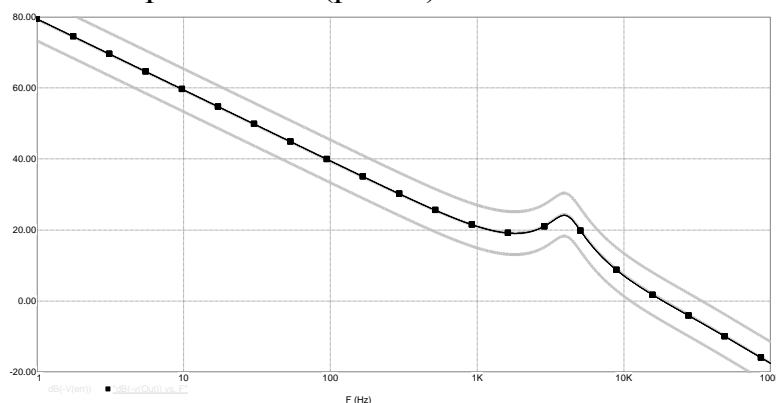


Рисунок 2 – Амплитудно-частотные характеристики стабилизаторов на основе прямоходового преобразователя напряжения при возмущении напряжения питания (серая линия – классическая система, черная линия с точками – логотметрическая)

В классической системе при этом происходит смещение характеристик вверх и вниз соответственно (рис. 2). При этом меняется запас амплитуде, что влияет на переходные характеристики системы. При недостаточном запасе по амплитуде система вообще может стать неустойчивой.

Сравнение переходных характеристик при одинаковых возмущениях напряжения питания показывает, что в логотметрической системе почти в два раза меньше величина перерегулирования (рис. 3). При этом время регулирования получается практически одинаковым.

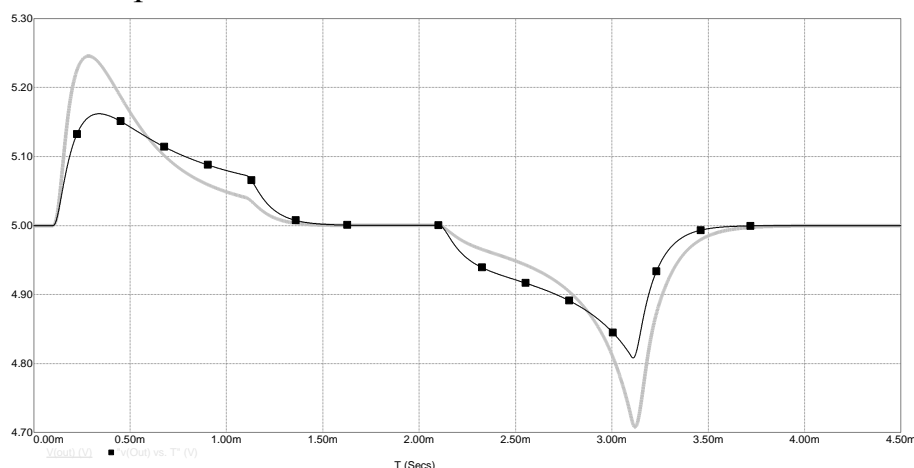


Рисунок 3 – Переходные характеристики стабилизаторов на основе прямоходового преобразователя напряжения при возмущении напряжения питания (серая линия – классическая система, черная линия с точками – логотметрическая)

При возмущении сопротивления нагрузки реакция обеих систем примерно одинаковая, т.е. в этом случае логометрическая система не показывает каких-либо преимуществ (рис. 4).

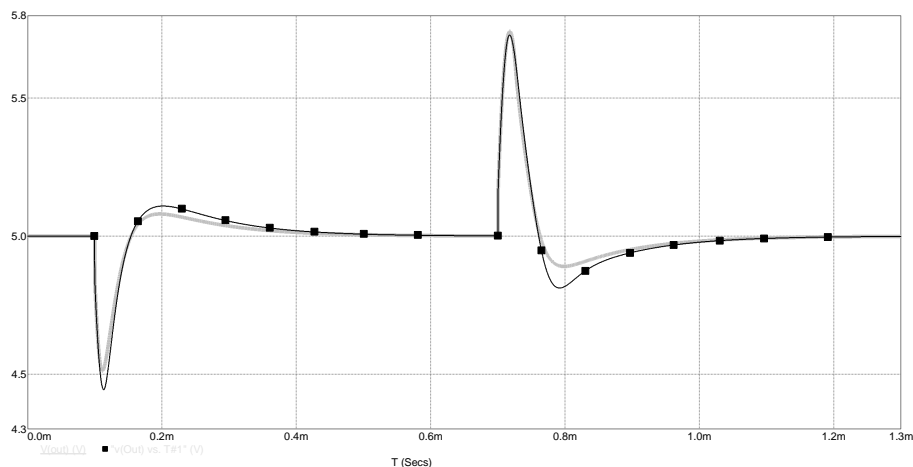


Рисунок 4 – Переходные характеристики стабилизаторов на основе прямоходового преобразователя напряжения при возмущении сопротивления нагрузки

(серая линия – классическая система, черная линия с точками – логометрическая)

Следует отметить, что при выходе на режим при включении у стабилизатора с логометрическим принципом управления наблюдается очень большая величина перерегулирования, что требует обязательного использования цепей плавного пуска (рис. 5). Однако эти цепи являются практически обязательной составной частью современных импульсных источников электропитания, поэтому наличие выброса напряжения при включении не является существенным недостатком, это всего лишь особенность данного типа управления, которую необходимо учитывать при проектировании стабилизаторов напряжения с логометрическим принципом управления.

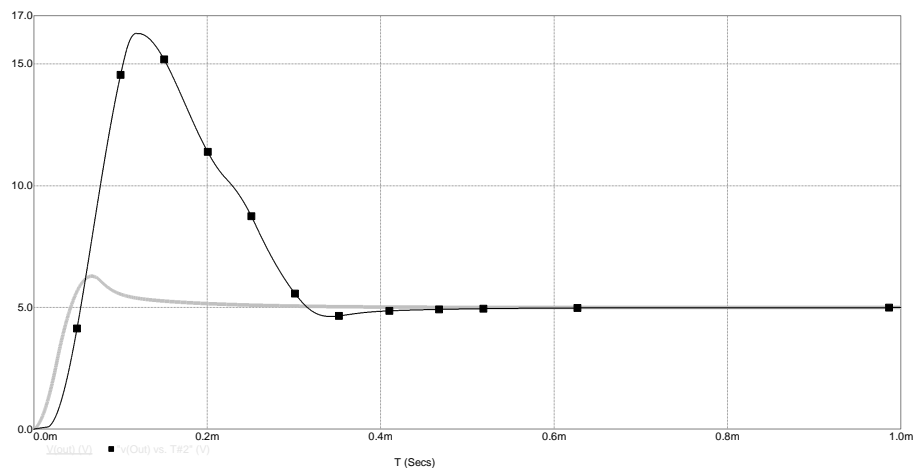


Рисунок 5 – Выход на режим при включении стабилизаторов на основе прямоходового преобразователя напряжения (серая линия – классическая система, черная линия с точками – логометрическая)

Результаты вычислительных экспериментов в целом подтвердили теоретические предположения о поведении системы с логометрическим принципом управления в составе импульсного стабилизатора постоянного напряжения: наибольшее преимущество наблюдается там, где в ходе работы меняется коэффициент усиления объекта управления (импульсного регулятора постоянного

напряжения), а именно, при изменении напряжения питания. При изменении сопротивления нагрузки вследствие жесткой внешней характеристики прямоходового преобразователя напряжения существенного изменения коэффициента заполнения (и, следовательно, коэффициента усиления) не происходит, обе системы работают в окрестности рабочей точки, где они эквивалентны. Поэтому переходные характеристики получаются одинаковыми. Эти результаты подтверждают теоретическое предположение о том, что логометрическую систему управления можно рекомендовать к использованию в источниках электропитания, предназначенных для работы в широком диапазоне входных напряжений, а также в других случаях, когда в процессе работы происходит существенное изменение коэффициента заполнения импульсов управления силовым ключом преобразователя напряжения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00193 А «Использование нелинейных обратных связей для улучшения характеристик преобразовательных устройств».*

#### Литература

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

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

### **ПОВЫШЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ КОМПОНЕНТОВ**

Сегодня вероятно каждый человек, так или иначе касающийся электроники будь то начинающий студент или профессиональный инженер столкнулся с проблемой нехватки компонентов для реализации своих устройств или творчески-инженерных идей в жизнь. Каждый час жизнь диктует новые реалии, которые невозможно обойти стороной. Цены комплектующих, задержки поставок компонентов на неопределенный срок, также возможно появление некачественных компонентов не отвечающих по своим параметрам, а также полное отсутствие электронных компонентов на рынке. Возникающий дефицит заставляет задуматься, в данных условиях и проявляется практический навык создания устройства фактически из подручных средств среднестатистического человека увлекающегося электроникой.

В данном случае был реализован проект настольная игра “Useless box”. Идея данного устройство была в том, чтобы сделать его довольно простым, очень зрелищным, привлекающим внимание при этом из компонентов которые легко можно достать в любом радио-магазине. За максимально короткие сроки была собрана коробка из фанеры толщиной 6мм.

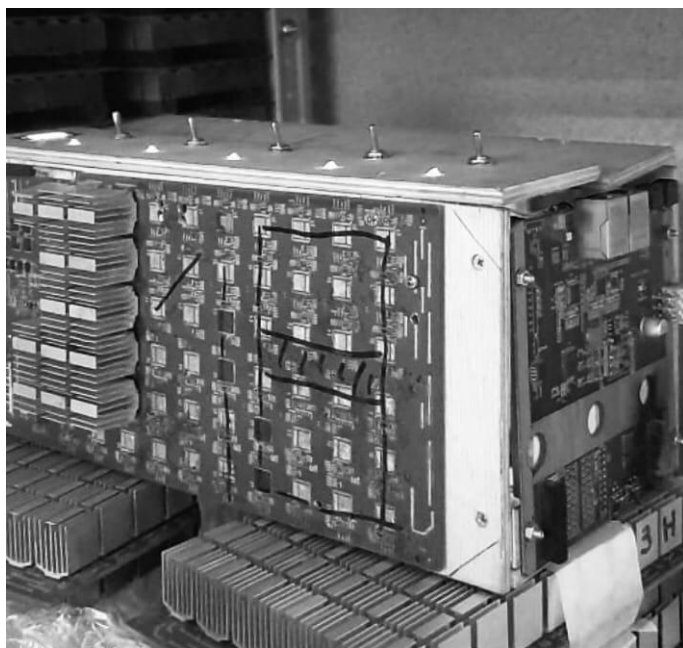


Рисунок 1 – Бесплезная коробка

При переключении тумблеров из коробки вылезали рычаги, переводящие тумблера в обратное положение. Данный проект получился своего рода очень привлекательно игрой, завораживающей как человека ничего не смыслящего в электронике, так и инженера. Большое внимание хочется обратить на то, что на каркас были прикручены хэш-платы для зрелищности и создания ощущения масштабности устройства. С помощью специальных инструментов, было собрано пространство для реализации механизма рычагов на сервоприводах, которые в свою очередь переключали тумблер. Рычаг, переключающий тумблер был собран из нескольких составных частей выпиленных лобзиком кусочков фанеры и сервопривода, очень важно было соблюсти размеры рычага, для того чтобы хватало длины для переключения тумблера.

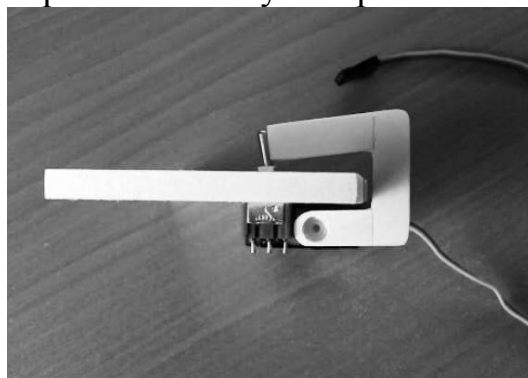


Рисунок 2 – Рычаг переключения тумблера и сервопривод

Соответственно, собрав каркас и составляющие нашего проекта, осталось только соединить каркас с тумблерами и рычаги переключения. Для того, чтобы настольная игра не выглядела просто коробкой, было принято решение добавить датчик заряда аккумулятора, добавить большое количество светодиодов (для зрелищности проекта), прикрутить хэш-платы и тогда устройство приобретало вид не просто настольной игры а завораживающего полноценного проекта с большим количеством вложенных ресурсов. Неоднократно продумывались

перспективы данного проекта. Возможным вариантом применения данной настольной игры может являться разработка мелкой моторики кистей и пальцев после травм. Разработка представляет собой компактное устройство сверху находятся небольшие тумблера. Если поменять положение тумблера, то крышка поднимется, а из коробки покажется рычаг, который впоследствии переведет тумблер в исходное положение, после чего рычаг скроется в коробке. Выглядит все это очень забавно, так как действия рычага напоминают поведение живых кошек, которые тоже очень любят прятаться в коробках.



Рисунок 3 – Процесс сборки устройства

По сути, принцип работы *UselessBox* заключается в том, что тумблер активирует механизм, который выключает сам себя. Могло бы показаться скучным, если бы не один важный момент. Рычаги запрограммированы на 10 вариантов сценариев выключения заветных тумблеров. Он может появиться сразу или с некоторой задержкой, рычаг может действовать медленно или явно раздраженно. Особенности *UselessBox*:



Рисунок 4 – Составляющие устройства

Важной особенностью является ее приятный и ненавязчивый дизайн. Стильная коробка будет хорошо сочетаться с любым домашним и офисным интерьером. Но когда захочется отвлечься, поднять настроение, нужно просто переключить тумблер. Для того чтобы коробка имела безупречный внешний вид, были добавлены диоды, датчик заряда батареи, хэш-платы на которых располагались различные компоненты.

Устройство может участвовать в различных конкурсах, а также использоваться на дне открытых дверей для демонстрации абитуриентам того с кем им в будущем придется работать.

#### Литература

1. Pp\_pribor.com [Электронный ресурс] URL: <http://ppPriboretskvp.ru/>, свободный (дата обращения 21.09.22)
2. Schem.net [Электронный ресурс] URL: <https://sks-electro.ru/>, (дата обращения 20.09.22)
3. Izmer.ru [Электронный ресурс] URL: <https://Izmer.ru/>, (дата обращения 18.09.22)

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

### **ИГРУШКА АНТИ-СТРЕСС USELESS BOX**

В настоящее время на рынке существует огромное количество игрушек-антистрессов, помогающих человеку отвлечься от повседневного напряжения. Обычно такие игрушки представляют собой довольно простые системы вращающихся механизмов, но их разнообразие и сложность постоянно растет, как и потребность в них. Одним из вариантов игрушки-антистресса может выступать «Useless box» получившее в России распространение под названием «Бесполезная коробка». Общий принцип работы этой игрушки заключается в том, что заданный алгоритм формирует комбинации из нескольких действий, которые случайным образом может осуществлять «бесполезная коробка» после взаимодействия с ней пользователя. Мы решили творчески подойти к реализации этого проекта и сделать собственный вариант этой игрушки. К проекту были предъявлены следующие требования: компактность (размер не должен превышать 20х20 см), простота использования, надежность механизма, число итоговых комбинаций не менее 5, цикличность. Корпус самой коробки обычно собирается из фанеры, дерева, проф. листа или иных материалов, для открытия коробки устанавливаются обычные дверные петли. Необходимые компоненты для реализации данного проекта:

- Микроконтроллер Arduino Nano;
- Стандартные сервоприводы SG90
- Аккумулятор;
- Резисторы;
- Датчик заряда аккумулятора;
- Светодиоды;
- LC-фильтр



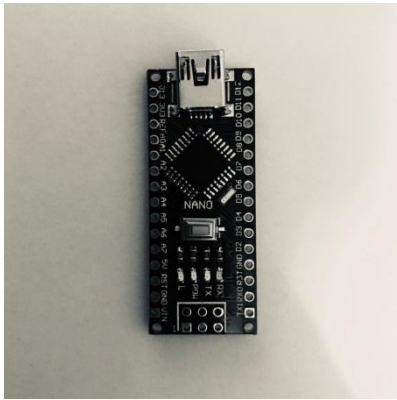


Рисунок 1 – Компоненты проекта

Для изготовления каркаса коробки нами была использована фанера толщиной 6 мм. С помощью подручных инструментов, саморезов и термокля, нами было собрано пространство для реализации механизма рычагов на сервоприводах, которые в свою очередь переключали тумблер. Рычаг, переключающий тумблер был собран из нескольких составных частей (выпиленных лобзиком кусочков фанеры) и сервопривода, очень важно было соблюсти размеры рычага, для того чтобы хватало длины для переключения тумблера.

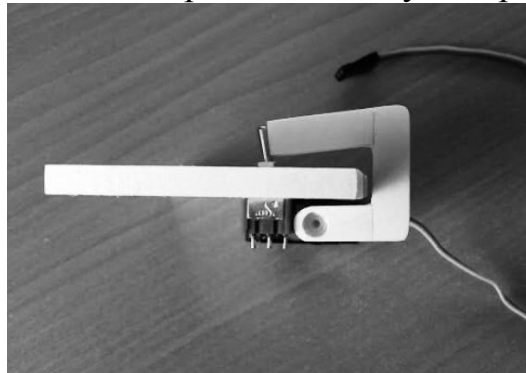


Рисунок 2 – Рычаг переключения тумблера и сервопривод

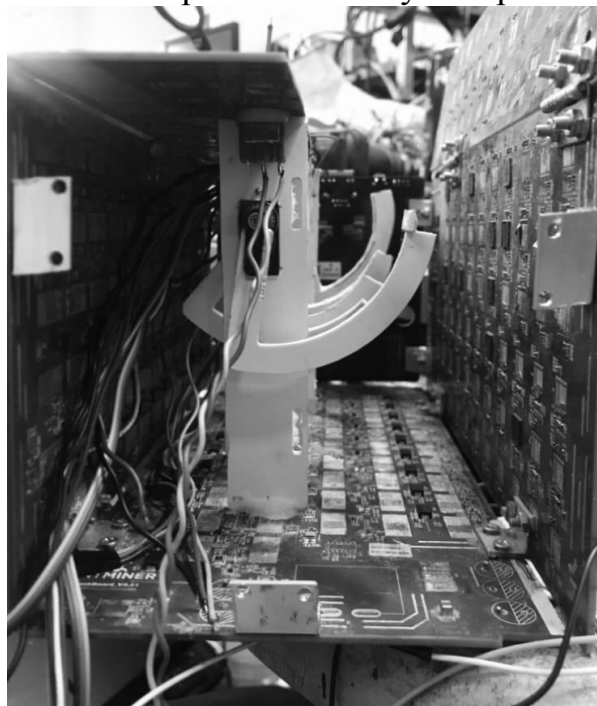


Рисунок 3 – Процесс сборки Useless box

Соответственно, когда был собран каркас и составляющие нашего проекта, осталось только соединить каркас с тумблерами и рычаги переключения. Для того чтобы “Бесполезная коробочка” не выглядела просто коробкой, было принято решение добавить датчик заряда аккумулятора, добавить большое количество светодиодов (элемент дизайна), прикрутить хэш-платы и тогда устройство приобретало вид полноценного проекта.

Изначально проект планировалось собрать из хэш-плат, но к сожалению за счет возникающих помех и некорректной работы сервоприводов, основу проекта-каркас собирать из фанеры, был добавлен LC-фильтр для стабильной работы устройства.

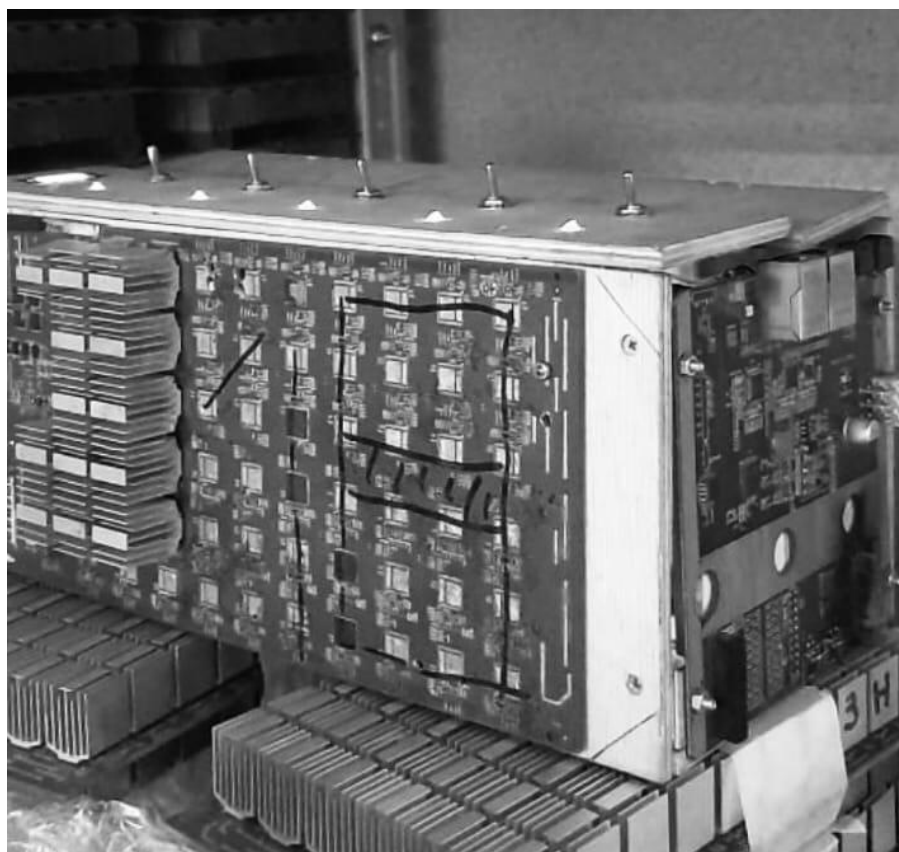


Рисунок 4 – Финальный вид игрушки-антистресса «Useless box»

Таким образом осуществленный проект в целом соответствует предъявляемым к нему требованиям, он получился компактным (итоговый размер), простым и нативно понятным в использовании (пользователю требуется лишь переключать рычаги), цикличным так цикл игры может продолжаться бесконечно и с достаточным числом комбинаций (больше 5) в перспективе можно увеличить число комбинаций выводимых «коробкой» и усложнить режимы их работы.

#### Литература

4. Tsibrow.blogspot [Электронный ресурс] URL: <http://uselessbox.ru/>, свободный (дата обращения 29.12.21)
5. Tempesto.net [Электронный ресурс] URL: <https://tempeso.com/>, (дата обращения 29.12.21)

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОБОЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ

Центральным узлом разрабатываемого измерителя напряжения пробоя является микроконтроллер. Для обеспечения полной работоспособности и реализации требуемого функционала необходимо выполнить обоснованный выбор микроконтроллера.

Необходимо, чтобы микроконтроллер обладал такими характеристиками, как:

- Наличие необходимого количества портов ввода-вывода;
- Наличие АЦП (1 канал);
- Наличие таймера (1 шт.);
- Наличие контроллера внешних прерываний (1 шт.);
- Относительно высокая производительность процессора (порядка 16 МГц).

Данным требованиям удовлетворяет МК *Atmega16* из семейства МК AVR.

Повышающий преобразователь строится по классической топологии повышающего преобразователя напряжений с непосредственной связью и классической системой управления по выходному напряжению (рис. 1.1). Выход «контроль» используется для управления преобразователем (т.е. разрешение на его работу).

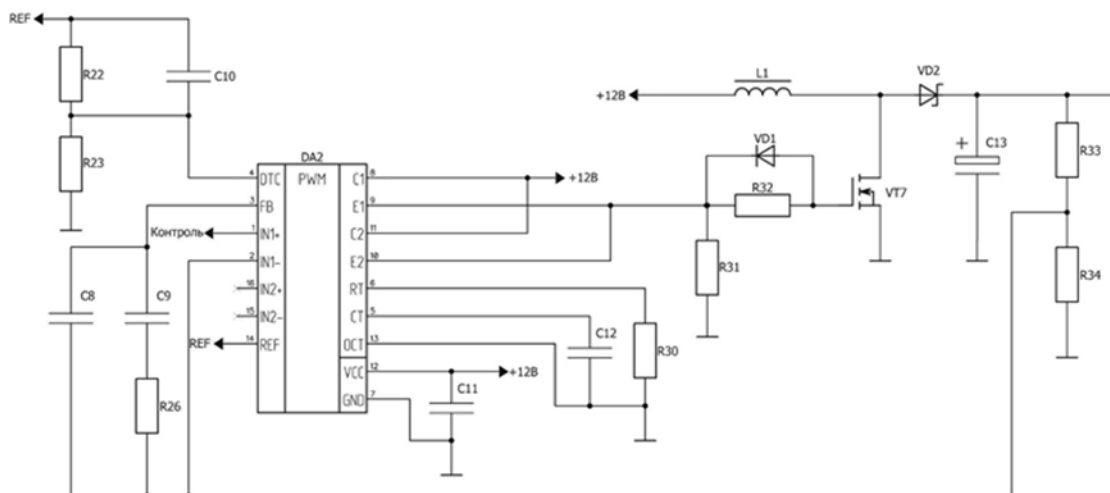


Рисунок 1.1 — Повышающий преобразователь

Система управления проектируется с выбором определенного ШИМ-контроллера – специализированной интегральной схемы, которая используется при проектировании импульсных преобразователей напряжения. На основе ШИМ-контроллеров реализуется не только обратная связь по напряжению или току, но и осуществляется управление ключами, реализуются цепи коррекции для сигнала рассогласования ошибки управления, определяются частоты коммутации.

В качестве ШИМ–контроллера была выбрана микросхема TL494 фирмы Texas Instruments. Данная микросхема является наиболее предпочтительной, распространенной и относительно дешёвой для управления мостовыми схемами. Внутренняя структура микросхемы позволяет включать драйверы управления ключами в противофазе, устанавливать величину «мертвого времени» (необходимо для защиты ключей от пробоя), работать на достаточно высокой частоте коммутации в импульсных блоках питания.

Основные преимущества микросхемы TL494:

- 1) Широкий диапазон тактовых частот: до 350 кГц;
- 2) Возможность ограничения коэффициента заполнения, что снижает возможность возникновения насыщения сердечника в одноконтурных топологиях;
- 3) Ток выходного транзистора обеспечивает 200 мА, что в некоторых применениях позволяет исключить использование драйвера;

Выход повышающего преобразователя подключается к полупроводниковому прибору через токовое зеркало (рис. 2.4). Принцип работы токового зеркала состоит в использовании двух идентичных биполярных транзисторов, включенных по схеме с общим коллектором, базы которых соединены между собой. База и коллектор транзистора VT5 соединены между собой, в результате чего после появления отпирающего напряжения на базе транзистора VT6 возникает коллекторный ток, который препятствует дальнейшему росту напряжения на базе транзистора. Транзистор получается открытым настолько, насколько велика величина протекающего коллекторного тока, а так, как базы транзисторов VT5 и VT6 гальванически связаны между собой, то и транзистор VT5 будет открыт на столько, на сколько открыт транзистор VT6.

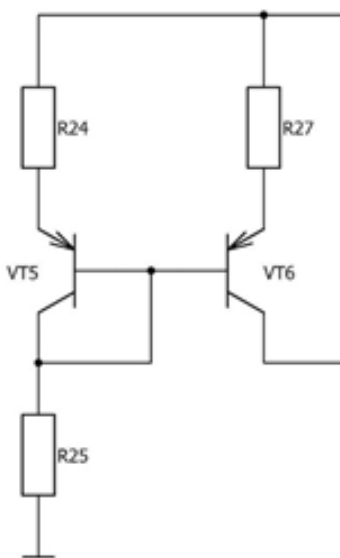


Рисунок 1.2 — Токовое зеркало

Индикацию измеренного значения напряжения пробоя полупроводниковых приборов было решено производить на четырехразрядный семисегментный индикатор (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 — Четырехразрядный семисегментный индикатор

Для уменьшения влияния входного питания на работу микроконтроллера и других цифровых узлов схемы, то есть для устранения паразитных наводок в разрабатываемое устройство были добавлены блокировочные конденсаторы по питанию.

Резонатор подключается к выводам *XTAL1* и *XTAL2* микроконтроллера, как показано на (рис 1.4).

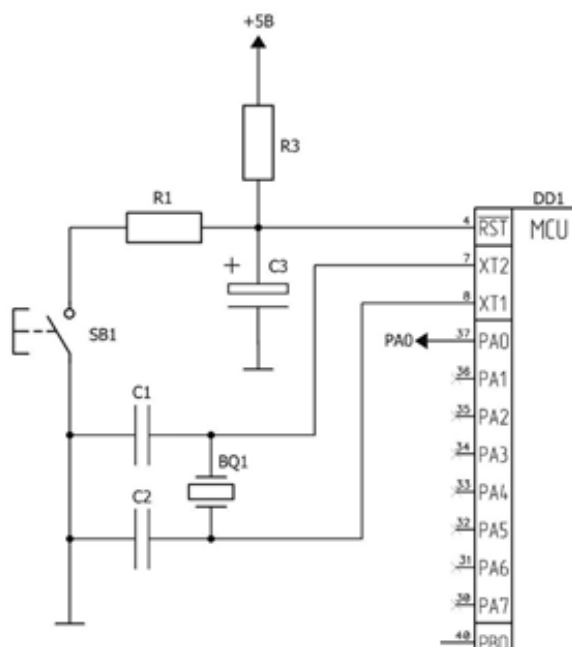


Рисунок 1.4 — Кварцевый резонатор и блокирующие помехи конденсаторы.

В соответствии со всем вышесказанным принципиальная схема была смоделирована в среде *Proteus* и приняла следующий вид (рис 2).

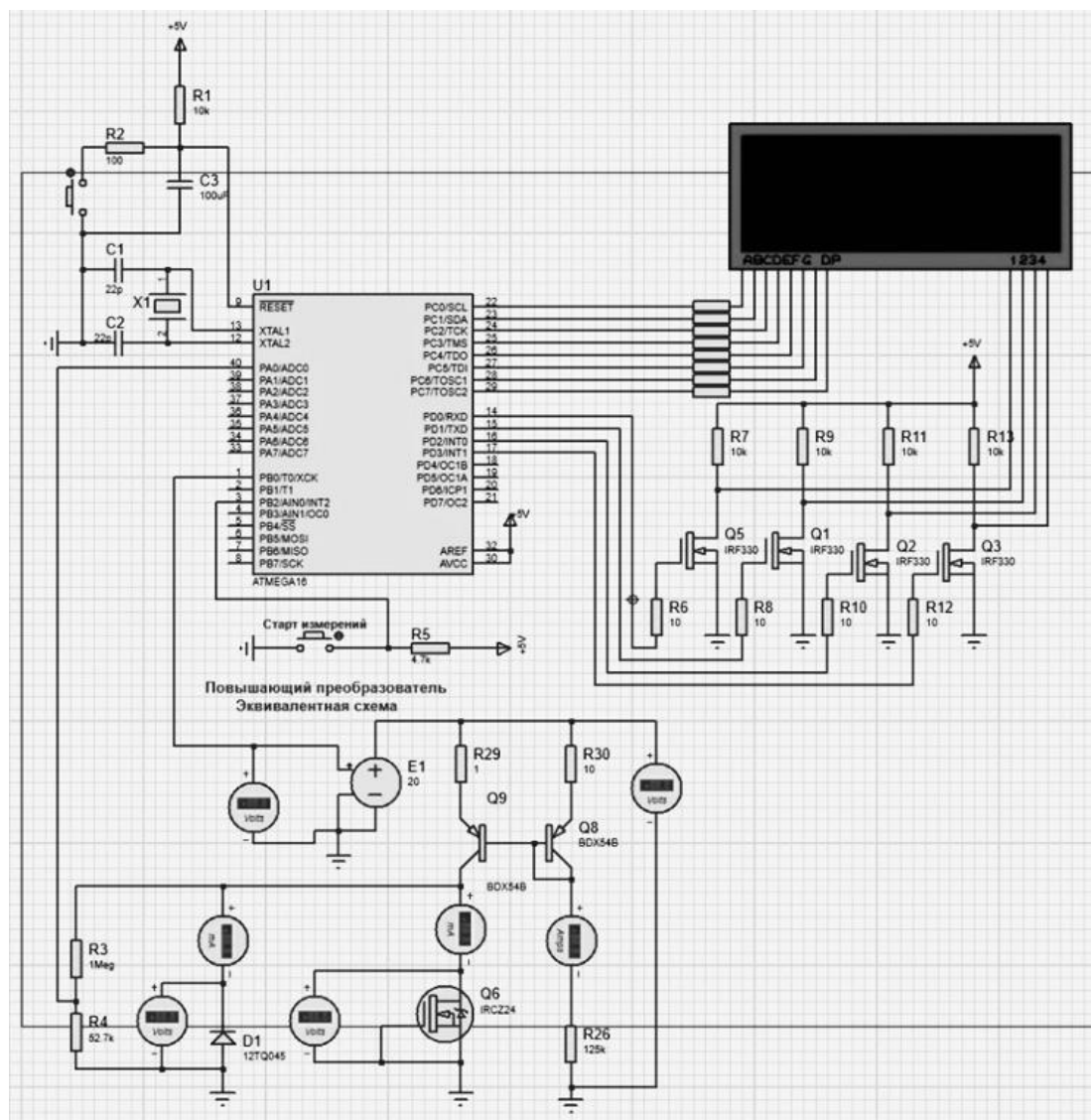


Рисунок 2 —Принципиальная схема в среде Proteus

#### Литература

1. Radio-elctronik.com [Электронный ресурс] URL: <http://ppPriboreskvp.ru/>, свободный (дата обращения 18.09.22)
2. Schem.net [Электронный ресурс] URL: <https://Schem.net.ru/>, (дата обращения 18.09.22)
3. Radiokot.ru [Электронный ресурс] URL: <https://Radiokot.ru/>, (дата обращения 18.09.22)
4. Elceti.ru [Электронный ресурс] URL: <https://Elceti.ru/>, (дата обращения 20.09.22)
5. habr.com [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/>, (дата обращения 20.09.22)

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

### **РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМ ИЗМЕРИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОБОЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ**

Одним из методов измерения пробивного напряжения полупроводниковых приборов является метод подключения полупроводникового прибора к источнику питания с повышенным напряжением (порядка 100 В, которое

превышает подавляющее большинство пробивных напряжений полупроводниковых приборов, в том числе и мощных полевых транзисторов) и ограничением выходного тока, чтобы не допустить выхода полупроводникового прибора из строя.

Данный принцип измерения заложен и в проектируемом устройстве, основными узлами устройства для проведения экспериментальных измерений являются повышающий преобразователь напряжения и источник тока. Для проведения измерения в данном случае достаточно 5-10 мс, это значит, что для обеспечения эффективного расходования потребляемой электроэнергии, измерительный процесс должен работать либо в прерывистом режиме, либо по нажатию на кнопку. Был выбран второй метод, поскольку на разъеме для подключения полупроводникового прибора формируется напряжение порядка 100 В, что может быть опасно для человека, поэтому включение измерительного процесса должно происходить строго при подключении измеряемого прибора и нажатии на кнопку.

Ключевым узлом проектируемого устройства является микроконтроллер, необходимый для отслеживания нажатия на кнопку, управления измерительным процессом (посредством управления повышающим преобразователем) и измерения величины пробивного напряжения. При этом, если микроконтроллером будет обнаружено, что при включении повышающего преобразователя отсутствует какая-либо величина пробивного напряжения (то есть полупроводниковый прибор не подключен), то микроконтроллер отключит измерительный процесс. Для вывода измеренного пробивного напряжения используется четырехразрядный семисегментный индикатор.

Согласно описанного принципа работы устройства была разработана структурная схема, представленная на рисунке 2.1.

Таким образом, была разработана структурная схема проектируемого устройства и описан измерительный алгоритм, а также основной функционал устройства.

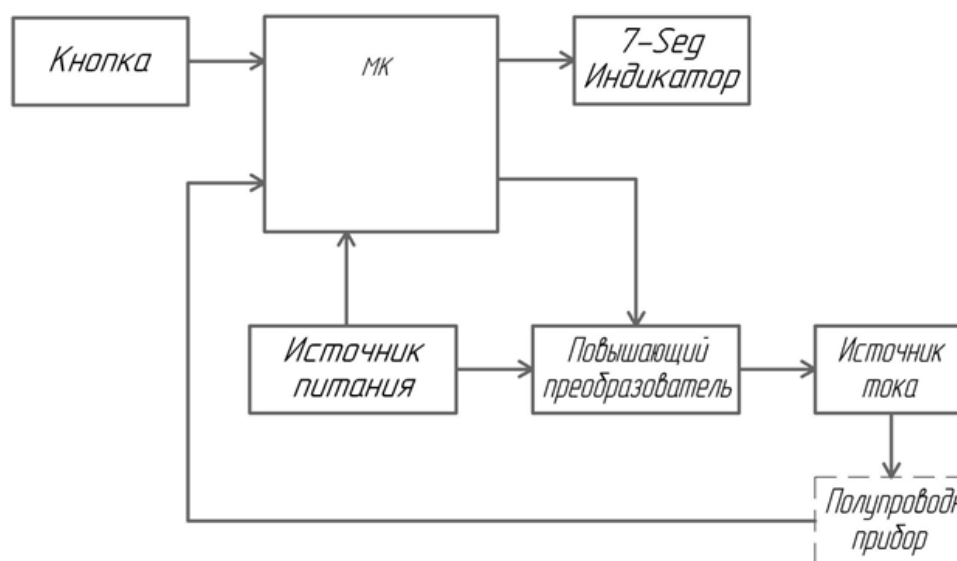


Рисунок 2.1 — Структурная схема устройства

На данном этапе является необходимым рассмотреть функциональную схему разработанного устройства измерителя напряжения пробоя полупроводниковых компонентов. На рисунке 2.2 представлена функциональная схема разрабатываемого устройства. Представленная схема рассматривает главные вопросы питания основных узлов схемы, подключения модулей между собой и с определенными пины микропроцессорного устройства. В качестве микропроцессорного модуля будет выбрана микросхема *Atmega16*, соответственно, пины, обозначенные на разработанной функциональной схеме, будут соответствовать цоколевке выбранного микроконтроллера.

Среди основных используемых периферийных контроллера будет использоваться АЦП (вывод *PA0*), который необходим для измерения падения напряжения на токопроводящем канале подключенного полупроводникового прибора, контроллер внешних прерываний (*PB2*), который необходим для регистрации нажатия на кнопку «Старт измерений».

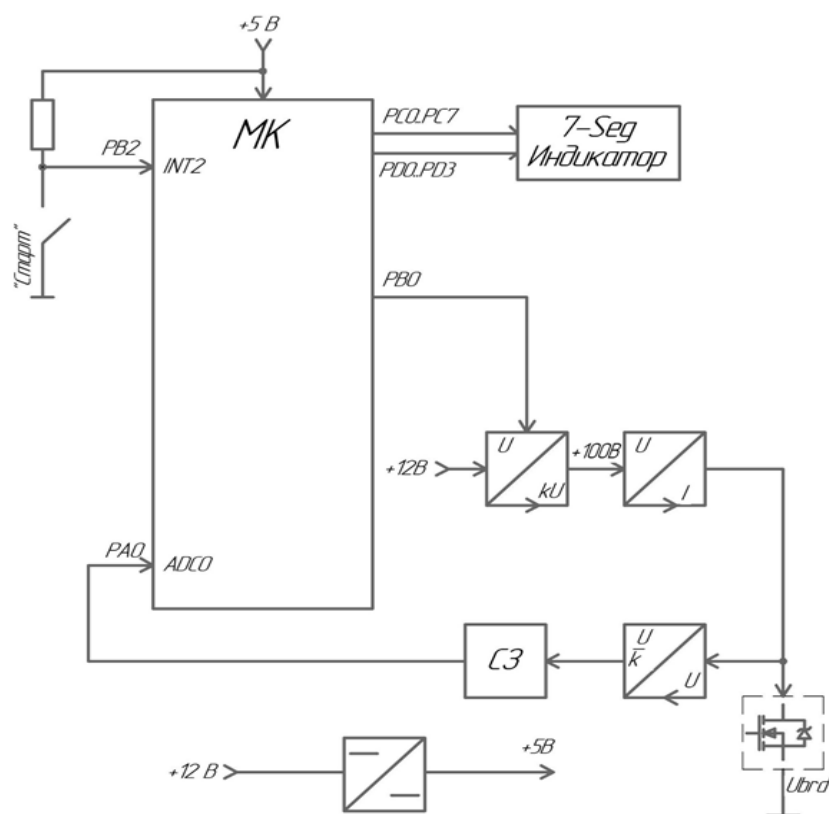


Рисунок 2.2 — Функциональная схема устройства

Порт *C* полностью выделен для подключения сегментов подключаемого четырехразрядного семисегментного индикатора. Микроконтроллер в режиме динамической индикации будет изменять логические уровни на входах сегментов, чтобы выводить определенное число в каком-либо из разрядов (т.е. микроконтроллер будет выполнять роль дешифратора десятичного кода в код



семисегментного индикатора). Разряды семисегментного индикатора подключаются к выводам  $PD0-PD3$ , чтобы микроконтроллер мог управлять определенным разрядом семисегментного индикатора в конкретный момент времени (принцип динамической индикации).

Повышающий преобразователь предназначен для преобразования питающего напряжения устройства  $+12 В$  в необходимое для измерительного процесса напряжение  $+100 В$ . Напряжение токопроводящего канала полупроводникового прибора подключено к микроконтроллеру для измерения его величины через понижающий преобразователь (резистивный делитель) и схему защиты (которая ограничивает импульсную величину напряжения на входе микроконтроллера в диапазоне от 0 до  $5 В$ , то есть в районе толерантности напряжения для выводов выбранного микроконтроллера).

Таким образом, была разработана функциональная схема устройства измерения величины пробивного напряжения, на которой были уточнены цепи питания и используемые микропроцессорные интерфейсы.

*С.Г. Астапенков, К.С. Прусаков, А.В. Марина, студ.  
(ВА ВПВО ВС РФ г. Смоленск,  
филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Смоленске)*

## **УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ЗНАЧЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ ВТОРИЧНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Цель научного исследования – повышение надёжности системы вторичного электропитания (ВЭП) специальной радиотехнической системы (СРС) за счёт прогнозирования и уменьшения времени на поиск неисправностей с помощью применения универсального устройства контроля блоков системы ВЭП.

Исходными данными для разработки универсального устройства контроля блоков системы ВЭП является перечень значений напряжений, выдаваемых выбранным вторичным источником электропитания (ВИП) для контроля. Универсальность разработанного устройства достигается за счёт нормировки значений контролируемых напряжений на входе устройства делителями напряжения с разными коэффициентами передачи (рисунок 1).

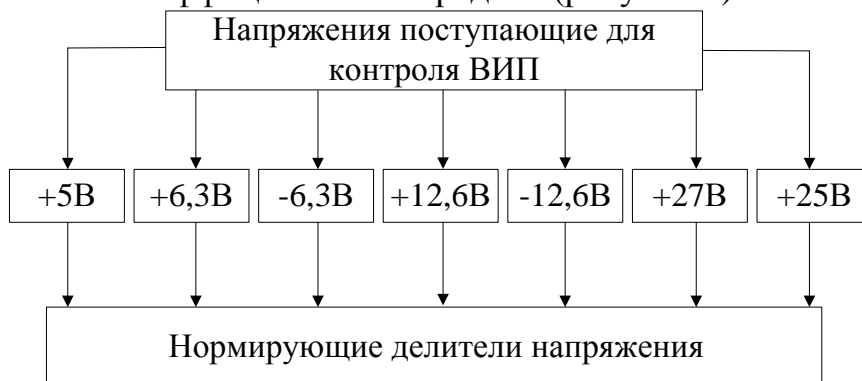


Рисунок 1 – Перечень значений напряжений, выдаваемых выбранным вторичным источником электропитания (ВИП) для контроля

Напряжения, показанные на рисунке 1, являются типовыми и могут изменяться в зависимости от выбранного для контроля ВИП. После приведения их к одному значению каждое напряжение поступает на соответствующий вход схемы управления, которая выполняет функцию коммутации и схему индикации. Для определения напряжения вышедшего за пределы допустимого значения предлагается использовать схему индикации результатов контроля, размещённую на самом устройстве и продублированную в отделении управления на рабочем месте оператора.

Поскольку ВИП пространственно-разнесены по всему объёму СРС, чтобы передать сигнал о неисправности предлагается использовать систему сверхширокополосной (СШП) беспроводной передачи данных. Это объясняется тем, что СШП сигнал способен преодолевать препятствия различной толщины и плотности на небольшие расстояния и не оказывать влияния на работу других радиосистем [1]. В качестве радиопередатчика предлагается использовать схему, собранную на базе мультивибратора



Рисунок 2 – Структурная схема универсального устройства контроля блоков системы вторичного электропитания

Разработанная структурная схема универсального устройства контроля блоков системы вторичного электропитания представлена на рисунке 2. Для её структурного синтеза использовались алгоритмы синтеза цифровых автоматов, что позволило представить синтезируемое устройство в виде отдельных схем, каждая из которых выполняет определённую функцию:

1. Схема формирования адреса – в виде тактового генератора и счетчика.
2. Схема выбора контролируемого напряжения – в виде мультиплексора.
3. Схема сравнения – в виде двух-порогового компаратора.
4. Схема индикации – в виде дешифратора и светодиодов (панели индикации).
5. Опорное напряжение – в виде стабильного источника напряжения.
6. Схема управления передатчиком – в виде логического элемента ИЛИ и источника питания.
7. Устройство формирования сигнала – в виде СШП радиопередатчика.

Данное устройство позволит повысить надёжность ВИП за счёт прогнозирования их неисправностей методом набора статистики по «плавающим» напряжениям, которые не приводят к сбоям или отказам, но указывают на возможность выхода из строя ВИП в перспективе. Уменьшение времени на поиск неисправностей ВИП достигается возможностью автоматизированного вывода информации о значениях контролируемых напряжений на экран оператора.

#### Литература

1. Кумакшев М.Н., Сеньков М.А. Анализ способов повышения скорости передачи информационных потоков, циркулирующих в СПД комплексов военного назначения // Радиопромышленность, производственно-технический сборник, №1. – М.: 2007 г. – с.34-47.
2. Опадчий Ю. Ф. Аналоговая и цифровая электроника. Учебник для ВУЗов. М. 2000 г.

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

### **ТЕСТОВЫЙ ОБЪЕКТ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ФОТО- И ВИДЕО-ДАТЧИКОВ**

Уточнение границ рабочего спектрального диапазона фото- и видео-датчиков, является актуальной задачей, особенно если она может быть осуществлена без существенных временных затрат и привлечения специализированного дорогостоящего оборудования.

Тестовый объект для уточнения границ рабочего спектрального диапазона фото- и видео-датчиков представляет собой поверхность прямоугольной формы с коэффициентом отражения  $\rho \rightarrow 0$  в диапазоне  $0,3 \div 1,3$  мкм, в плоскости которой размещены элементарные излучатели (излучающие диоды) [1].

В зависимости от принципа размещения элементарных излучателей (излучающих диодов), соответствующих основным цветам видимого диапазона ( $\lambda_4 - \lambda_{10}$ ), трем длинам волн из ближнего УФ (УФ-А) диапазона ( $\lambda_1 - \lambda_3$ ) и трем длинам волн из ближнего (коротковолнового) ИК диапазона возможны две конфигурации тестового объекта:

- с линейным размещением, обеспечивающим геометрическую привязку максимальных длин волн спектральных характеристик излучения элементарных излучателей (излучающих диодов) к воображаемой (или нанесенной на поверхность тестового объекта) шкале длин волн (рисунок 1),

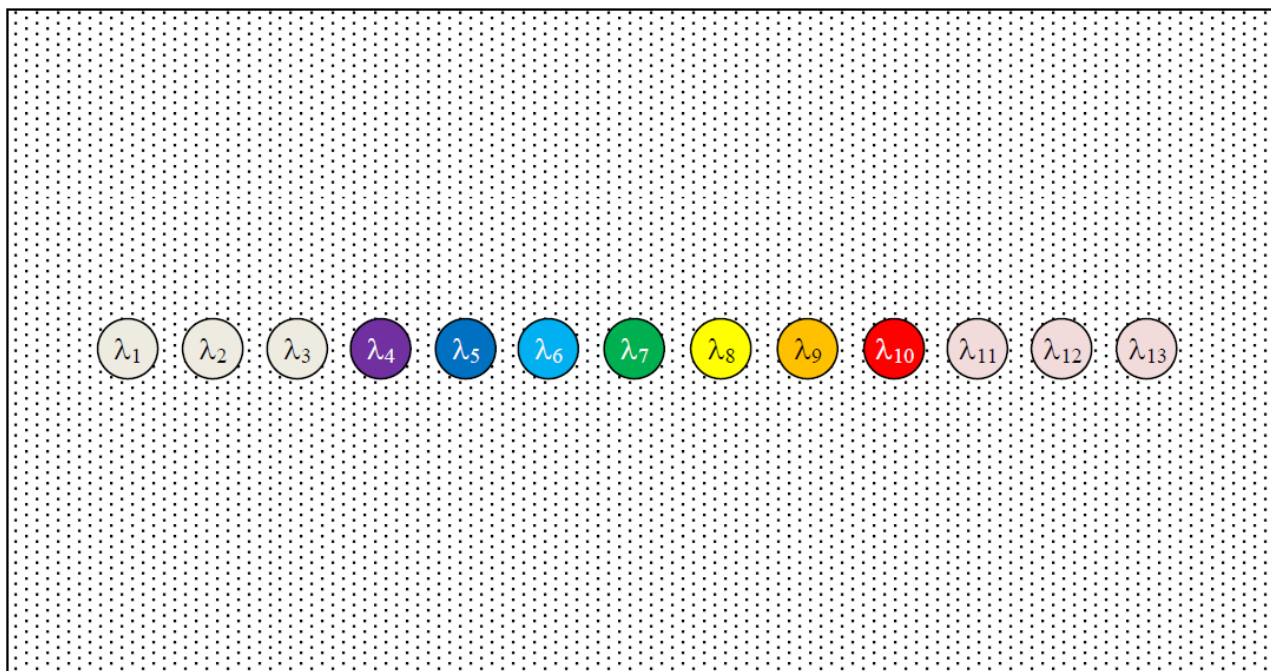


Рисунок 1 – Конфигурации тестового объекта с линейным размещением излучающих диодов

- с групповым размещением, предусматривающем группировку элементарных излучателей (излучающих диодов) в центре тестового объекта, (рисунок 2).

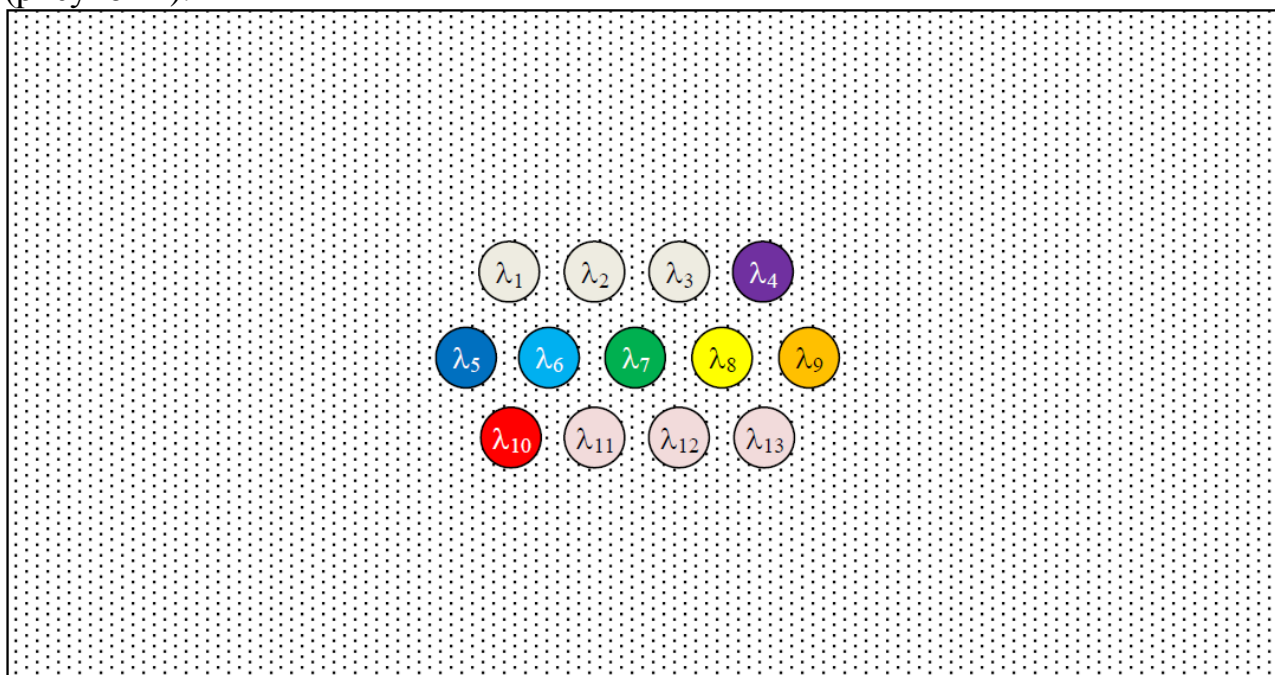


Рисунок 2 – Конфигурации тестового объекта с групповым размещением излучающих диодов

Кроме излучающих диодов, тестовый объект может содержать и другие тестовые элементы (например, пространственно-частотные миры, по аналогии с телевизионными испытательными таблицами).

Так как реальные излучающие диоды обладают различными энергетическими характеристиками (например, оптической мощностью излучения  $\Phi$ ), необходимо осуществить нормировку этого параметра по уровню меньшего значения  $\Phi_{min}$  (рисунок 3).

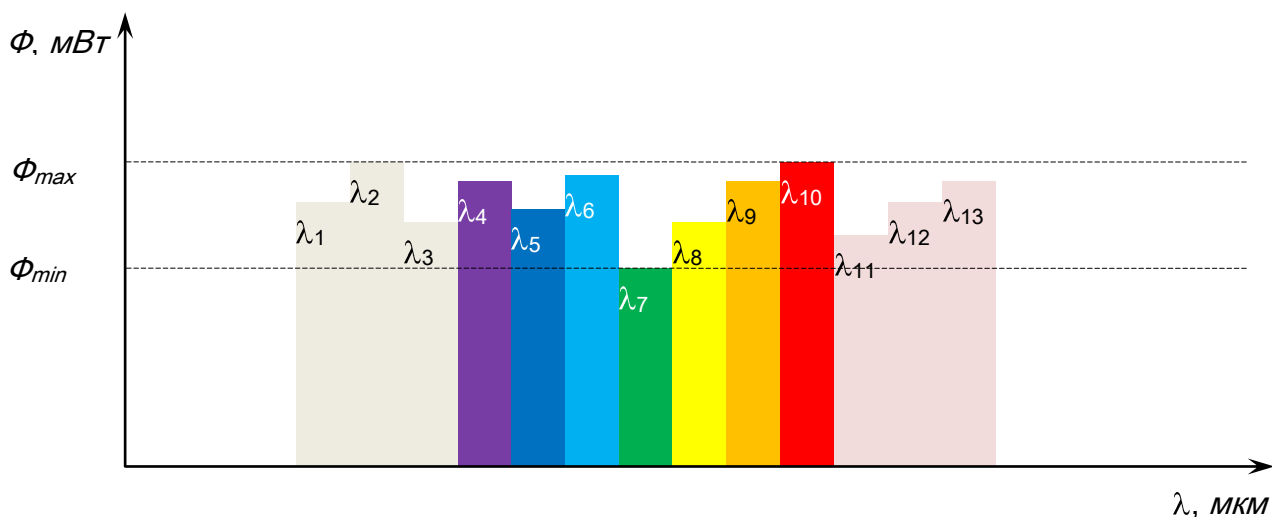


Рисунок 3 – Оптические мощности излучения  $\Phi$  излучающих диодов до нормировки

Нормировка величины  $\Phi$  по уровню меньшего значения, осуществляется в процессе оперативного контроля уровней подводимой к излучающим диодам электрической мощности.

После проведенной нормировки, обеспечивающей равенство нормируемого параметра для всех элементарных излучателей (излучающих диодов), (рисунок 4) тестовый объект готов к применению и может быть использован как инструмент экспресс-методики для уточнения границ рабочего спектрального диапазона фото- и видео-датчиков, являющихся законченными и конструктивно оформленными изделиями (фото- и телевизионными камерами), готовыми к непосредственному применению по назначению.

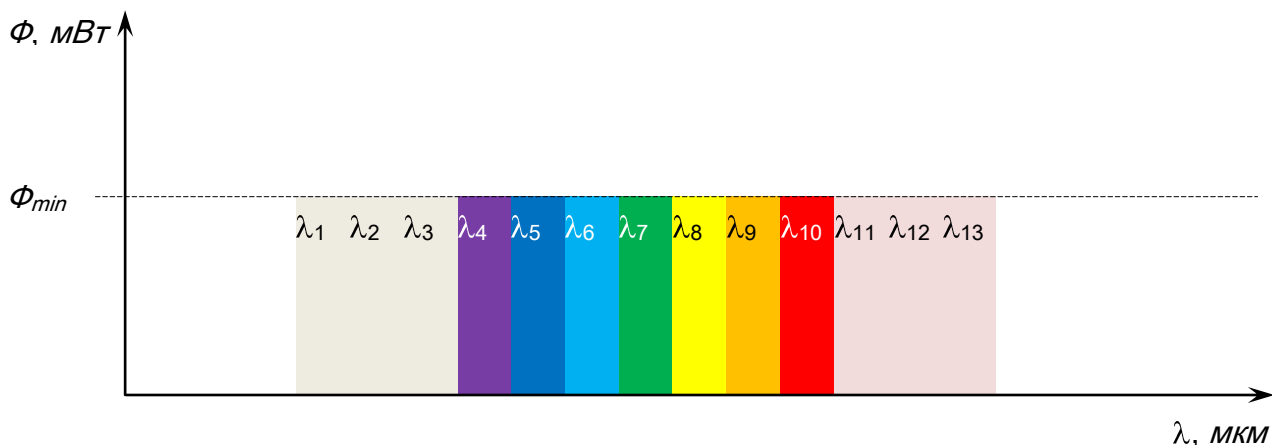


Рисунок 4 – Оптические мощности излучения  $\Phi$  излучающих диодов после нормировки

На рисунках 5 – 7 показано устройство действующего макета тестового объекта для уточнения границ рабочего спектрального диапазона фото- и видео-датчиков, снабженного органами оперативной нормировки величин  $\Phi_{\lambda_n}$ , путем изменения уровней подводимой к излучающим диодам электрической мощности за счет изменения ветчин электрических токов, протекающих в их цепях питания.



Рисунок 5 – Вид действующего макета тестового объекта без рабочей поверхности



Рисунок 6 – Вид рабочей поверхности действующего макета тестового объекта

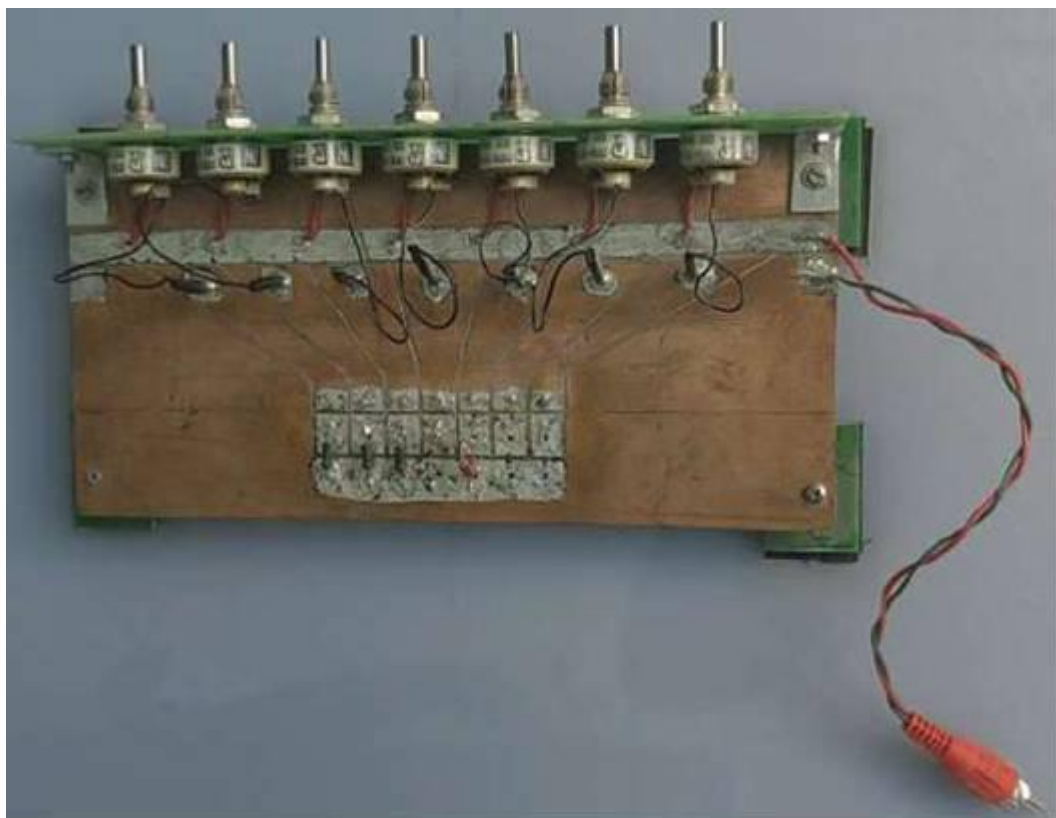


Рисунок 7 – Вид действующего макета тестового объекта в сборе (сзади)

#### Литература

1 Способ оперативной оценки спектральных характеристик чувствительности цифровых фотокамер: пат. 2626575 Рос. Федерация, МПК<sup>8</sup> G03B 43/00 / Астахов С. П., Григорьев В. В., Поликарпов А. А., Пугач Е. Е., Строев Н. Н., Федоров С. Г.; заявитель и патентообладатель АО "НИИ СТТ". – № 2016125993; заявл. 28.06.16; опубл. 28.07.17, Бюл. № 22. – 12 с.

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

### **ОЦЕНКА ДАЛЬНОСТИ ВИЗУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ БВС ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ СРЕДСТВАМИ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА**

Роль беспилотных воздушных судов (БВС) в решении различных прикладных задач, например, ведения аэрофотосъемки и видеонаблюдения участков земной поверхности и расположенных на ней объектов неуклонно возрастает, вместе с тем, возрастают требования к их эксплуатационным характеристикам, в частности к уменьшению заметности в оптическом диапазоне.

Учитывая угловое разрешение человеческого глаза, составляющего величину порядка  $1' - 2'$ , что соответствует находящемуся на расстоянии 1 км объекту с линейной величиной 30 – 60 см (при максимальном значении контраста между объектом и фоном – единичным отрицательным контрастом и максимальном значении метеорологической дальности видимости), оценка заметности БВС из состава беспилотного авиационного комплекса «Мерлин-21Б», представляющего собой летательный аппарат самолетного типа,



основные габариты которого показаны на рисунке 1, позволяет сделать следующие выводы:

- потенциальные возможности наблюдателя по визуальному обнаружению БВС на встречном курсе не превышает дальности порядка 1 км;
- потенциальные возможности наблюдателя по визуальному обнаружению БВС на параметре соответствуют дальности порядка 4 км.

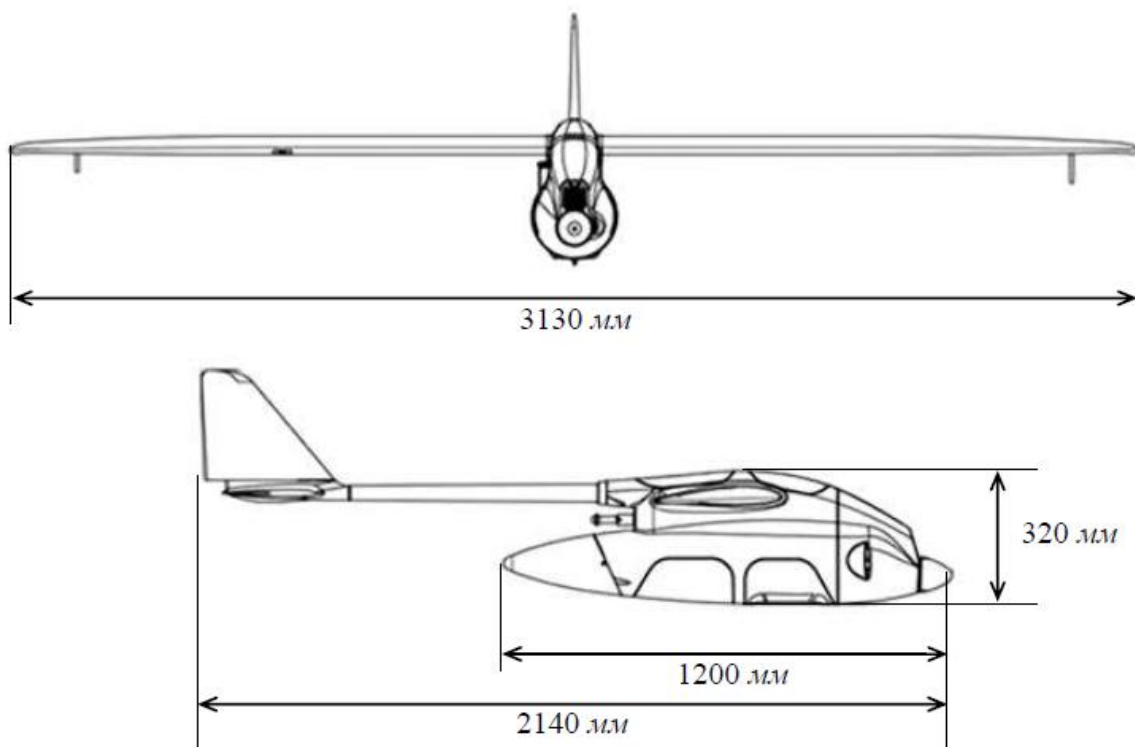


Рисунок 1 – Основные габариты БВС из состава беспилотного авиационного комплекса «Мерлин-21Б»

Оценка потенциальной дальности обнаружения БВС с помощью оптико-электронного средства видимого диапазона (на примере модульной камеры *FCB-EV7500*), обладающего следующими характеристиками:

- матричный приемник 1/2.8 "Exmor CMOS, разрешение – 1920×1080 пикс,
- оптическое увеличение – ×30 крат,
- диапазон изменения фокусного расстояния объектива ( $f'$ ) – 4,3 ÷ 129 мм,
- диапазон изменения относительного отверстия ( $F$ ) – 1,6 ÷ 4,7,
- диапазон изменения поля зрения (по горизонтали) – 63,7° ÷ 2,3°,
- диапазон изменения поля зрения (по вертикали) – 38,0° ÷ 1,3°.

Максимальная дальность, на которой с помощью камеры *FCB-EV7500* может быть уверенно обнаружен БВС в соответствии с критерием Джонсона определяется исходя из следующих упрощений и допущений (рисунок 2):

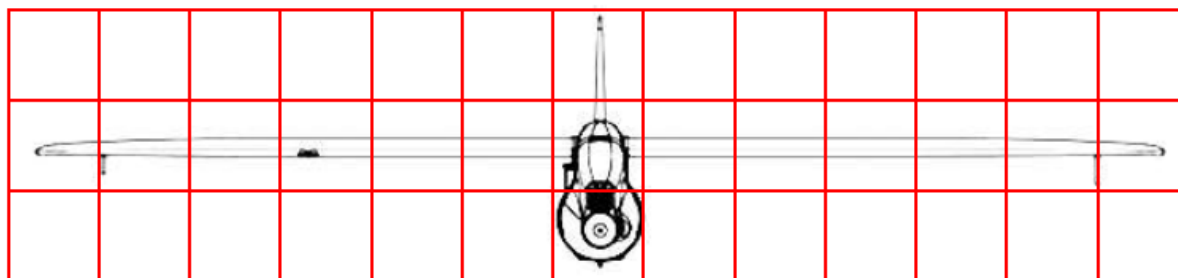
- условия наблюдения характеризуются минимальной площадью экранирования фона БВС (на встречном курсе),
- условия наблюдения характеризуются максимальным значением



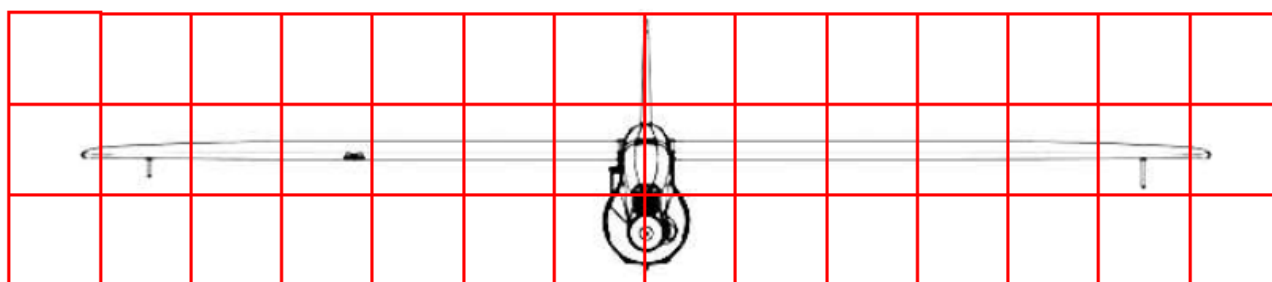
контраста между объектом и фоном (в данном случае – единичный отрицательный контраст);

- изображение объекта в его критическом размере (центроплан) должно соответствовать 1,5 – 2 элементам разрешения (*пикс*).

Соответствующие заданным ограничениям и допущениям изображения БВС «Мерлин–21Б» на дальности его уверенного обнаружения на встречном курсе (как соответствующее наиболее трудным условиям обнаружения), будут иметь вид, как показано на рисунке 3.

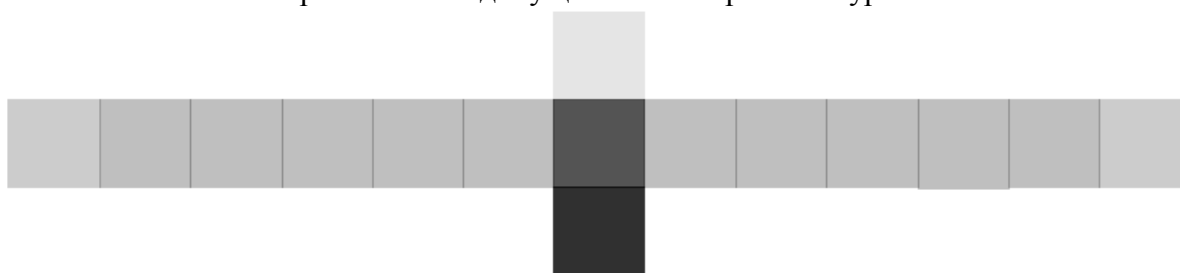


а)

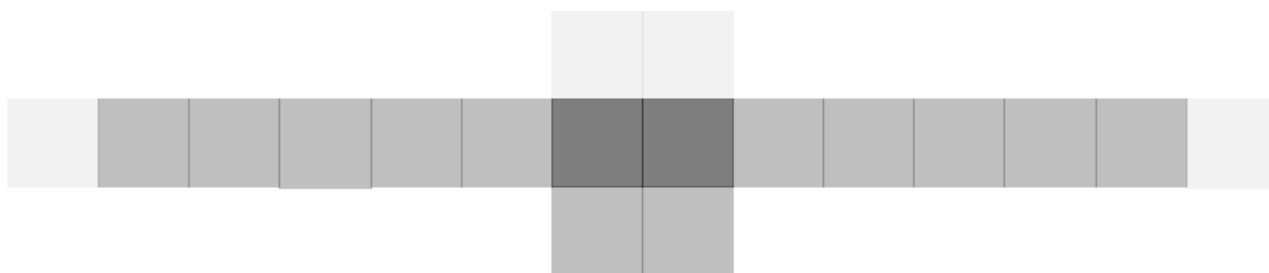


б)

Рисунок 2 – Варианты формирования изображения БВС для заданных ограничений и допущений на встречном курсе.



а)



б)

Рисунок 3 – Варианты изображений БВС на дальности его уверенного обнаружения на встречном курсе

Из соотношения:

$$L_{\text{обн}} = 0,5 \cdot n \cdot \Delta l / \ln(\alpha/2), \quad (1)$$

где  $\Delta l$  – линейный размер центроплана БВС, изображение которого формируется одним элементом разрешения;

$\alpha$  – угловой размер поля зрения оптико-электронного канала (по горизонтали или вертикали);

$n$  – размерность матрицы оптико-электронного канала (соответственно по горизонтали или вертикали),

может быть определена потенциальная дальность обнаружения БВС исходя из технических характеристик любого оптико-электронного канала.

Значение дальности уверенного обнаружения БВС на встречном курсе (при  $\Delta l = 0,16 \text{ м}$ ), на изображении, формируемом модульной камерой *FCB-EV7500* при максимальном фокусном расстоянии, определенная с помощью зависимости (1) составила величину:

$$L_{\text{обн}} (f'=129) \approx 7600 \text{ м.}$$

При больших расстояниях от пункта наблюдения до объекта, необходимо учитывать влияние рассеяния излучения в атмосфере, которое приводит к уменьшению контрастности исходного оптического изображения. Причина этого состоит в том, что излучение солнца и неба рассеивается по пути на частичках пыли, пыльцы или влаги и, попадая на зрачок объектива, суммируется с излучением, приходящим от удаленных объектов контроля, в результате, оптический контраст между объектом и фоном становится меньше.

Закономерность изменения контраста  $K$  вдоль оптического пути определяется соотношением:

$$K = K_0 e^{-\sigma L}, \quad (2)$$

где  $K_0$  – исходный контраст между объектом и фоном;

$\sigma$  – постоянная величина, определяемая условием метеорологической дальности видения (МДВ);

$L$  – расстояние до объекта в метрах.

По определению, за величину МДВ принимается такое расстояние, с которого объект черного цвета (исходный контраст между объектом и фоном равен 1) виден с контрастом 2%, например для МДВ = 10 км,

- для объекта черного цвета исходный контраст  $K_0 = 1,0$ ,

- величина видимого контраста  $K = 0,02$ ,

- величина  $\sigma = 3,91 \times 10^{-4}$ .

Величина исходного контраста  $K_0$  между БВС (с учетом его расцветки) и фоном может быть определена из зависимости:

$$K_0 = |B_{\text{БВС}} - B_{\text{ф}}| / (B_{\text{БВС}} + B_{\text{ф}}),$$

где  $B_{\text{БВС}}$  – яркость изображения БВС,

$B_{\text{ф}}$  – яркость изображения фона,

получаемые, например, путем обработки его изображения в графическом редакторе, как показано на рисунках 4 и 5.

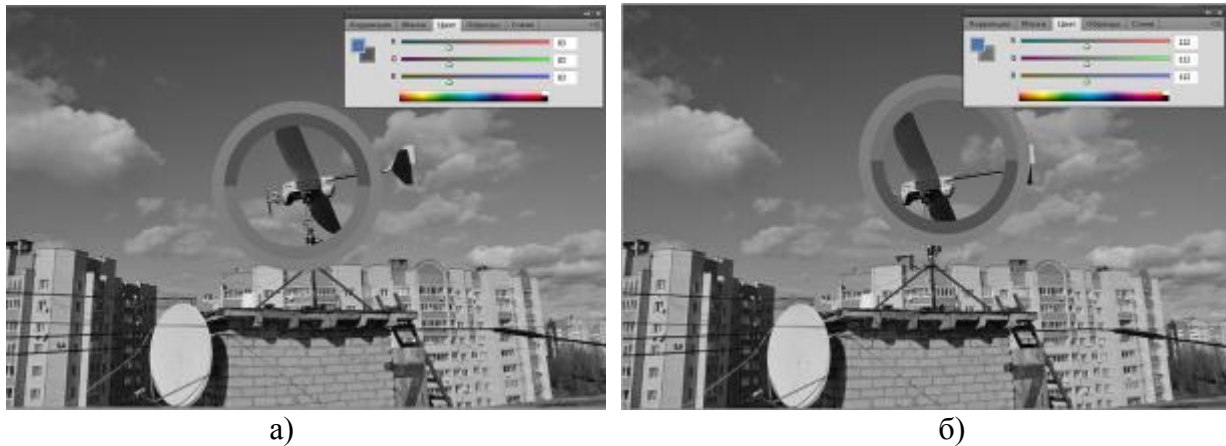


Рисунок 4 – Определение яркостей изображения (в противоположной от присолнечной области части небосвода) а) БВС, б) фона

В частности, в результате анализа изображения на рисунках 4 и 5 установлено, что:

- при нахождении БВС в противоположной от присолнечной области части небосвода величина исходного контраста  $K_{01} = 0,15$ ;
- при нахождении БВС в присолнечной области части небосвода величина исходного контраста  $K_{02} = 0,66$ .

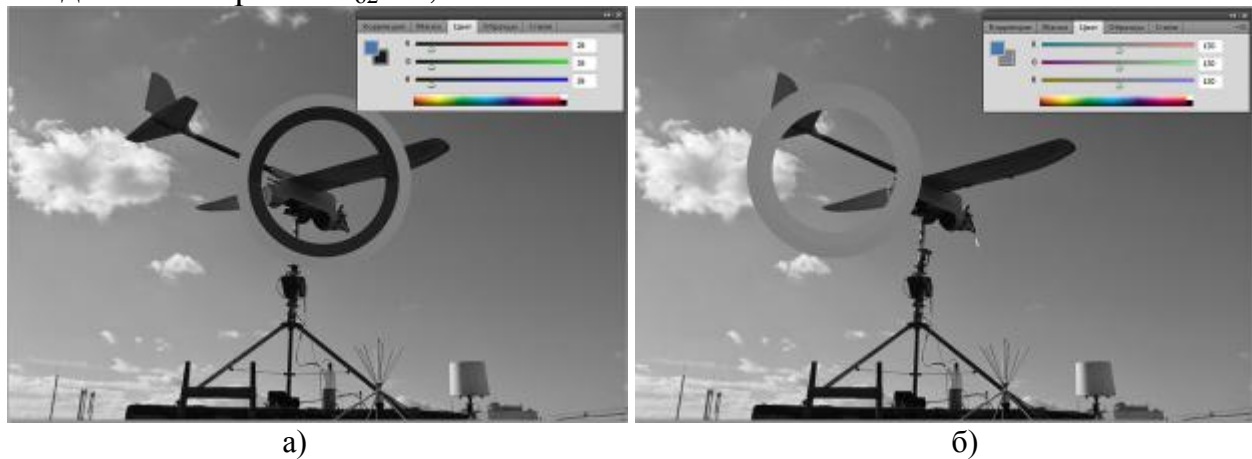


Рисунок 5 – Определение яркостей изображения (в присолнечной области части небосвода) а) БВС, б) фона

Следовательно, зависимость изменения контраста от дальности наблюдения для условий МДВ = 10км:  $\sigma = 3,91 \times 10^{-4}$ ;  $K_0 = 0,3$ ; можно записать в виде:

$$K_1 = K_{01} e^{-0,000391L} = 0,15 e^{-0,000391L}; \quad K_2 = K_{02} e^{-0,000391L} = 0,66 e^{-0,000391L}. \quad (3)$$

При выполнении условия:

$$K_{\text{пор}} = K_1 = K_2 = 0,02,$$

равенства (3) могут быть переписаны в виде:

$$0,02 = 0,15e^{-0,000391L}; \quad 0,02 = 0,66e^{-0,000391L},$$

и из них могут быть выражены дальности  $L$ , на которых с помощью модульной камеры  $FCB - EV7500$  можно обнаружить БВС:

$$L_1 = \ln(0,02/0,15)/-0,000391 \approx 5100 \text{ м}; \quad L_2 = \ln(0,02/0,66)/-0,000391 \approx 8900 \text{ м}.$$

Таким образом, проведенная оценка потенциальных возможностей оптико-электронного канала видимого диапазона (модульной камеры  $FCB-EV7500$ ) по возможности обнаружения позволила сделать следующие выводы:

- дальность обнаружения в идеальных условиях (без учета влияния атмосферы, при условии, что величина контраста БВС и фона – максимальна) составила величину  $\approx 7600 \text{ м}$ ;

- влияние реальных условий (уменьшение контраста в противоположной от присолнечной области части небосвода, при МДВ = 10 км), уменьшают дальность обнаружения БВС, как в рассмотренном примере, до величины  $\approx 5100 \text{ м}$ .

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

### **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕАЛИЗУЕМЫХ ДАЛЬНОСТЕЙ ВИДИМОСТИ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ КАМЕРЫ ПРИ ПОДСВЕТКЕ**

Для оценки реализуемых дальностей видимости телевизионной камеры  $VNI-753-H$  в условиях недостаточной освещенности с подсветкой излучающими диодами  $SFH4715S$ , в качестве исходных данных используются следующие сведения:

1) параметры специализированной камеры  $VNI-753-H3$ :

- минимальная рабочая освещенность на объекте (при значении диафрагменного числа объектива  $F$ , равным 2,0): 0,01 Лк,
- время накопления (время нахождения электронного зетвора в открытом положении): 1/50 с,

2) параметры объектива 13VG550ASII:

- максимальное значение диафрагменного числа объектива  $F$ : 1,4,

3) параметры излучающих диодов ИК-диапазона  $SFH4715S$ :

- длина волны: 850 нм,
- мощности излучения: 1 Вт,
- ширина диаграммы излучения: 45 °.

Критерием оценки количества твердотельных излучателей блока подсветки, является выполнение условия:

$$E_{e.п} \geq E_{e.пор}, \quad (1)$$

где  $E_{e.п}$  – энергетическая освещенность изображения, создаваемая отражённым от объекта излучением в плоскости матрицы ПЗС ICX659AL инфракрасной камеры на базе VNI-753-НЗ,

$E_{e.пор}$  – значение величины пороговой энергетической освещенности (чувствительность) матрицы ПЗС ICX659AL.

Величина  $E_{e.пор}$  может быть определена из выражения для оценки величины  $E_{e.п}$ , создаваемой оптической системой камеры при минимальной энергетической освещенности на объекте  $E_{об.мин}$ , которое при выполнении условия существенного превосходства дистанции наблюдения  $L$  над величиной фокусного расстояния объектива  $f'$  ( $L \gg 10f'$ ), может быть записано в виде [1]:

$$E_{e.пор} = \frac{\tau_{атм} \tau_{об} \rho_{об} E_{e.об.мин}}{4k^2}, \quad (2)$$

где  $\tau_{атм}$  – коэффициент пропускания атмосферы на дистанции наблюдения  $L$ ,

$\tau_{об}$  – коэффициент пропускания объектива камеры,

$E_{e.об.мин}$  – минимальная энергетическая освещенность на объекте,

$\rho_{об}$  – коэффициент диффузного отражения объекта,

$k$  – диафрагменное число объектива камеры.

Для перевода фотометрической величины – освещенности  $E_{v.пор}$ , измеряемой в Лк, в энергетическую величину – энергетическую освещенность  $E_{e.пор}$ , измеряемую в Вт/м<sup>2</sup> необходимо разделить  $E_{v.пор}$  на коэффициент перевода  $K_{555} = 683 \text{ Лк} / (\text{Вт/м}^2)$ , соответствующий длине волны, на которую приходится максимум чувствительности матрицы ПЗС ICX659AL:

$$E_{e.об.мин}' = 0,01 \text{ Лк} / 683 \text{ Лк} / (\text{Вт/м}^2) = 14,64 \cdot 10^{-06} \text{ Вт/м}^2. \quad (3)$$

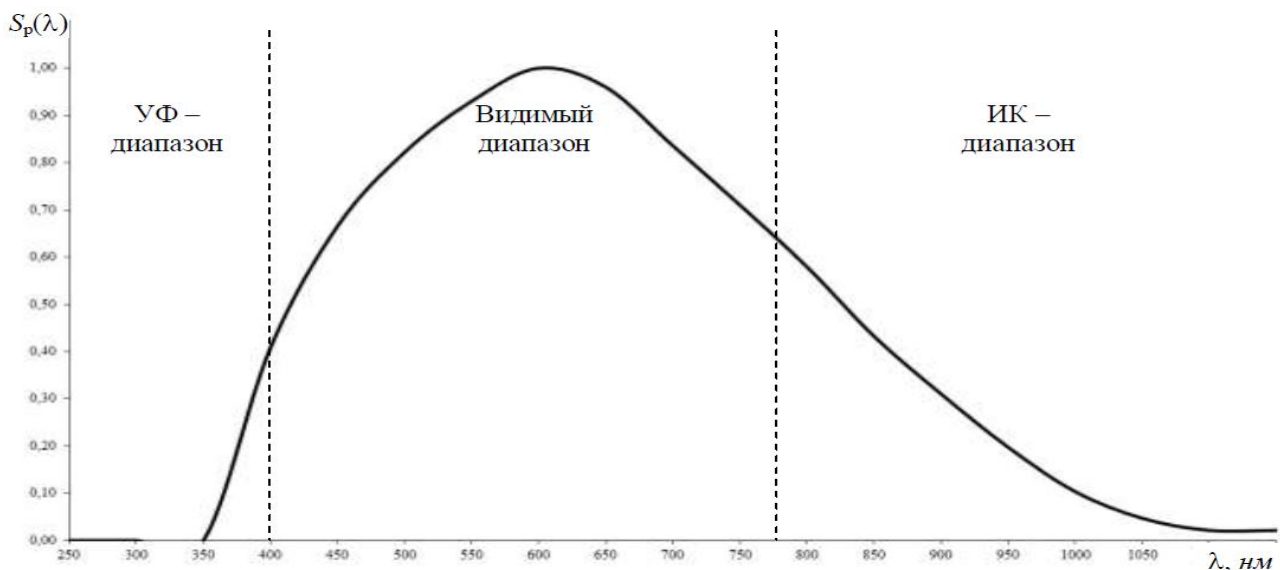


Рисунок 1 – Относительная спектральная характеристика чувствительности камеры VNI-753-НЗ с объективом 13VG550ASII

Из спектральной характеристики чувствительности камеры *VNI-753-H3* с объективом *13VG550ASII* (рисунок 1) видно, коэффициент использования ею излучения излучающих диодов *SFH4715S* составит величину 0,5, следовательно:

$$E_{e. об. min} = (1 / 0,5)^2 \cdot E_{e. об. min}' = 4 \cdot 14,64 \cdot 10^{-06} \text{ Вт/м}^2 = 58,6 \cdot 10^{-06} \text{ Вт/м}^2. \quad (4)$$

Выражение для оценки дальности, на которой создается величина энергетической освещенности  $E_{e. об. min}$ , при использовании ИК источника излучения с мощностью оптического излучения  $\Phi$  может быть записано в виде:

$$E_{e. об. min} = \frac{\rho_{об} \cdot \Phi}{\pi(L \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2))^2}, \quad (5)$$

где  $\rho_{об}$  – коэффициент диффузного отражения объекта (принимается  $\rho_{об}=0,7$ );

$\Phi$  – поток оптического излучения ИК источника, Вт;

$L$  – дальность до объекта, м;

$\alpha$  – плоский угол, вращением которого образуется телесный угол, в котором распространяется поток излучения от ИК источника излучения.

В результате проведенных расчетов, получены графики изменения энергетической освещенности создаваемой на объекте излучающими диодами *SFH4715S* (рисунок. 2), в зависимости от расстояния (1-им, 2-мя, 3-мя излучающими диодами соответственно).

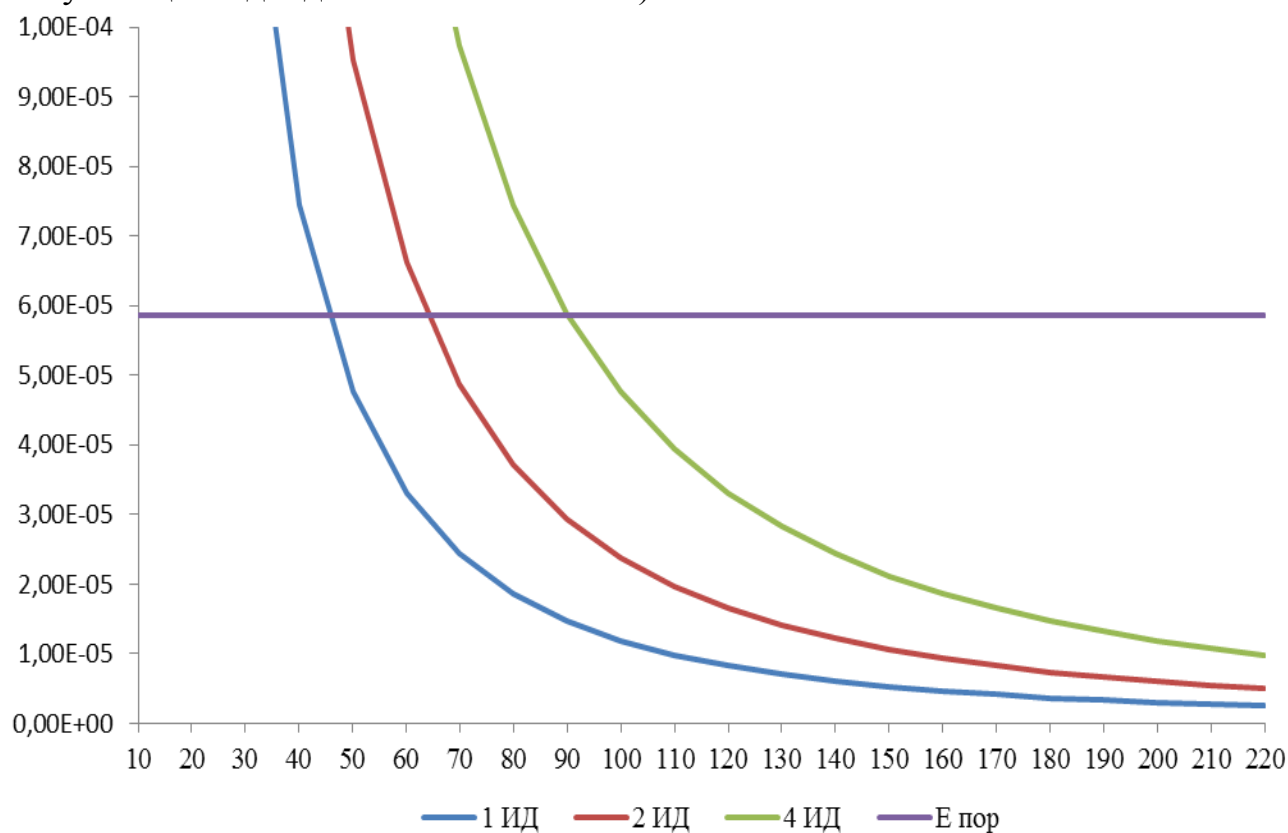


Рисунок 2 – Изменение энергетической освещенности создаваемой на объекте излучающими диодами *SFH4715S*

Анализ полученных зависимостей показывает, что:

- для обеспечения работы специализированной камеры *VNI-753-H3* со объективом *13VG550ASII* в ночных условиях на дальностях до 50 м достаточно 1 излучающего диода *SFH4715S*;
- ввиду использования объектива с переменным фокусным расстоянием *13VG550ASII*, целесообразно увеличить количество излучающих диодов *SFH4715S* в источнике ИК излучения до трех, с тем чтобы реализовать функцию увеличения изображения.

#### Литература

1 Князев М. Г. Расчет пороговых значений потока излучения и освещенности для ПЗС матриц Kodak KAI-1003M, Kodak KAI-1020 и Philips FTF3020M [Электронный ресурс] /М. Г. Князев, А. В. Бондаренко, И. В. Докучаев. – Режим доступа: [www.rastr.net/Download/Doc/KAI1003\\_KAI1020\\_FTF3020\\_v2.pdf](http://www.rastr.net/Download/Doc/KAI1003_KAI1020_FTF3020_v2.pdf).

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

### **ОСОБЕННОСТИ СХЕМЫ РАДИОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА, РАБОТАЮЩЕГО В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 950 ÷ 2150 МГц**

Радиоприемное устройство подразделяется на три категории: детекторные, прямого усиления, и супергетеродинные. При разработке радиоприемных устройств необходимо учитывать особенности выбранного принципа работы и возможности применения элементной базы для получения заданных результатов. Супергетеродинные приемники, использующие перенос частот при обработке сигналов, имеют наибольшее распространение и лучшие характеристики в сравнении с другими типами. Рассмотрение особенностей супергетеродинных приемных устройств на современной элементной базе в связи с учетом особенностей модуляции, частотных диапазонов, требуемых характеристик является актуальной задачей.

Цель работы заключается в рассмотрении особенностей структурной схемы радиоприемного устройства для заданного частотного диапазона. В качестве примера было исследовано радиоприемное устройство, работающее в широком диапазоне частот 950 ÷ 2150 МГц.

Радиоприемное устройство использует конечную промежуточную частоту 140 МГц. Версия рассматриваемого радиоприемного устройства представляет собой единую плату, конструктивно разделенную на функциональные блоки. Для обеспечения требований частотного переноса в радиоприемное устройство включено три высокочастотных конвертера, инжектор питания опорной частоты, контроллер управления диапазоном частот, тракт преобразования частоты и конвертор промежуточной частоты.

При работе радиоприемного устройства в рабочем диапазоне частот 950 ÷ 2150 МГц, обеспечивается коэффициент усиления 28 ÷ 32 дБ. Глубина регулировки коэффициента усиления составляет 40 дБ. Коэффициент шума колеблется от 8 ÷ 12 дБ.

Для приемных устройств с широким диапазоном радиочастот характерно применение двух преобразований частоты. Значение первой промежуточной

частоты выбрано 350 МГц, частота второй – 140 МГц. Полоса пропускания тракта определяется полосой фильтра первой промежуточной частоты. При работе радиоприемного устройства возможен выбор одного из двух полосовых фильтров. Работа радиоприемного устройства осуществляется по принципу усиления сигнала и его преобразования.

Высокочастотный вход радиоприемного устройства оборудован инжектором напряжения питания и сигнала опорной частоты. Структурная схема показана на рисунке 1. В состав радиоприемного устройства входят следующие функциональные узлы:

- инжектор питания опорной частоты, предназначенный для питания внешнего сверхвысокочастотного-конвертора,
- встроенный управляющий контроллер, осуществляет настройку гетеродинов, переключение поддиапазонов преселектора и корректировку усиления тракта в соответствии с указанной частотой.
- тракт преобразования частоты, предназначен для приема радиосигналов и их преобразования в низкочастотные звуковые сигналы.

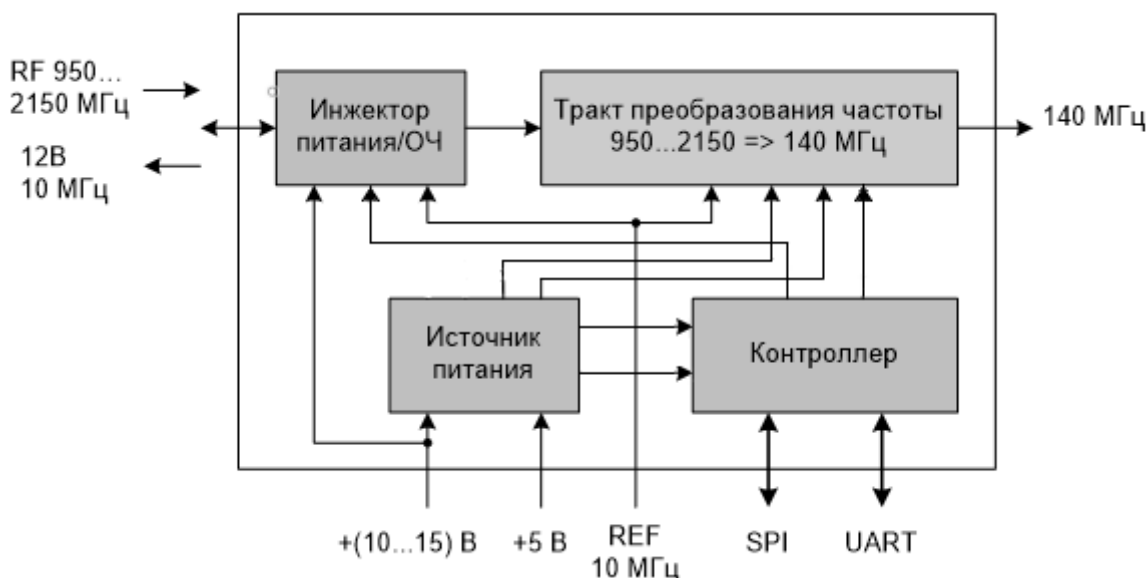


Рисунок 1 – Структурная схема радиоприемника

Инжектор специализирован для подачи питания на внешнее устройство, подключаемое к антенному входу. Таким устройством сверхвысокочастотный конвертор преобразующий сигнал в стандартный диапазон 950 ÷ 2150 МГц. При необходимости на внешнее устройство может быть подана частота опорного сигнала 10 МГц. Инжектор напряжения питания имеет защиту от перегрузки и короткого замыкания в виде ограничителя тока. Также для синхронизации работы гетеродинов необходима подача внешнего опорного сигнала 10 МГц.

Радиоприемное устройство поддерживает два физических интерфейса SPI и UART. Интерфейс SPI формирует тактовые импульсы и принимает команды с любым номером канала, в ответе на запрос возвращается номер канала 1. Максимальная тактовая частота SCK составляет 2,7 МГц, но имеется ограничение по интервалу времени между передачей байтов в цикле чтения. Это



ограничение связано с уменьшением скорости тактирования *SPI* до  $\sim 400$  кГц, либо ввода дополнительных пауз. Пример временных диаграмм работы *SPI* интерфейса показан на рисунке 2.

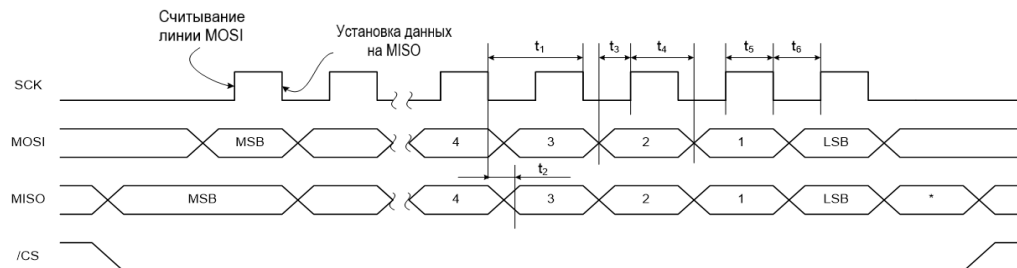


Рисунок 2—Временные диаграммы работы SPI-интерфейса

Интерфейс *UART* отличительных способностей не имеет и используется как второй канал управления радиоприёмным устройством. Интерфейс *UART* позволяет допускать использование шинного подключения при работе с несколькими блоками приемников. На выход при отсутствии передачи переводится в отключенное состояние; предусмотрена встроенная подтяжка цепи к уровню  $3V$  через сопротивление  $\sim 40$  кОм.

Радиоприемный тракт построен по супергетеродинной схеме с двойным преобразование частоты, предназначен для приема радиосигналов и их преобразования в низко частотные звуковые сигналы пример показан на рисунке 3.

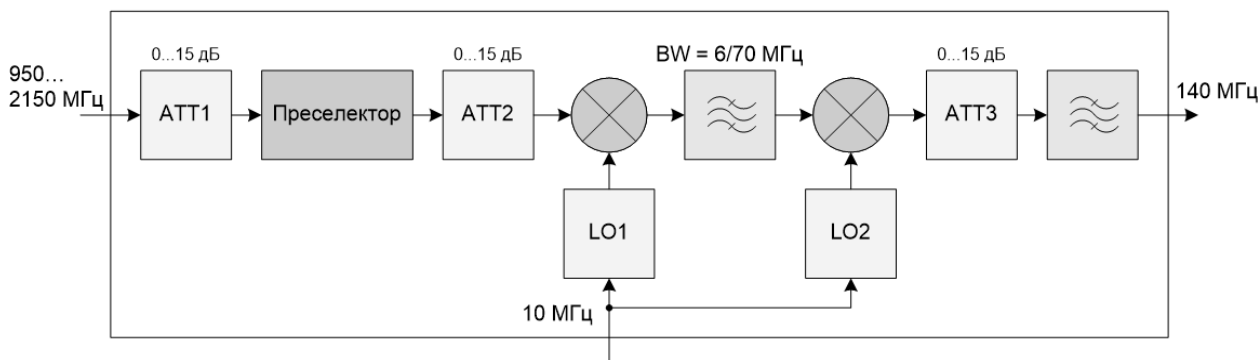


Рисунок 3— Структурная схема тракта преобразования частоты

На вход тракта подаются сигналы в диапазоне частот  $950 \div 2150$  МГц. Для регулирования амплитуды колебаний используется аттенюатор. Для обеспечения заданного уровня регулирования коэффициента усиления применяется сборка трёх цифровых аттенюаторов. Максимальная глубина регулировки составляет 40 дБ.

Полоса пропускания формируется переключаемым SAW-фильтром в канале первой промежуточной частоты. Это позволяет использовать две полосы пропускания — 6 и 70 МГц.

Таким образом, было рассмотрено радиоприемное устройство, работающее в диапазоне частот  $950 \div 2150$  МГц. Объектом рассмотрения использован супергетеродинный тип радиоприёмного устройства основанного на принципе

преобразования принимаемого сигнала в сигнал фиксированной промежуточной частоты с последующим её усилением. Были выявлены особенности структурной схемы радиоприемного устройства. Показана работа тракта преобразования частоты построенного по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты и инжектора питания опорной частоты, предназначенного для питания внешнего сверхвысокочастотного-конвертора.

#### Литература

1 Принципы построения радиоприемников с цифровой обработкой сигнала – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-postroeniya-radiopriemnikov-s-tsifrovoy-obrabotkoy-signala/viewer> (дата обращения 20.07.2022).

2 Оценка чувствительности радиоприемников с настроенными антеннами – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-chuvstvitelnosti-radiopriemnikov-c-nastroennymi-antennami/viewer> (дата обращения 25.07.2022).

3 Оценка способности радиоприемника обеспечивать прием полезного сигнала в условиях помех – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sposobnosti-radiopriemnika-obespechivat-priem-poleznogo-signal-a-v-usloviyah-pomeh> (дата обращения 25.07.2022).

*С.П. Астахов, к. т. н., доц.; Н.Н. Строев, к. т. н., доц.;*

*И.В. Якименко, д. т. н., доц.; Е.С. Сулимский, инж.*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, АО «НИИ СТС»)*

### **ПЛОЩАДНОЙ КВАЗИОПТИЧЕСКИЙ ОСВЕТИТЕЛЬ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН**

Системы радиовидения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов в последнее десятилетие получили высокий импульс развития за счет развития радиоэлектронной элементной базы и аппаратуры. Высокий интерес к данным системам радиовидения обусловлен приемлемыми параметрами размерности исследуемых объектов и безопасностью в применении [1, 5].

Основная особенность средств освещения для подобных систем в том что объект наблюдения, имеющий сложный рельеф поверхности со свойствами зеркального отражения, является типичным в случае радиовидения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн. Соответственно, наблюдение поверхности объекта будет возможно только в случае применения источника освещения с диффузными свойствами.

Работа рассматриваемого площадного осветителя миллиметрового диапазона длин волн с диффузными свойствами основана на явление дифракции и интерференции волн, исходящих из системы параллельных диэлектрических волноводов. Форма распределения электромагнитной энергии сохраняет структуру, заданную расположением диэлектрических волноводов, на расстоянии  $Z$ . Расстояние на котором выходная апертура системы параллельных диэлектрических волноводов совпадает с нулевой зоной Френеля ограничивает область применения данного подхода ближней зоной [5].

Экспериментальное исследование площадного осветителя миллиметрового диапазона длин волн включало в себя использование следующего оборудования:

- генератор на *IMPATT*-диоде с частотой излучения – 98 ГГц и мощностью излучения – 80 мВт [2, 5],
- конический рупорный излучатель (антенна коническая рупорная миллиметрового диапазона «АНКР 90000–100000»), с характеристиками представленными в [3],
- матричная камера миллиметрового диапазона *Tera-1024* [2], с размерами чувствительной (активной) поверхности – 48×48 мм, разрешением – 32×32, размером элемента разрешения – 1,5×1,5 мм и шумовой эквивалентной мощностью (*NEP*) – 1 нВт/Гц<sup>1/2</sup>,
- квазиоптический объектив, состоящий из двух плосковыпуклых линз диаметром 100 мм из тефлона [5].

Полученное в ходе экспериментального исследования площадного квазиоптического осветителя распределение электромагнитной энергии в диаграмме направленности при использовании в качестве осветителя генератора миллиметрового диапазона на *impatt*-диоде с конической рупорной антенной миллиметрового диапазона (рисунок 1, а, б) показывает что:

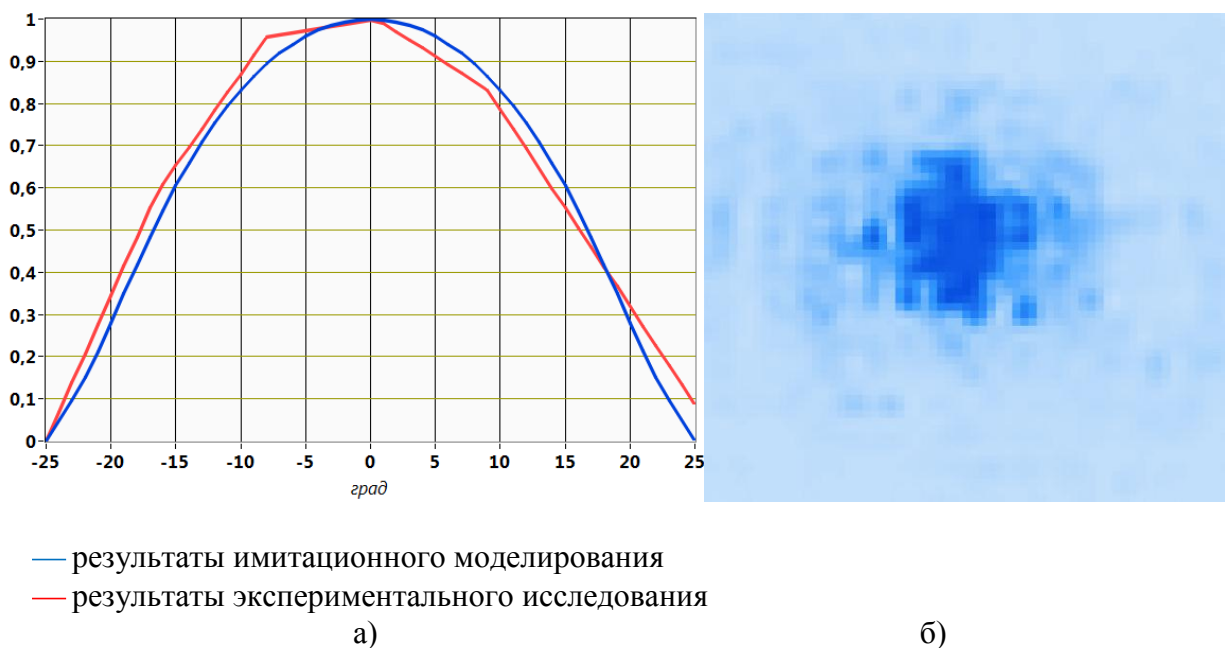


Рисунок 1 – Распределения электромагнитной энергии:

- а) в диаграмме направленности конического рупорного излучателя,  
б) в плоскости чувствительной поверхности матричной камеры

- освещаемый им плоскостной участок поверхности исследуемого объекта облучен неравномерно (рисунок 1, б). Критерием неравномерности является доля равномерно освещенной поверхности в пределах прямоугольной области, описанной вокруг полученной формы распределения электромагнитной энергии. Равномерно освещенной поверхностью считается поверхность глубина колебания распределения электромагнитной энергии которой равна -3 дБ или 70 % от максимального значения,

- вследствие неравномерного освещения объекта возможно формирование ложного изображения несуществующей неоднородности исследуемого объекта,

- значительная часть излучаемой им электромагнитной энергии не попадает в поле зрения матричной камеры, имеющей чувствительную (активную) поверхность прямоугольной формы. Следовательно излучаемая электромагнитная энергия используется нерационально.

С учётом выявленных недостатков проведены серии экспериментов для их устранения. Экспериментально исследовано формирование адаптированной к полю зрения матричной камеры (с чувствительной прямоугольной поверхностью) конфигурации диаграммы направленности излучения осветителя с помощью квазиоптической системы, помещаемой в раскрыв конического рупорного излучателя.

Полученные результаты легли в основу конструкции квазиоптической системы на основе тетрагональной матрицы, образованной диэлектрическими волноводами, имеющими форму параллелепипедов (рисунок 2).

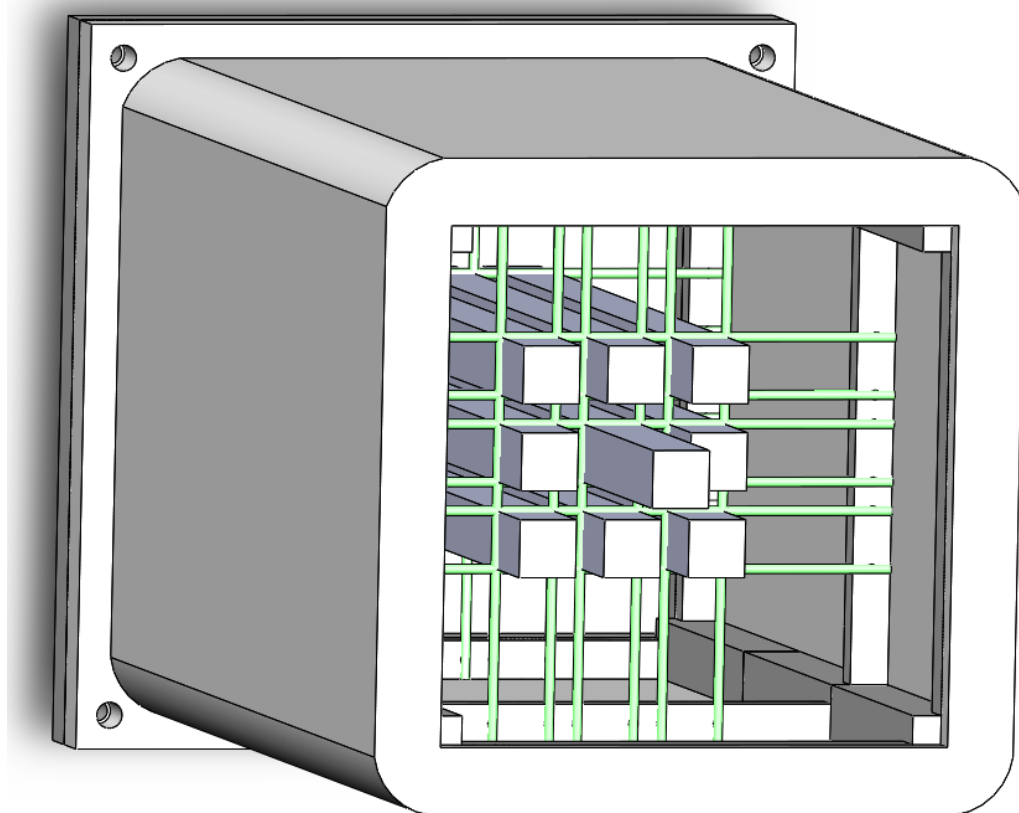


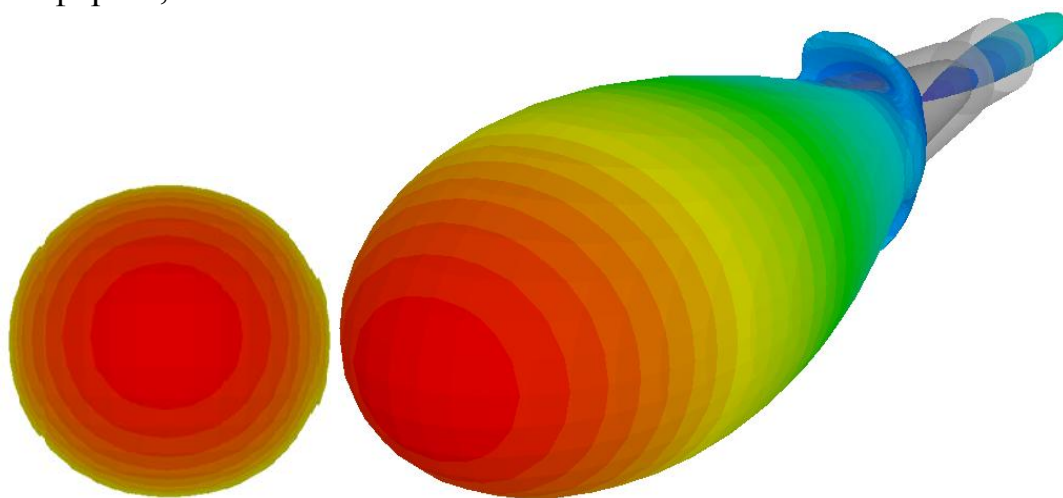
Рисунок 2 – Внешний вид квазиоптической системы на основе тетрагональной матрицы, образованной диэлектрическими волноводами, имеющими форму параллелепипедов

Анализ результатов имитационного моделирования показывает, что преобразование исходной формы диаграммы направленности излучения конического рупорного излучателя (рисунок 3) с помощью площадного квазиоптического осветителя к виду, имеющему поперечное сечение, близкое к прямоугольной форме (рисунок 4) проведено успешно. Подобное распределения электромагнитной энергии (рисунок 5, а) позволяет достаточно равномерно

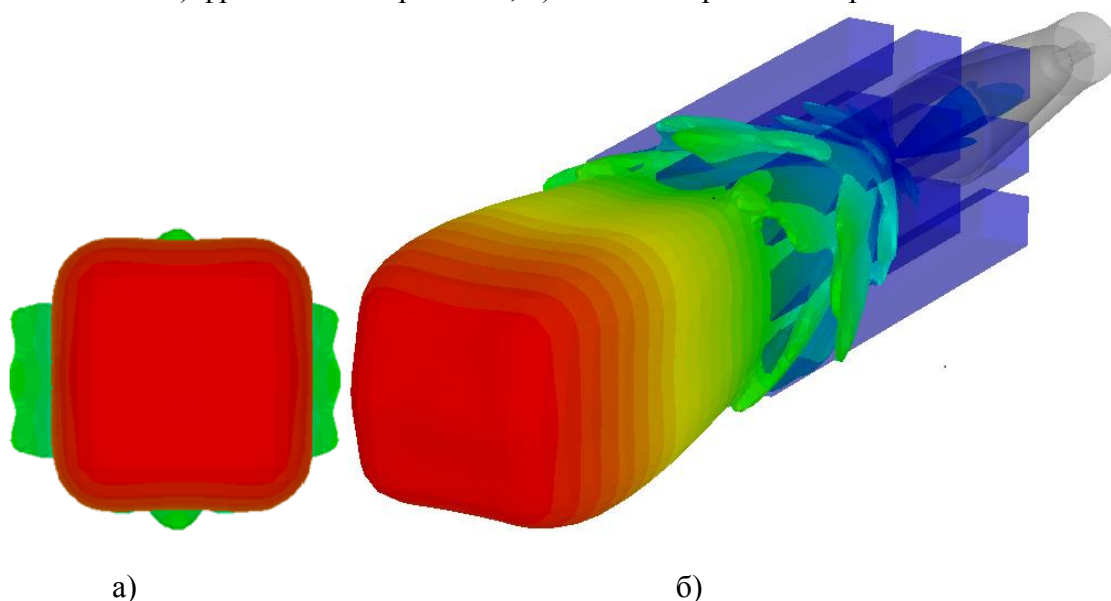
облучать участок поверхности, по форме близкий к прямоугольному, исследуемого объекта с расстояний в 7,5 см (рисунок 5, б).

Проведенные экспериментальные исследования площадного квазиоптического осветителя в миллиметровом диапазоне длин волн, показывают, что:

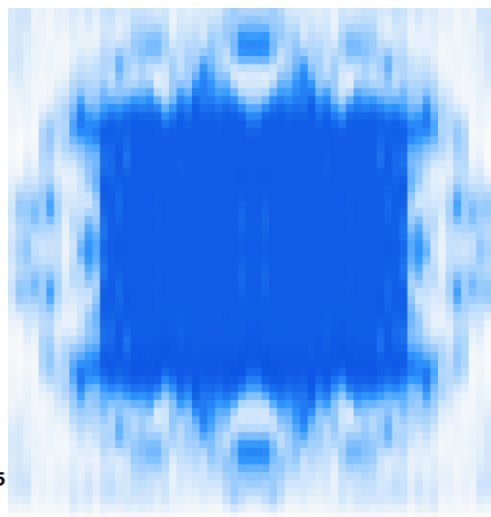
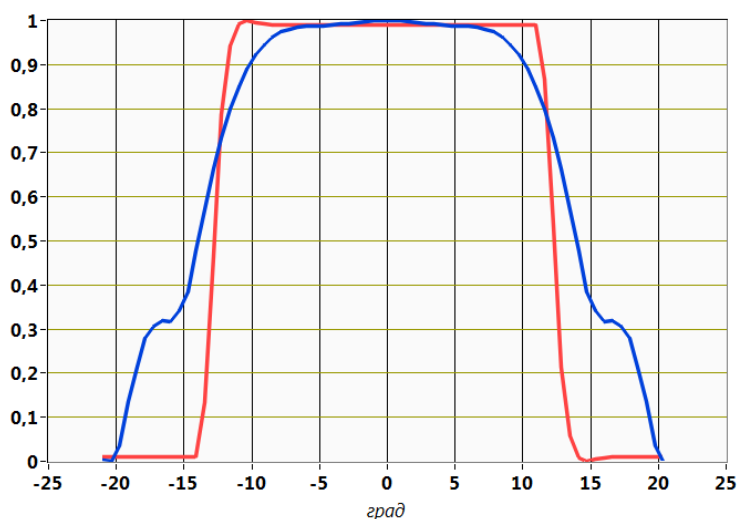
- освещаемый им плоскостной участок поверхности объекта достаточно равномерно облучен. Использование подобного осветителя для функционирования системы технического зрения миллиметрового диапазона более рационально, чем конического рупорного излучателя, так как большая часть излучения достаточно равномерно распределяется по форме близкой к прямоугольному участку поверхности, к размерам которого адаптировано поле зрения матричной камеры, имеющей чувствительную (активную) поверхность прямоугольной формы,



а) б)  
Рисунок 3 – Форма диаграммы направленности излучения  
конического рупорного излучателя:  
а) фронтальная проекция, б) аксонометрическая проекция



а) б)  
Рисунок 4 – Форма диаграммы направленности излучения конического рупорного излучателя  
с квазиоптическим площадным осветителем:  
а) фронтальная проекция, б) аксонометрическая проекция



— результаты имитационного моделирования  
 — результаты экспериментального исследования

а)

б)

Рисунок 5 – Распределения электромагнитной энергии:

а) в диаграмме направленности конического рупорного излучателя с квазиоптическим площадным осветителем,

б) в плоскости чувствительной поверхности матричной камеры

- некоторое множества осветителей такой конструкции может использоваться для построение системы освещения более крупных плоскостных поверхностей. Система из осветителей обеспечит относительно равномерное облучение поверхности за счёт реализации принципа «мозаичного» облучения,
- для увеличения дальности и площади облучения одиночным осветителем необходимо увеличения размера выходной апертуры осветителя за счет увеличения числа параллельных диэлектрических волноводов,
- при увеличении количества параллельных диэлектрических волноводов потребуется замена осветителя, снабжённого коническим рупорным излучателем, на другой с подходящей выходной апертурой.

#### Литература

1 Appleby R., Robertson D.A., Wikner D. Millimeter wave imaging: a historical review // SPIE Defense + Security. Millimeter wave imaging. 2017. S. 1018902.

2 Terahertz products [Электронный ресурс] // Terasense Group Inc. URL: <https://terasense.com/products> (дата обращения: 13.08.2022).

3 Антенна направленная «АНКР 90000-100000» [Электронный ресурс] // АО «НИИ СТТ». URL: [https://www.niistt.ru/products/radio/antennfid/antenns/ankr\\_90-100.aspx](https://www.niistt.ru/products/radio/antennfid/antenns/ankr_90-100.aspx) (дата обращения: 15.09.2022).

4 Устройство для изменения распределения энергии в плоскости раскрыва конического излучателя системы радиовидения миллиметрового диапазона: пат. 2728249 Рос. Федерация, МПК H01Q 3/26 / Сулимский Е. С., Строев Н. Н., Астахов С. П., Власенкова А. А., Тимофеева Н. С.; заявитель и патентообладатель АО «НИИ СТТ». № 2020101335; заявл. 15.01.2020; опубл. 28.07.2020, Бюл. № 22. 10 с.: ил.

5 Результаты экспериментального исследования методики преобразования диаграммы направленности излучения конического рупорного излучателя миллиметрового (субтерагерцового) диапазона / Астахов С.П., Строев Н.Н., Якименко И.В., Сулимский Е.С. // Светотехника. 2021. № 4. С. 74 –77.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СТРУКТУРЫ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ**

Знание закономерностей структуры инфракрасного излучения атмосферы необходимо для развития оптико-электронных средств наблюдения артефактов на фоне излучающей атмосферы. Можно выделить три основных направления в исследованиях закономерностей структуры инфракрасного излучения атмосферы. Первое – это пространственное распределение яркости облачного поля, образованного в атмосфере. Второе – это временная изменчивость излучения атмосферы в заданном направлении. Третье – это пространственно-временная изменчивость структуры излучения облачного поля.

Таким образом, получив статистические характеристики пространственного распределения яркости можно оценить размеры объектов облачного поля, характеристики временной изменчивости позволят оценить спектральный состав сигнала, определяемого флуктуациями излучения атмосферы, а пространственно-временная изменчивость структуры излучения позволит оценить «время жизни» образовавшегося облачного поля.

Для проведения измерений использовался разработанный (с участием автора) измерительно-вычислительный комплекс (ИВК), основным элементом которого был радиометр, работающий одновременно в двух диапазонах 3–5 и 8–13 мкм. ИВК позволял получать и статистически обрабатывать ряды величин яркости в выбранном направлении либо пространственные растры (кадры) (рисунок 1). Диапазоны  $\Delta\epsilon$  и  $\Delta\beta$  выбираются в зависимости от методики измерений и закона сканирования пространства. Закон сканирования выбирается исходя из набора исследуемых статистических параметров и характеристик пространственно-временной структуры излучения атмосферы и возможностями измерительной аппаратуры (рисунок 1).

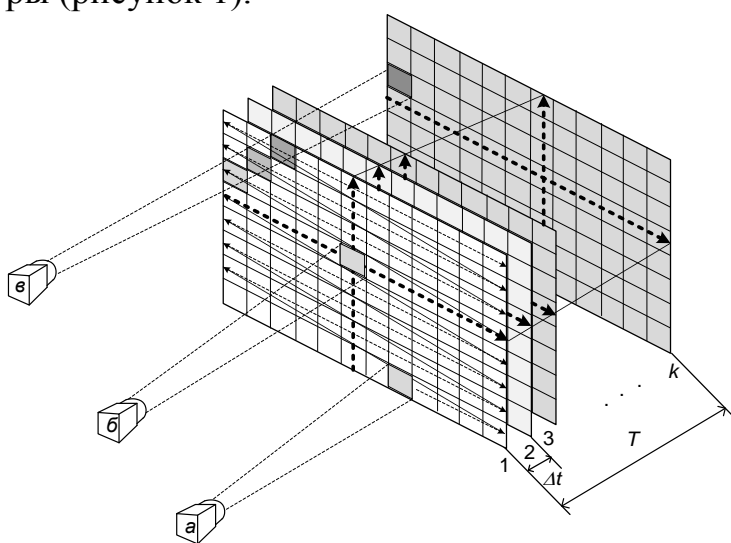


Рисунок 1 – Схема сканирования пространства радиометром при исследованиях пространственной (а), пространственно-временной (б) и временной (в) структуры инфракрасного излучения атмосферы



Для этого исследование пространственного распределения при помощи ИВК снимались пространственные растры (кадры) распределения яркости излучения атмосферы  $B_{i,j}$ , где  $i$  – номер отсчета угла места  $\epsilon$ ;  $j$  – номер отсчета по азимуту  $\beta$  (рисунок 1, а).

Исследования пространственного распределение яркости облачного поля заключались в обработке статистическими методами полученных в ходе измерений выборок в интересах оценки параметров и характеристик пространственной структуры инфракрасного излучения атмосферы (рисунок 2).

Закономерности пространственной структуры распределение средних значений, дисперсии, среднеквадратических отклонений яркости, законы распределения вероятностей, корреляционные функции и пространственные спектры. подробно описаны в источнике [1–4].

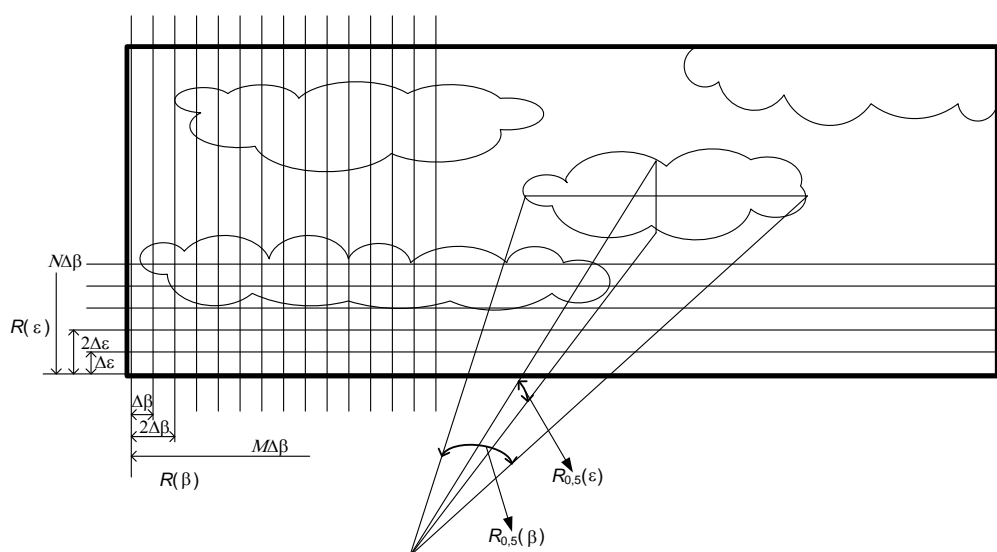


Рисунок 2 – Оценка пространственной структуры собственного излучения облачного поля кучевой облачности в 4-6 баллов по радиусам корреляции в горизонтальном и вертикальном направлениях

Следующим направлением экспериментальных исследований стал процесс выявления закономерностей временной изменчивости яркости путем регистрации излучения атмосферы при неподвижных осях радиометра (рисунок 1, б). Измерения проводились путем чередования направлений в диапазоне от  $10^\circ$  до  $26^\circ$  по углу места  $\epsilon$ , при этом значение азимута  $\beta$  оставалось зафиксированным в течение 1 мин, с частотой 8 кГц. Таким образом, каждое направление обеспечивало получение последовательностей из 960 000 значений яркости атмосферы через каждые  $2^\circ$ . Таким образом, выборка состояла из 9 одномерных массивов по 960 000 точек в каждом. Были получены результаты измерений для ясного неба, а также различных видов и баллов облачности.

Полученные массивы были подвергнуты обработке в интересах получения автокорреляционной функции (АКФ) и оценки радиуса корреляции. Результаты статистической обработки представлены на рисунках 3.



Интервалы корреляции АКФ для канала 3–5 мкм находятся в пределах 100 мс, что соответствует максимальной частоте флуктуаций 10 Гц. Временная изменчивость яркости в диапазоне 3–5 мкм обладает закономерностью уменьшения величин интервалов корреляции при увеличении угла места наблюдения. Это объясняется тем, что при увеличении угла места эффект экранирования облаков друг другом уменьшается и появляется большее число просветов между ними. Для канала 8–13 мкм максимальная частота флуктуаций находится в пределах 250 Гц. Временной изменчивости яркости при увеличении угла места наблюдения в диапазоне 8–13 мкм практически не наблюдается [1–4].

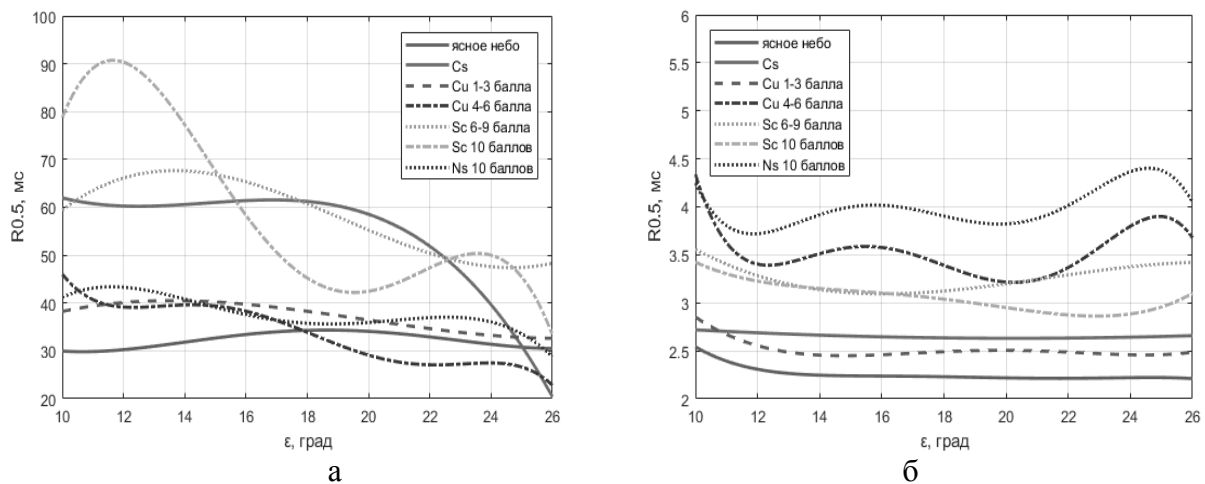


Рисунок 3 –Зависимость радиуса корреляции от угла места для канала радиометра 3–5мкм (а) и 8–13мкм (б)

Еще одним направлением экспериментальных исследований стал процесс выявления закономерностей пространственно-временной изменчивости яркости излучения атмосферы (рисунок 1, в). Результаты исследования в диапазоне 8–13 мкм показали, что значения радиусов корреляции при кучевой (Cu) и высококучевой (Ac) облачности менялись от 30 до 150 с (на уровне 0,5). В случаях облачности меньшей бальности, величины радиусов пространственно-временной корреляции увеличивались с уменьшением угла места наблюденияε (рисунок 4).

Величина радиуса корреляции пространственно-временных корреляционных функций флуктуаций яркости излучения атмосферы находится в пределах 30–120 с и изменяется в зависимости от скорости происходящих в атмосфере термодинамических и турбулентных процессов. Эти интервалы времени эквивалентны времени существования («жизни») образовавшихся пространственных размеров излучающих неоднородностей различных типов АФ [1–4].

Поскольку измерения проводились в двух диапазонах 3–5 и 8–13 мкм одновременно и в одном направлении, появился интерес проверить гипотезу о существовании между ними корреляционных связей. Результаты экспериментальных исследований яркости излучения атмосферы подтвердили

существование корреляционной связи, характеризующейся высоким коэффициентами взаимной пространственной корреляционной между строками и столбцами растров, полученных в диапазонах 3–5 и 8–13 мкм (рисунок 1, в). При углах места больших  $10^\circ$  величины коэффициентов взаимной пространственной корреляции лежат в интервале от 0,8 до 0,99, что подтверждает наличие в поле зрения растра объектов одинаковых размеров (рисунок 5) [1–4].

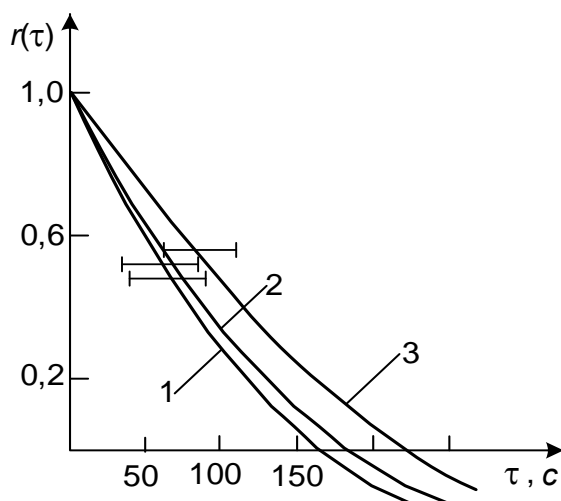


Рисунок 4 – Пространственно-временные корреляционные функции для трех сечений растров при кучевой облачности (Cu) в 4-6 баллов: 1 – для угла места наблюдения  $\varepsilon \approx 20^\circ$ , 2 – для  $\varepsilon \approx 15^\circ$ , 3 – для  $\varepsilon \approx 10^\circ$

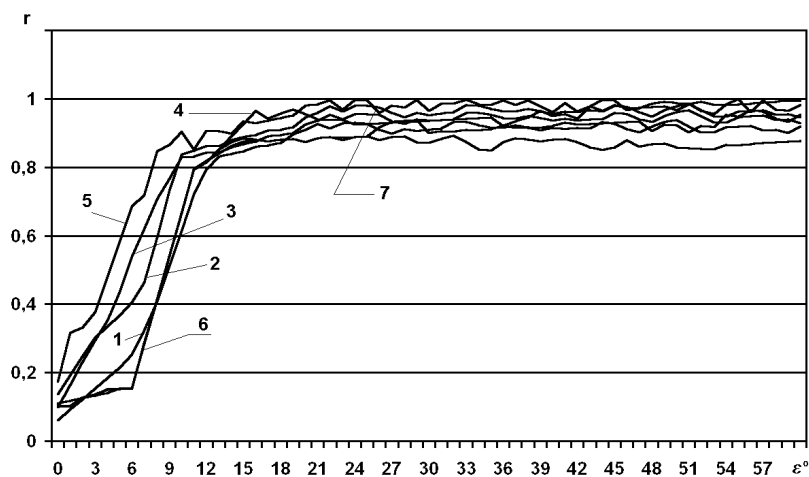


Рисунок 5 – Зависимости коэффициента корреляции между строками растров в диапазонах 3–5 и 8-13 мкм в зависимости от угла места: 1 – для кучевой (Cu) в 1–3 балла; 2 – для Cu в 4–6 баллов; 3 – для Cu в 7–9 баллов; 4 – для слоистокучевой (Sc) в 4–6 баллов; 5 – для Sc в 7–9 баллов; 6 – для высококучевой (Ac) в 4–6 баллов; 7 – для Ac в 7–9 баллов.

Из полученных зависимостей (рисунок 5) видно, что коэффициенты взаимной пространственной корреляции излучения атмосферного фона между диапазонами 3–5 и 8–13 мкм в пригоризонтной области ( $\alpha=0-10^\circ$ ) изменяются от 0,1 до 0,8, что объясняется с влиянием теплового излучения подстилающей поверхности земли на яркость атмосферного фона [1–4].

Таким образом, результаты исследования закономерностей структуры инфракрасного показали, что излучения атмосферы обладает пространственно-временной нестационарностью. Выявленные закономерности позволяют оценить области пространства и интервалы времени, в которых можно считать процесс излучения атмосферы стационарным. Исходя из этого, закономерности пространственного распределения яркости позволяет оценить угловые размеры объектов облачного поля (3–5°), закономерности временной изменчивости позволяет оценить спектральный состав сигнала (10–250 Гц), определяемого флуктуациями излучения атмосферы, а пространственно-временная изменчивость структуры излучения позволяет оценить «время жизни» образовавшегося облачного поля (30–120 мин.).

#### Литература

1. 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. — ISBN 978-5-8114-1732-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211643> (дата обращения: 20.05.2022).
2. Якименко И.В., Мищенко А.М., Рачковский С.С., Смолин В.А. Результаты экспериментальных исследований пространственной структуры излучения атмосферы в диапазоне 1,5–2 мкм // М.: Светотехника. - 2018. № 1. - С. 40–44.
3. Yakimenko I.V., Mishchenko A.M., Rachkovsky S.S., Smolin V.A. Results of spatial structure of atmosphere radiation in a spectral range (1.5–2)  $\mu\text{m}$  research // Light & Engineering, 2018. Volume 26, number 3, pp. 7–13. ([Web of Science](#), [Scopus](#)).
4. I.V. Yakimenko, Yu.I. Yakimenko, ... Statistical models of the radiance spatial structure of clouds of different types in the 1.5–2  $\mu\text{m}$  range. Proceedings of International Symposium «Atmospheric Radiation and Dynamics» (ISARD-2019). Saint-Petersburg State University, 2019. pp. 220–221.

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

#### МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТАМЕРИЗМА

В современной промышленности метамерия играет важную роль. Метамерия (метамеризм) – это сопоставление видимого цвета объектов с источниками света, имеющими разное спектральное распределение мощности. То есть два стимула, имеющие несопоставимо разные спектральные распределения энергии, могут соответствовать друг другу по цвету. Совпадающие цвета называются метамерами [1]. Метамерия может стать серьезной проблемой для производителей, объединяющих разные материалы или материалы из разных ис-

точников в один продукт. Поэтому, чтобы знать, как минимизировать метамерию, необходимо уметь ее определять.

В приложениях, критичных к цвету, функции подбора цветов (CMFs) отдельных наблюдателей могут быть измерены и компенсированы. Этот процесс отнимает много времени и должен повторяться для каждого наблюдателя. В ситуациях, когда ожидается согласование между несколькими наблюдателями и устройствами, возможно будет лучше вместо этого использовать дисплеи. Так как они сводят к минимуму воспринимаемые различия, возникающие в результате метамерии наблюдателя.

Индексы метамерии наблюдателя (OMI) направлены на прогнозирование распределения цветовых различий, вызванных метамеризмом наблюдателя, могут быть использованы с целью моделирования их возникновения. В 1989 году международная комиссия по освещению (CIE) предложила индекс метамерии в качестве метода оценки метамерности наблюдателя. Этот подход был разработан для определения стандартного отклоняющегося наблюдателя CIE и индекса метамерии. Позже было обнаружено, что модель недооценивает вариабельность подбора цвета среди всех наблюдателей. Следовательно, необходимо было принять во внимание более точное представление изменчивости наблюдателя в большой популяции.

Исследователи Фэйрчайлд и Вайбл [2] разработали индекс метамерии, используя набор смоделированных наблюдателей на основе CMFS CIE 2006. Используя каждый из сгенерированных CMF для вычисления трихоматического представления спектров излучения тестируемого дисплея, значения RGB, используемые для управления тестируемым дисплеем. Эти значения корректировались до тех пор, пока не было достигнуто соответствие между эталонным спектром и цветом, полученным на экране. Два цветовых спектра, эталонный и тестовый, сравнивались с использованием прибора 1931 с полем зрения  $2^\circ$ . Для расчета объективных различий в восприятии между ними использовались показатели цветовых различий. Статистика дисперсии цветовых различий затем использовалась в качестве меры метамерности наблюдателя на дисплеях. Причем максимальная и средняя разницы представляли наихудший и средний сценарий, который можно ожидать в реальном приложении.

Лонг и Фэйрчайлд [3] использовали набор смоделированных CMF наблюдателей. Для создания совпадений с большим количеством цветовых спектров поверхности. Спектры были рассчитаны путем моделирования стандартизированных цветовых пятен из цветовых диаграмм Macbeth, образцов Munsella, тестовых пятен Kodak/AMPAS и тестовых пятен метамерности, освещенных стандартизированными источниками света (осветители CIE D65, а также лампа для киностудии). Затем соответствующие цвета были воспроизведены на протестированных дисплеях, при этом в качестве основы для расчета соответствия цветов использовался наблюдатель 1931 ( $2^\circ$ ). Спектры подобранных цветов затем оценивали с использованием смоделированных CMF, и вычисляли цветовые различия между эталонным спектром и подобранным спектром для каждого такого CMF. Авторы представили ту же статистику, что и

Фэйрчайлд и Вайбл [2], добавив объем эллипсоида, содержащего все согласованные спектры, представленные в цветовом пространстве CIE. Но в качестве другой метрики дисперсии метамерного соответствия, представляющей метамеризм наблюдателя.

Интересный метод измерения и моделирования метамерии показан на примере наблюдения экранов дисплея.

Метамеризм наблюдателя относится к ситуации, когда некоторые испытуемые с нормальным цветовым зрением будут видеть два цвета идентичными, в то время как другие будут видеть их несоответствие. В следствие чего метод направлен на измерение количества метамерных сбоек одного дисплея для реальных наблюдателей без сравнения с другими эталонными дисплеями. После этого учитывая вероятности отказа метамерии наблюдателя и используя смоделированных наблюдателей, которые соответствуют распределению чувствительности к цвету в общей совокупности, сравниваются с несколькими другими процедурами.

Ученые Рочестерского технологического института провели эксперимент, направленный на измерение степени метамерности наблюдателя, вызванной спектрами излучения дисплея. Эксперимент был предназначен для оценки возможности количественного определения метамерности наблюдателя для одного дисплея без привязки к стандартному дисплею или другому стимулу [4].

Ранее существовала гипотеза о том, что изменчивость наблюдателя при выборе уникальных оттенков на дисплее связана с тремя аспектами: шумом наблюдателя, уникальной разницей оттенков между наблюдателем и метамерией наблюдателя. Поэтому для эффективности эксперимента, предполагалось, что шум наблюдателя, а также уникальная разница в оттенках для наблюдателя одинакова на всех протестированных дисплеях. Помимо, этого предполагалось, что любое увеличение изменчивости наблюдателя на разных дисплеях связано с метамеризмом наблюдателя.

Для разработки эксперимента, использовалось свойство рассматривания этих оттенков, как неотъемлемого ориентира для участников эксперимента. В нем наблюдатели могли поддерживать плавающее состояние адаптации, при этом не усложняя выполнение экспериментальной задачи. Здесь не было необходимости предъявлять участникам эталон для сопоставления. В то же время ожидалось, что индивидуальные различия в восприятии цвета по-прежнему будут влиять на результаты в достаточной степени, чтобы служить показателем метамерной стабильности дисплея.

Далее был проведен метод настроечного психофизического эксперимента. В этом методе, задача наблюдателя заключалась в выборе уникальных цветовых оттенков на тестируемом дисплее. Кроме того, наблюдатели также должны были выбрать четыре уникальных оттенка цвета среди цветовых пластин Farnsworth-Munsell 100 (FM-100) в моделируемых условиях освещения источником D65.

Стимулы для эксперимента с уникальными оттенками были показаны на четырех дисплеях. Выбранные дисплеи, используют разные технологии с

несоответствием в их спектрах излучения, вызывающим различную степень метамерии наблюдателя (OM). Display1 был OLED-телевизором, Display2 использовал мини-светодиоды, Display3 был жидкокристаллическим дисплеем, а Display4 был дисплей на квантовых точках. После часового прогрева, графический пользовательский интерфейс MATLAB использовался для отображения квадратных тестовых цветowych пятен на всех мониторах. Кривые показывали максимальные значения красного, зеленого и синего, а также серые участки, выбранные в пространстве RGB от 0 до 95 с шагом 5 и от 105 до 255 с шагом 10. Для измерения всех тестов использовался спектрорадиометр Konica Minolta CS2000. Цвета в темной среде на рисунке 1, демонстрируют спектральное распределение мощности белых точек отдельных дисплеев. Трехмерные справочные таблицы (LUT) использовались для характеристики дисплеев [5].

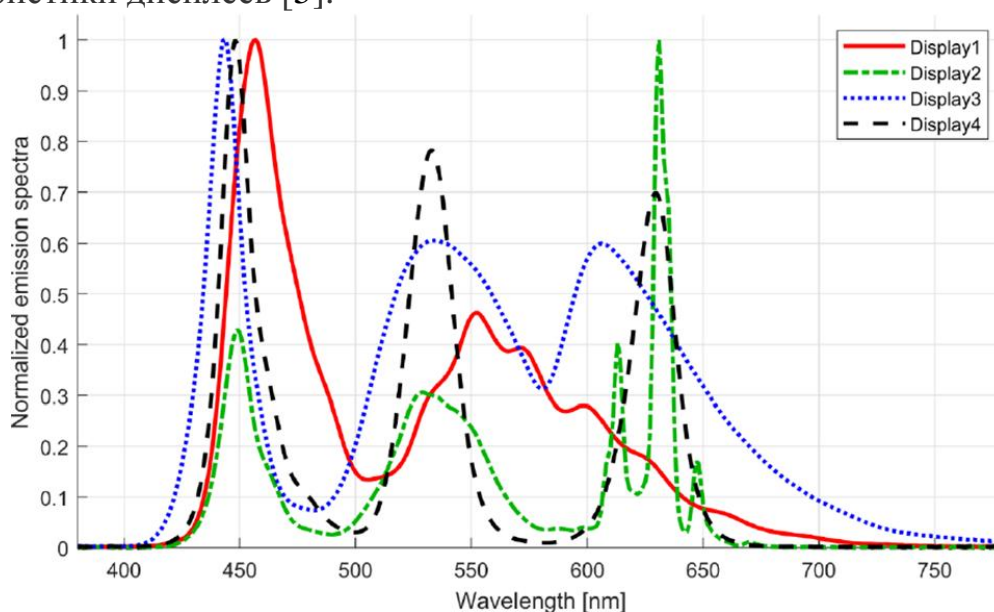


Рисунок 1 — SPDs белой точки четырех дисплеев

Затем результаты характеристики были проверены с использованием набора тестовых накладок. В таблице 1 показаны минимальный, средний и максимальный порог обнаружения ( $\Delta E_{00}$ ), который соответствует официальным рекомендациям Международной комиссии по освещению.

Таблица 1 — Точность определения характеристик (CIEE2000) модели LUT

Статистика	Display1	Display2	Display3	Display4
Средний	0,54	0,35	2,05	8,61
Минимальный	0,14	0,04	0,38	0,28
Максимальный	1,04	1,21	4,92	38,70

Эта таблица сопоставления цвета (LUT) использовалась при рендеринге цветов в эксперименте. Однако, чтобы обеспечить точность экспериментальных результатов, уникальные оттенки, выбранные на Display4 участниками эксперимента, измерялись с помощью спектрорадиометра во время эксперимента, а не полагались на результаты характеристики.

Было определено, что при проведении эксперимента в полумраке с источником окружающего света D65, расположенного за дисплеями, удалось

стабилизировать адаптацию. А также повысить точность наблюдателя в пилотных экспериментах и улучшить пользовательский интерфейс (UI) эксперимента, разработанный в MATLAB. Каждый стимул в программе отображался в центре экрана на фоне яркостного шума. Наблюдатели располагались перед дисплеем на таком расстоянии, чтобы каждый цветовой стимул покрывал  $2^\circ$  угла зрения.

В первой части эксперимента наблюдателей просили выбрать уникальные оттенки на дисплее, используя клавиши со стрелками на клавиатуре. Зрители регулировали угол оттенка случайного цветового пятна с фиксированным значением яркости и цветности, пока не был достигнут желаемый уникальный оттенок. Во второй части эксперимента наблюдатели выбирали уникальные оттенки цветов из набора физических образцов. Зрители выбрали четыре уникальных оттенка из цветового теста FM-100 для выявления недостатков цветового зрения. Цветные пластины просматривали при искусственном освещении D65 в кабине Macbeth Spectralight. Каждый наблюдатель делал 36 выборов – 4 уникальных оттенка цвета, каждый с 9 повторениями. Спектры отражения образцов ФМ-100 представлены на рис. 3.

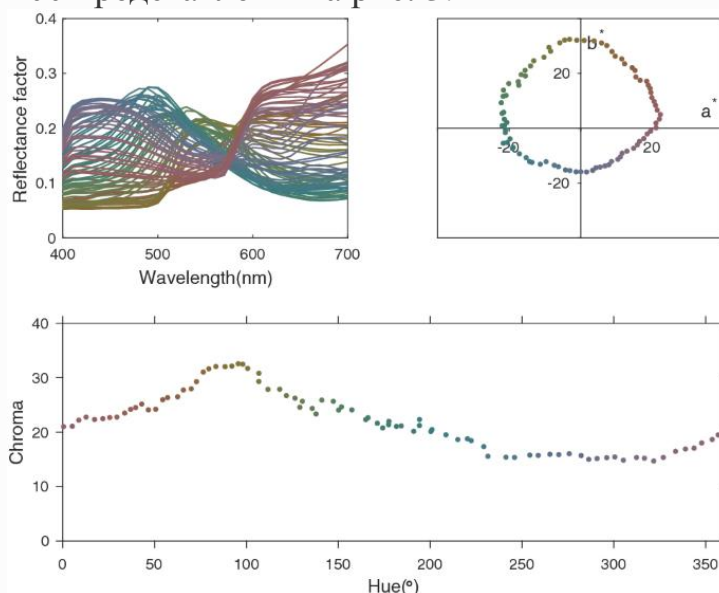


Рисунок 3 – Спектры отражения образцов FM-100 (вверху слева) и их координаты CIELAB в проекции на плоскость цветности (вверху справа)

На графике показано значение цветности этих образцов. Эта фаза эксперимента была включена, чтобы получить результаты с широкополосными спектрами, соответствующими цветам, которые можно отобразить на современных дисплеях.

В эксперименте участвовали десять наблюдателей (четыре женщины и шесть мужчин). Один наблюдатель не смог завершить психофизический эксперимент на Display4.

Таким образом, исследование показало, что внутрииндивидуальная вариация в настройке уникального оттенка в этом эксперименте была больше, чем вариация между наблюдателями. Получается, что предложенный подход нельзя использовать для измерения дополнительной вариации из-за метамерии

наблюдателя. Однако, если удастся достичь меньшего индивидуального различия в обстановке (чем различия между наблюдателями), то обнаружение метамерии наблюдателя в хроматических цветах, когда дисплеи просматриваются индивидуально без эталонных стимулов, станет решаемой задачей. Поэтому необходимо и дальше исследовать этот метод, чтобы в будущем получить желаемый результат. А значит при совершенствовании метода, есть вероятность добиться точного определения и моделирования метамерии в дисплеях.

#### Литература

1. Peter van der Burgt Encyclopedia of Color Science and Technology. Springer Science+Business Media, 928–932 (2016)
2. Fairchild, M.D., Wyble, D.R.: Mean observer metamerism and the selection of display primaries. In: Color and Imaging Conference, vol. 2007, no. 1. Society for Imaging Science and Technology, pp. 151–156 (2007)
3. Long, D.L., Fairchild, M.D.: Modeling observer variability and metamerism failure in electronic color displays. In: Color and Imaging Conference, vol. 2014, no. 2014). Society for Imaging Science and Technology, pp. 14–27 (2014)
4. Che Shen<sup>1</sup>., Robert Wanat<sup>2</sup>., Jang Jin Yoo<sup>3</sup>., Junwoo Jang<sup>3</sup>., Mark D. Fairchild<sup>1</sup>.: Measuring and modeling display observer metamerism. The Visual Computer volume 38, 3301–3310 (2022)
5. Day, E.A., Taplin, L., Berns, R.S.: Colorimetric characterization of a computer-controlled liquid crystal display. *Color Res. Appl.* 29(5), 365–373 (2004)

*И.С. Бушуев, маг., ст. преп. Д.С. Рассказа  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

#### **СРАВНЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОДАТЧИКОВ**

На сегодняшний день возможности радиолокационных средств в существенной степени имеют недостатки. Это связано со многими факторами, в том числе со спектральными диапазонами, в которых работают пассивные оптико-электронные системы (ПОЭС). Наиболее часто для обнаружения и исследования артефактов (объект на облачном поле) с мощным источником собственного излучения (например двигателем внутреннего сгорания) используется диапазон 3-5 мкм. Для обнаружения и исследования артефактов без мощных источников излучения применяют спектральный диапазон 8-13 мкм. На данный момент [1] предложено использование диапазона 1,5-2 мкм для устранения недостатков использования диапазона 8-13 мкм при метеоситуациях, когда яркость излучения солнечных полей превышает излучение объекта.

Для усовершенствования работы ПОЭС целесообразно исследовать тип приёмника с целью улучшения вероятности обнаружения артефакта на фоне облачных полей.

В качестве приёмника излучения в ПОЭС используются фотодатчики, основная функция которых заключается в бесконтактном получении информации об излучении объекта. Далее датчик передает информацию, полученные с помощью отраженного светового пучка, и преобразованные в



электрический сигнал, на схему обработки. Полученная информация может воспроизводиться в виде частоты, продолжительности или количества световых импульсов. Это зависит от принципа кодирования полученного светового сигнала, различающегося для каждого отдельного вида фотодатчика (амплитудная, временная, частотная модуляции).

Различают множество различных классов датчиков: фотодиоды, фоторезисторы, фототранзисторы, фотоэлементы с внешним фотоэффектом, вентильные фотоэлементы (с запорным слоем). Самыми распространенными являются вышеупомянутые фоторезисторы, фототранзисторы и фотодиоды в силу простоты использования.

Был проведён сравнительный анализ фоторезисторов, фотодиодов, фототранзисторов по ряду ключевых параметров.

По быстродействию было выведено следующее неравенство: фоторезистор < фототранзистор < фотодиод.

Быстродействие фоторезисторов невелико, из-за чего диапазон рабочих частот у них достаточно маленький. Рабочий диапазон частот фототранзистора ограничен несколькими сотнями килогерц, что влияет на временной промежуток модернизации, а соответственно и на его быстродействие.

По чувствительности было выведено следующее неравенство: фоторезистор < фототранзистор < фотодиод.

Фоторезисторы имеют меньшую чувствительность, так как лишены р-п-перехода, в то время как в фотодиодах и фототранзисторах свет управляет потоком электронов и дырок через р-п-переход. У фотодиодов максимальная величина темнового тока гораздо меньше, что позволяет им более точно распознавать и регистрировать световой поток.

При анализе будущих моделирований будет также исследоваться такой параметр как собственный шум фотодатчика и шум всей схемы.

Таким образом в качестве приёмника оптического излучения было решено использовать фотодиод и фототранзистор в силу их лучших по сравнению с фоторезистором характеристик.

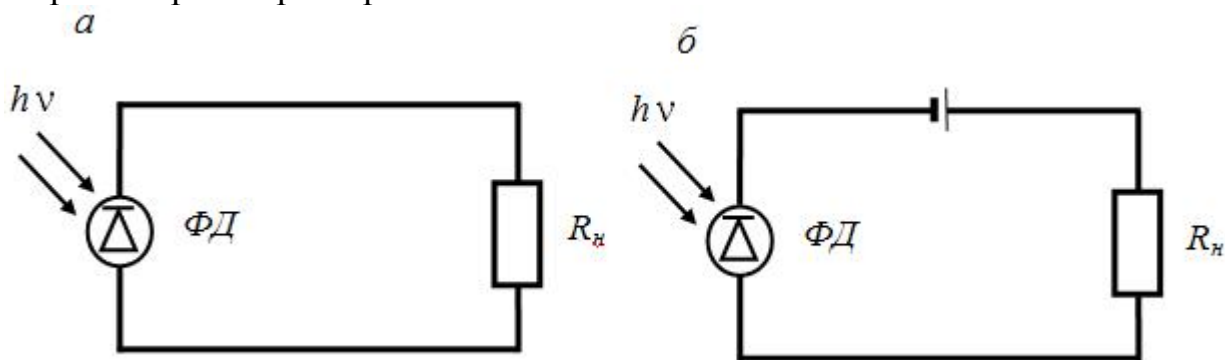


Рисунок 1 – Схемы включения фотодиодов в разных режимах: а) фотодиодном, б) фотогальваническом

На данном этапе для проведения дополнительных исследований будут рассмотрены схемы включения фотодиодов для выявления наиболее

оптимального подключения, обеспечивающего наилучшие характеристики приёмника излучения.

Фотодиоды имеют два режима работы: режим фотогальванический и фотодиодный. Каждый из режимов имеет соответствующую схему включения.

Фотодиодный режим позволяет регулировать сопротивление в меньшую сторону, при условии подачи обратного напряжения на диод. Работа фотодиода во втором режиме подобна солнечной батарее, то есть свет, по сути, и является напряжением. В большинстве случаев фотодиод используется в фотодиодном режиме, так как этот режим характеризуется большим значением темнового тока.

На рисунке 2 представлена универсальная схема включения, которая позволяет подобрать оптимальный режим работы, выбрать режим смещения. Если уменьшить сопротивление переменного резистора до минимального значения, то фотодиод начнёт работать в фотогальваническом режиме. Резистор 50 кОм обеспечивает сохранность фотодиода, не ослабляя сигнал, за счёт соединения с нагрузкой. Конденсатор убирает постоянную составляющую тока.

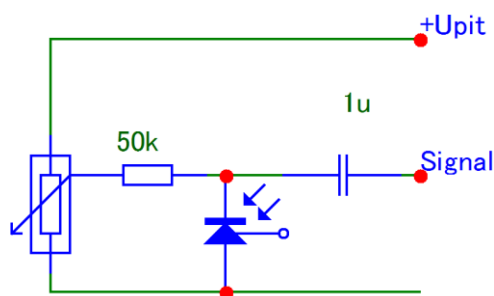


Рисунок 2 – Схема выбора режима работы фотодиода в зависимости от сопротивления фотодиода

В настоящий момент проводится моделирование различных схем включения с тремя разными фотодатчиками.

Для проведения исследований в инфракрасном диапазоне выбран фотодиод SFH235FA с заявленной длиной волны от 730 до 1100 нм.

Для проведения исследований в видимом диапазоне выбран фотодиод BPW34 с заявленной длиной волны от 430 до 1010 нм.

Для проведения исследований в ультрафиолетовом диапазоне выбран фотодиод SG01L-5Lens, который охватывает УФ-А(315 - 400 нм), УФ-В (280 - 315 нм), УФ-С (100 - 280 нм) диапазон.

В дальнейшем планируется аналогичным образом изучение излучения фототранзистора.

#### Литература

1. Якименко И.В., Мищенко А.М., Смолин В.А. Анализ информативности рабочих спектральных диапазонов оптико-электронных систем обнаружения беспилотных

- летательных аппаратов // СПб.: Известия Российской Академии Ракетных и Артиллерийских Наук, 2018. Выпуск 103, №3 С. 90-92;
- И.С. Бушуев, маг., рук. ст. преп. Д.С. Рассказа Исследование схем включения фотодатчиков // XIX международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов;
  - Практическая электроника [Электронный ресурс] / URL: <https://www.ruselectronic.com/fototranzistor-shema-princip-raboty-i-harakteristiki/>

*В.В. Волхонский, д.т.н., Л.С. Елкина, А.С. Корешенков, Е.К. Нор, В.Т. Прокопенко, д.т.н.,  
Ю.Ю. Смирнов, к.т.н.  
(Университет ИТМО, Санкт-Петербург)*

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО КОММУТАТОРА**

Производительность и быстродействие фотонных интегральных схем (ФИС) больше в разы по сравнению с их электронными аналогами [1]. Это позволит в скором времени создать процессоры с уровнем вычислительной мощности, открывающем для науки новые возможности в обработке и передаче информации. Оптический коммутатор является одним из основных оптоэлектронных приборов, без которого не обходится ни одна современная ФИС. Это связано с его базовой способностью переключать оптический сигнал из одного канала связи в другой. Нашей задачей было разработать модель подобного коммутатора, имеющего 4 входных и 4 выходных порта, а также провести расчёт характеристик для его оптимальной работы. Разработанный нами коммутатор представляет из себя интегрально-оптическую схему, включающую 5 модуляторов Маха-Цендера, имеющих 2 входных и выходных порта, 2 плеча, по которым распространяется свет, и 2 направленных ответвителя для разветвления и объединения световых лучей. Также одно из плеч модулятора ограничено с двух сторон электродами. Трёхмерная модель коммутатора приведена на рисунке 1. Модель разработана в программе Solid-Works.

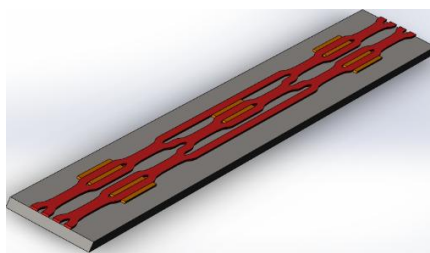


Рисунок 1 – Трёхмерная модель коммутатора

Получившаяся принципиальная схема, при определенной модуляции сигнала в каждом модуляторе Маха-Цендера, способна переключить пучок лазерного света, подающийся на любой входной порт, в любой выходной. При этом возможно как полное переключение сигнала из 1 входного порта в выходной, так и переключение сразу на несколько выходных портов с разной интенсивностью. Было проведено моделирование модулятора Маха-Цендера выбранной геометрии в среде COMSOL Multiphysics. Обоснован выбор тех или иных размеров базового элемента коммутатора и величина управляющего

напряжения путем проведения оптимизации модулятора. За основу была взята методика моделирования и расчёта, изложенная в [2].

Таблица 1 – Исходные параметры

Параметр	Имя параметра	Значение
Длина направленного ответвителя	d_dc	45 мкм
Длина волноводов Маха-Цендера	d_mz	50 мкм
Расстояние между волноводами направленного ответвителя	dy_wg	1,5 мкм
Максимальный размер элемента в направлении x	hx	103,44 мкм
Максимальный размер элемента в направлении y	hy	2,4539 мкм
Длина волны	lda0	1,55 мкм
Показатель преломления оболочки	n_clad	2,2
Показатель преломления сердцевины	n_core	2,22
Радиус изгиба	r0	0,7 мм
Ширина волновода	w	1,5 мкм
Полная ширина волновода	w_tot	15 мкм

При радиусе изгиба 0,7 мм наблюдаются значительные потери, для оптимизации конструкции нами был рассчитан радиус изгиба волноводов, при котором мы получим минимальные потери. На рисунке два показаны результаты моделирования для диапазона изменения радиуса изгиба от 0,7 мм до 4 мм.

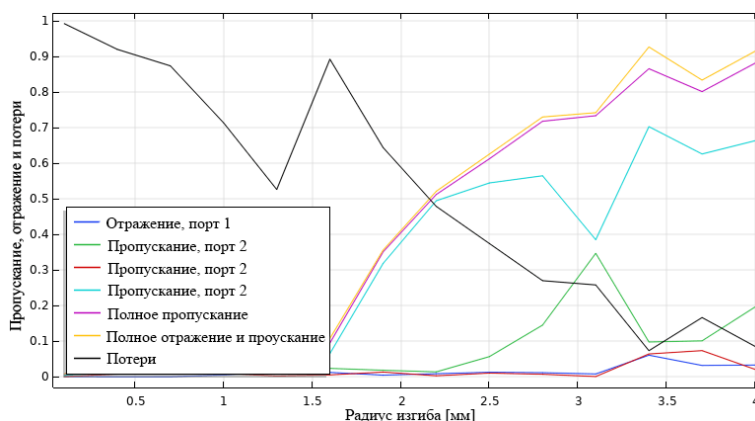


Рисунок 2 – График пропускания, отражения и потерь в зависимости от радиуса изгиба волновода

Как мы видим, минимальные потери на уровне порядка 9% обеспечиваются при радиусе волновода 4 мм. Далее в параметрах исследования переменная  $r_0$  была изменена на полученный радиус и пересчитано распределение электромагнитного поля. Получившееся изображение можно видеть на рисунке 3.

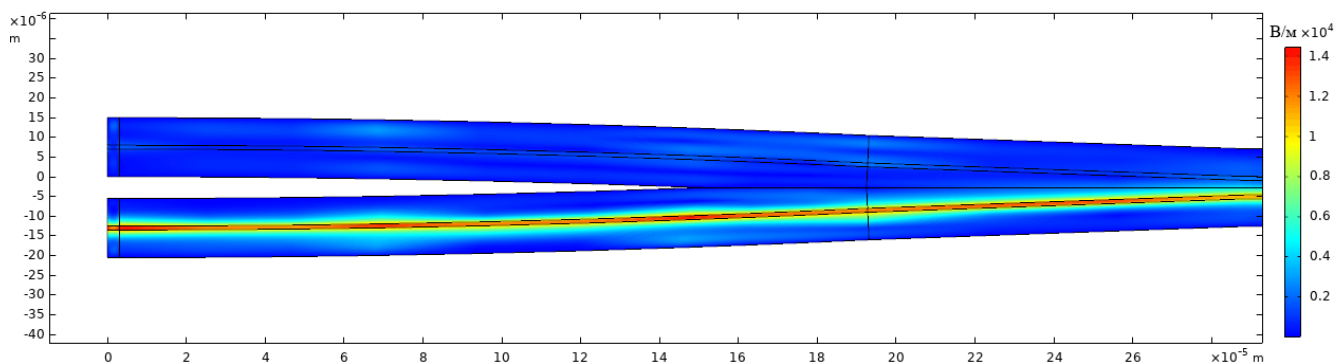


Рисунок 3 – Конфигурация электромагнитного поля базового элемента коммутатора при радиусе изгиба волновода  $r_0 = 4$  мм

На следующем этапе была точно рассчитана длина плеча интерферометра, при которой происходит перераспределение энергии 50 на 50, то есть разница энергии и соответственно мощности между двумя плечами интерферометра принимает минимальное значение. Это было сделано функцией «Parametric Sweep» при установке диапазона изменения длины направленного ответвителя от 150 до 250 мкм.

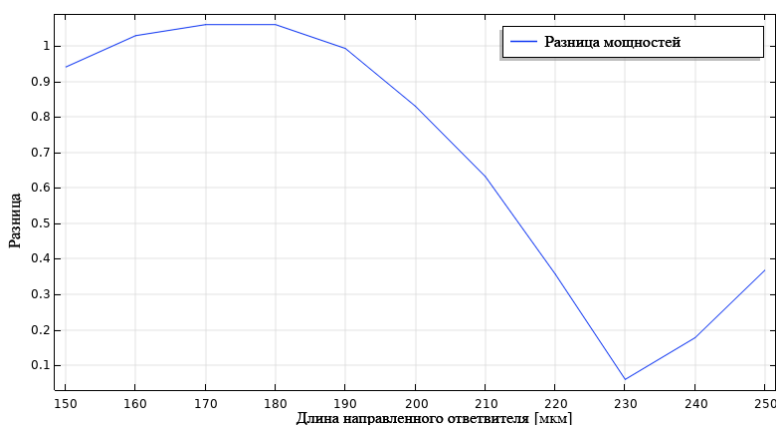


Рисунок 4 – График зависимости разностей мощностей в плечах интерферометра от длины направленного ответвителя

Из графика на рисунке 4 мы видим, что условию 50 на 50 соответствует длина интерферометра 230 мкм. Параметр  $d_{dc}$  был изменен на  $d_{dc} = 230$  мкм.

И на последнем этапе необходимо подобрать величины управляющих напряжений, при которых можно полностью обеспечить амплитудную модуляцию сигнала в выходных портах модулятора. Для этого функцией «Parametric Sweep» было задано изменение напряжения на электродах сначала от 0,1 до 4В, а затем от 0,1 до 5В. В результате был получен удовлетворяющий диапазон напряжений, график зависимости пропускания от которого изображен на рисунке 5.

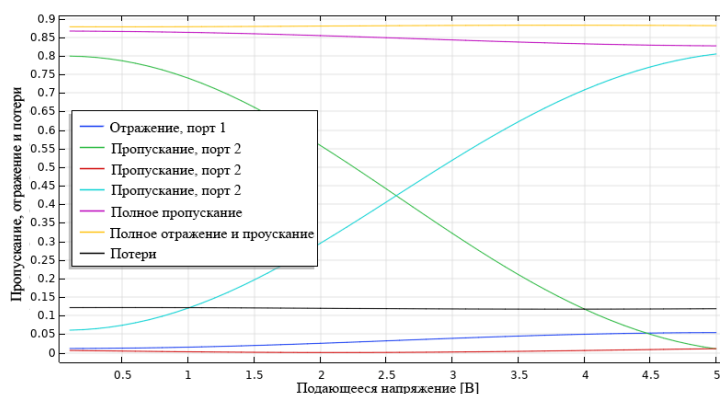


Рисунок 5 — График зависимости Пропускания, отражения и потерь от подаваемого напряжения

Итогом оптимизации и расчета стала точная модель модулятора Маха-Цендера, являющаяся основным элементом разрабатываемого коммутатора. Данная модель изображена на рисунке 6.

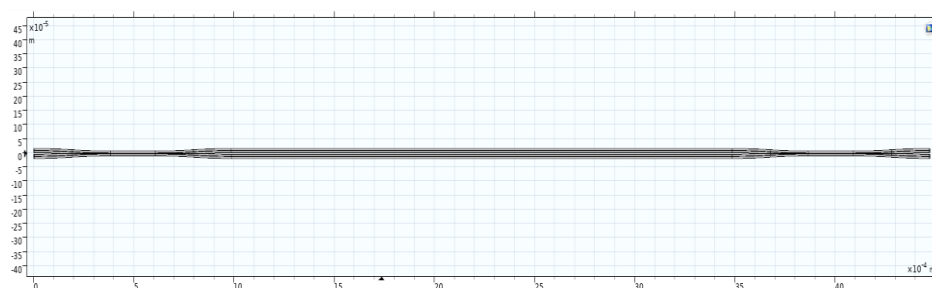


Рисунок 6 – Оптимизированная геометрия модулятора Маха-Цендера

Данная геометрия имеет длину 4,473мм и ширину 0,035мм. Следовательно, минимально возможные размеры моделируемого в работе оптико-электронного коммутатора, исходя из геометрии на рисунке 1, равны 13,419мм в длину и 0,075мм в ширину. В результате проведенного нами поиска были найдены данные для подобной геометрии базового элемента, представляющего собой модулятор Маха Цендера до размеров около 600 мкм в длину. Нами в данной работе были рассчитаны рабочие параметры модулятора Маха Цендера, как базового элемента коммутатора, размер рассчитанного нами базового элемента в два раза меньше и составил 300 мкм в длину.

#### Литература

1. Welch D., Joyner C., Lambert D. et al. III–V photonic integrated circuits and their impact on optical network architectures // Optical Fiber Telecommunications / Ed. by I. P. Kaminow, T. Li, A. E. Willner. – Academic Press, 2008. P. 343–379
2. Mach–Zehnder Modulator [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.comsol.ru/model/mach-8211-zehnder-modulator-15061> (дата обращения 05.08.2022).

## ИЗМЕРЕНИЕ МИНИАТЮРНЫХ ЦВЕТОВЫХ МИШЕНЕЙ

В работе представлены измерения миниатюрных цветowych мишеней с помощью разработанного цифрового колориметра, который описан в предыдущей работе [1]. Цветовые мишени на основе каталога RAL были выбраны, потому что содержат конечный набор эталонных цветов, которые выбраны так, чтобы они выглядели четко отличными друг от друга, но при этом были эквивалентны друг другу. Во-вторых, ни один цвет не выделялся относительно других. В качестве приемного регистрирующего устройства была выбрана цифровая фотокамера *Canon EOS 650D*. Для достоверности результатов измерения перед исследованиями в камере были отключены все возможные цифровые фильтры коррекции, сглаживания, обострения. С помощью написанной программы в среде С# (см. рис. 1), были получены координаты цвета  $R$ ,  $G$ ,  $B$  выбранной рабочей области по снимкам преобразованы в другие колориметрические системы для определения цветового различия.

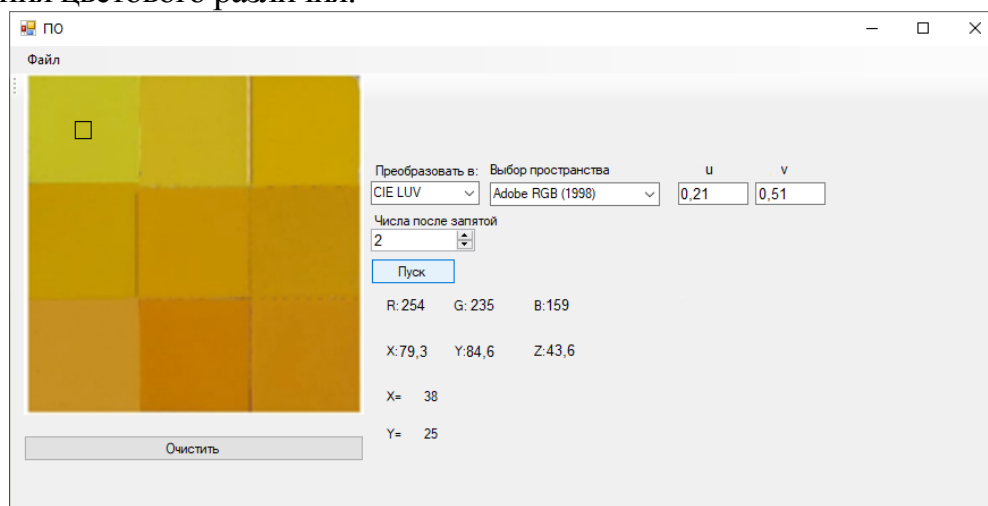


Рисунок 1 – Окончательное рабочее окно программы в среде С#

Таблица 1 – Координаты XYZ для желтой и зеленой цветовой мишени

Коорд. цвета	Мишень					
	Желтая			Зеленая		
X	79,337	78,016	75,399	77,604	72,42	35,911
Y	84,561	82,802	80,487	91,481	84,532	49,583
Z	43,646	36,208	24,501	65,188	56,933	56,26
X	67,008	66,295	66,742	47,06	28,06	24,423
Y	66,261	63,849	63,972	61,602	44,062	35,124
Z	12,935	12,663	17,536	55,752	44,606	48,429
X	66,329	51,161	52,257	41,417	29,195	27,617
Y	61,646	43,606	43,429	49,54	43,373	37,716
Z	23,718	6,905	7,105	48,246	26,663	19,213



Далее были определены координаты цветностей  $u'$ ,  $v'$  и  $u$ ,  $v$  для цветовых диаграмм МКО 1974 и 1960 года и расчет разности цветности  $\Delta e$  с теоритическими данными по формулам [2]

$$u = \frac{4X}{X+15Y+3Z}, v = \frac{6Y}{X+15Y+3Z},$$

(1)

$$\Delta e = \sqrt{(\Delta u)^2 + (\Delta v)^2} = \sqrt{(u_2 - u_1)^2 + (v_2 - v_1)^2},$$

По результатам, представленным в таблице 2, значения цветового различия 1960 г. для желтой в среднем равны 0,036, зеленой – 0,032. В этой системе порогом, при котором становится видно цветовое различие, считается 0,0054, т.е. этот показатель превышен у желтой и зеленой цветовой мишени в 6 раз.

Таблица 2 – Результаты определения координат цветности для желтой и зеленой цветовой мишени в цветовом пространстве Adobe RGB

Желтая цветовая мишень						
Коорд. цветности	По каждой ячейке мишени			Изменение цветности, Δe 1974 г.		
u'	0,2146	0,2184	0,2224	0,0525	0,0533	0,0236
	0,2437	0,2497	0,2474			
		0,2498	0,2819	0,2883	0,0059	0,0061
v'	0,5147	0,5216	0,5341	0,0253		
	0,5423	0,5411	0,5336			
		0,5223	0,5406		0,5391	
Коорд. цветности	По каждой ячейке мишени			Изменение цветности, Δe 1960 г.		
u	0,2474	0,2250	0,1834	0,1143	0,1434	0,0799
	0,2585	0,2182	0,1877			
		0,2273	0,1736	0,2372	0,1588	0,0977
v	0,3489	0,3468	0,3402	0,1383		
	0,3497	0,3492	0,3356			
		0,3481	0,3324		0,3393	
Зеленая цветовая мишень						
Коорд. цветности	По каждой ячейке мишени			Изменение цветности, Δe 1974 г.		
u'	0,2456	0,2488	0,1993	0,1026	0,1092	0,0667
	0,2178	0,1812	0,1827			
		0,2329	0,2056	0,2245	0,1017	0,0532



v'	0,5353	0,5384	0,5288	0,1056	0,0557	0,0813
	0,5344	0,5349	0,5225			
	0,5305	0,5455	0,5468			
Коорд. цветности	По каждой ячейке мишени			Изменение цветности, Δe 1960 г.		
u	0,2456	0,2488	0,1993	0,1022	0,1087	0,0583
	0,2178	0,1812	0,1827			
		0,2329	0,2056	0,2245	0,0913	0,0519
v	0,3568	0,3589	0,3526	0,1017	0,0547	0,0813
	0,3563	0,3566	0,3483			
	0,3536	0,3637	0,3645			

Так же для наглядности по полученным результатам были построены цветовые диаграммы МКО 1974 г.

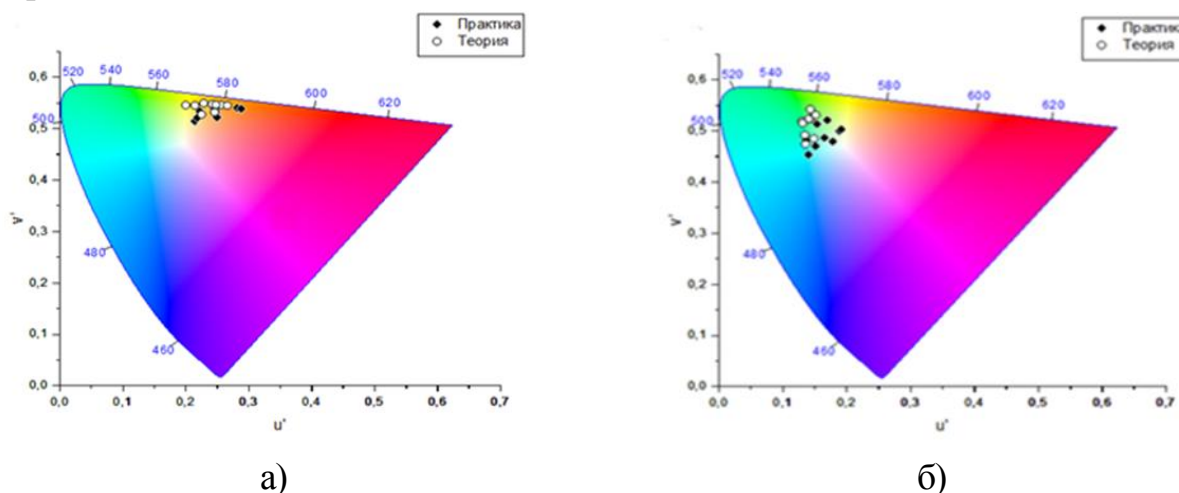


Рисунок 2 – Диаграмма CIE с нанесенными результатами  $u'$   $v'$  1974 г. для а) желтой и б) зеленой цветовой мишени

На рисунке 2 видно, что координаты цветности для желтого и зеленого разбросаны равномерно теоретическим, но для достижения идеального соответствия с координатами цветности зрения человека они должны быть равны друг другу. Можно сделать вывод, что имеются небольшие погрешности во всех видимых областях, так как регистратор изображений марки *Canon* во многих областях видимых цветов имеет значительные искажения, особенно в областях синих и красных цветов, что также наблюдается на графике спектральной характеристике цифровой камеры, где кривые цветовых каналов не соответствуют ни одному графику колориметрической системы и в исследовательской работе, где было исследовано 59 цветных оптических стекол, разделенных на цветовые группы. По результатам цифровая камера передает красные цвета в 39 раз, превышающие цветовой порог в системе  $u'$   $v'$  1974 г., а удовлетворительные значения были получены только для сине-зеленых, зеленых, желтых и оранжевых цветов [3].

#### Литература:

1. Жбанова В.Л., Гафуров В.Р. Структура фотоколориметра // Энергетика, информатика, инновации – 2021. Сб. трудов X-ой Нац. науч.-техн. конф. с межд. уч. В 3 т. Т 1. 2021. 426 с. 424-427.
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. Жбанова В.Л., Жбанов И.Л., Метод исследования цветопередачи цифровых камер // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. Т. 21, № 3. С. 326–333.

*С.Н. Глинков, маг.; И.В. Якименко, д.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАССМОТРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПО ПИКОВОМУ ЗНАЧЕНИЮ ТОКА АКТИВНОГО КОРРЕКТОРА КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ**

Корректор коэффициента мощности (ККМ) предназначен для повышения эффективности потребления электроэнергии устройствами. При использовании ККМ ток, потребляемый устройством, по форме приближается к гармоническому, при этом гармоники тока, отличные от напряжения, подавляются.

Стандартный активный ККМ является AC/DC-преобразователем, использующим широтно-импульсную модуляцию. Управление осуществляется модулятором, который воздействует на мощный ключ, преобразующий выпрямленное сетевое напряжение в импульсную последовательность, после выпрямления которой на выходе образуется постоянное напряжение. ККМ классифицируются по режиму работы дросселя на ККМ с прерывистым режимом работы дросселя и на ККМ с непрерывным режимом работы. Учитывая режимы работы дросселя, выделяются следующие методы, при помощи которых осуществляется управление ККМ: метод граничного управления, метод управления по пиковому значению тока, метод управления по среднему значению тока и другие. В качестве примера рассмотрим систему управления по пиковому току.

Система управления по пиковому значению тока содержит два контура обратной связи (рис. 1).

Сигнал управления, представляющий собой сигнал усилителя ошибки, модулированный сигналом от датчика входного напряжения, используется как ограничитель пикового тока, который формируется преобразователем, при этом внешняя обратная связь по напряжению контролирует управляющий сигнал для поддержки регулируемого выходного напряжения. Генератор замыкает силовой ключ, а компаратор производит сравнение тока ключа с управляющим сигналом, выключая импульс, когда ток переключения превышает значение управляющего сигнала.

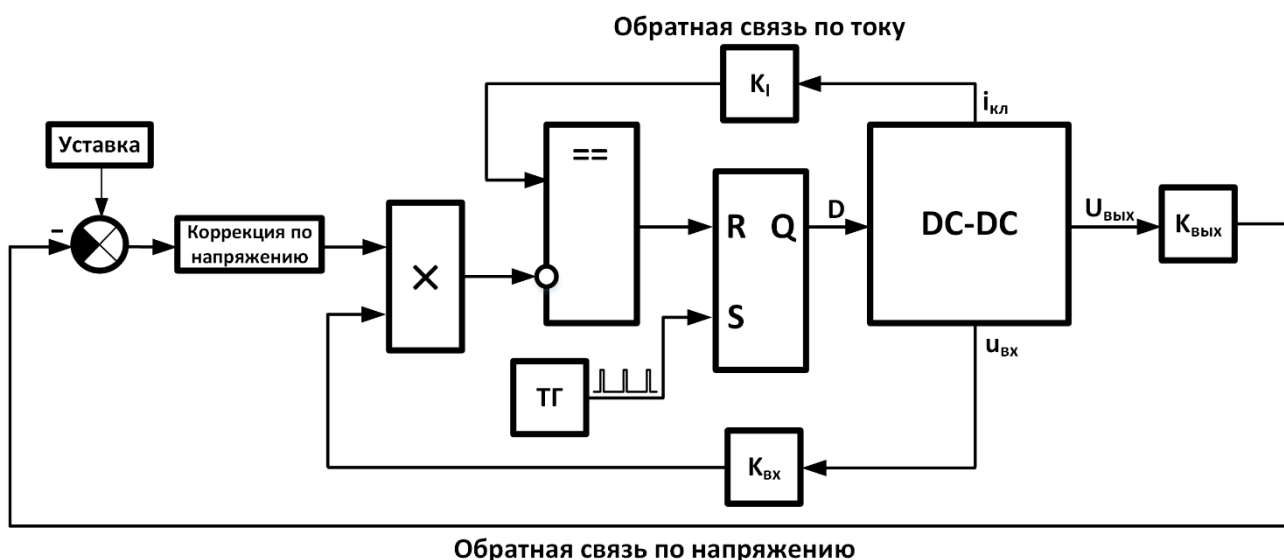


Рисунок 1 – Система управления ККМ по пиковому значению тока

Существуют достаточно много специализированных контроллеров, реализующих систему управления по пиковому току, предназначенную для корректора коэффициента мощности. Рассмотрим один из таких контроллеров – *ML4812*.

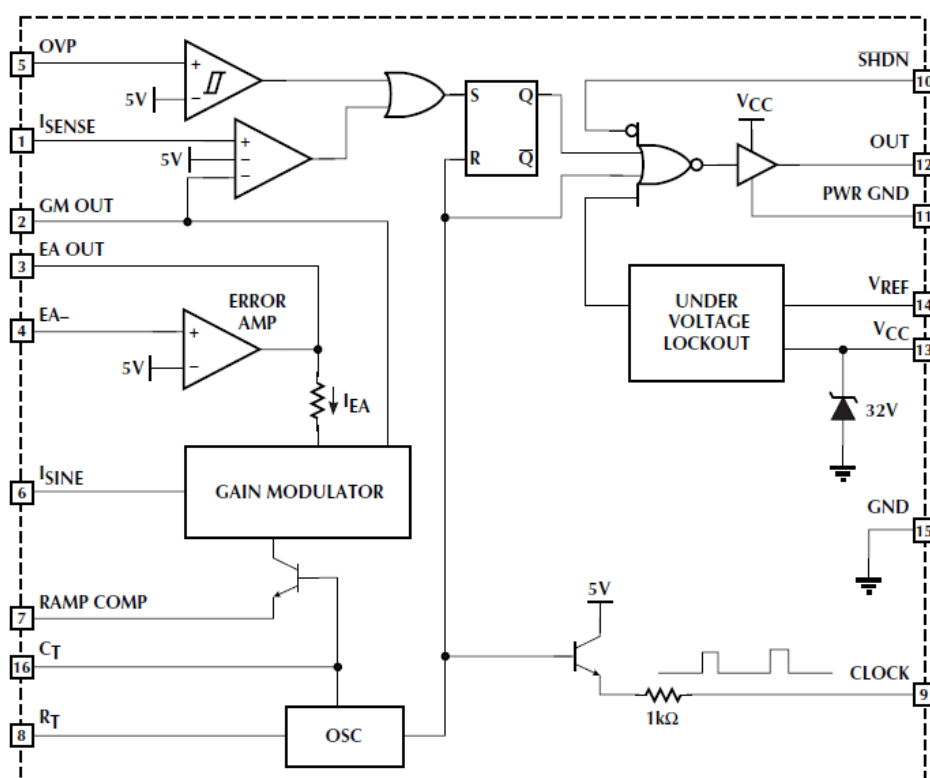


Рисунок 2 – Система управления ККМ по пиковому значению тока

Структура микросхемы (рис. 2) имеет в своём составе:

- тактовый генератор (*OSC*);
- схему, реализующую защиту от пониженного напряжения (*UNDER VOLTAGE LOCKOUT*);
- модулятор (*GAIN MODULATOR*);

- усилитель ошибки (*ERROR AMP*);
- источник опорного напряжения (ИОН) на 5 В (вывод  $V_{ref}$ );
- схема управления работой выходного каскада.

Выводы  $R_T$  и  $C_T$  предназначены для подключения времязадающих конденсатора и резистора соответственно, с помощью которых осуществляется установка частоты задающего генератора.

Микросхема содержит схему, реализующую защиту от пониженного напряжения. Если напряжение питания микросхемы упадёт ниже 12 В, опорное напряжение на выводе  $V_{ref}$  «отключится».

Среди преимуществ режима управления по пиковому току можно выделить следующие:

- неизменная частота переключения;
- работа в режиме непрерывных токов, который сопровождается небольшими выбросами тока, при этом его среднеквадратичное значение меньше, что позволяет использовать малогабаритные фильтры;
- использование только одного датчика тока, что даёт возможность ограничивать пиковое значение тока дросселя на каждом такте.

Недостатки метода включают в себя:

- искажение формы входного тока, которое возрастает при уменьшении сопротивления нагрузки, а также при повышении входного напряжения;
- значительная чувствительность к возникающим при коммутации помехам;
- «жёсткое» закрытие силового диода, что приводит к повышению динамических потерь и к повышенному уровню высокочастотных помех и искажений.

#### Литература

1. Гельман М.В. Преобразовательная техника : учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
2. Денисенко Д.Ю. Основы силовой преобразовательной техники. Часть II: учебное пособие / Денисенко Д.Ю., Иванов Ю.И., Финаев В.И. Южный федеральный университет. – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 149 с.

*С.Н. Глишков, маг.; И.В. Якименко, д.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ПО ТОКУ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКОЙ**

При возникновении короткого замыкания выходов импульсного преобразователя через вторичную обмотку трансформатора и дроссель начинает проходить неограниченно увеличивающийся ток, что является недопустимым для преобразователя и приводит к его выходу из строя. Для ограничения максимального тока, протекающего через дроссель при коротком замыкании, в схему преобразователя вводится защита по току.

Рассмотрим принцип работы схемы защиты по току, реализованную на контроллере *TL-494*. Механизм защитного отключения состоит в прекращении

переключения силовых транзисторы при возникновении нештатной ситуации. При этом транзисторы должны оставаться в закрытом состоянии до возвращения ситуации к норме. Управляющие импульсы генерирует микросхема *TL494*, поэтому если ограничить работу её цифровой части, то импульсы на выходах микросхемы будут отсутствовать. Ограничение работы цифровой части можно осуществить, используя вывод *DTC*.

При помощи вывода *DTC* осуществляется управление «мёртвым» временем (англ. *Dead-Time Control*). По мере увеличения напряжения на данном выводе уменьшается максимально возможный коэффициент заполнения, и если напряжение на этом выводе превысит  $3\text{ В}$ , то коэффициент заполнения будет равен нулю, то есть импульсы на выходе будут отсутствовать, что будет означать, что силовые транзисторы находятся в закрытом состоянии.

Самым простым способом измерения тока в цепи дросселя является использование токового шунта, однако данный способ не обеспечивает гальванической развязки, что исключает возможность его использования. Кроме этого, при измерении больших токов шунт достаточно сильно нагревается, вследствие чего уменьшается КПД преобразователя, а также приводит к необходимости охлаждения шунта. Применение трансформатора тока является альтернативным способом, отличающимся надёжностью, а также обеспечивающим гальваническую развязку.

Трансформатор тока — повышающий трансформатор, который используется для преобразования тока достаточно большой величины до удобного для измерения значения. Первичную обмотку трансформатора тока составляет проводник, через который протекает измеряемый переменный ток, а ко вторичной обмотке подключаются приборы для измерения. Ток, который протекает во вторичной обмотке трансформатора, прямо пропорционален току в первичной обмотке (рис. 1).

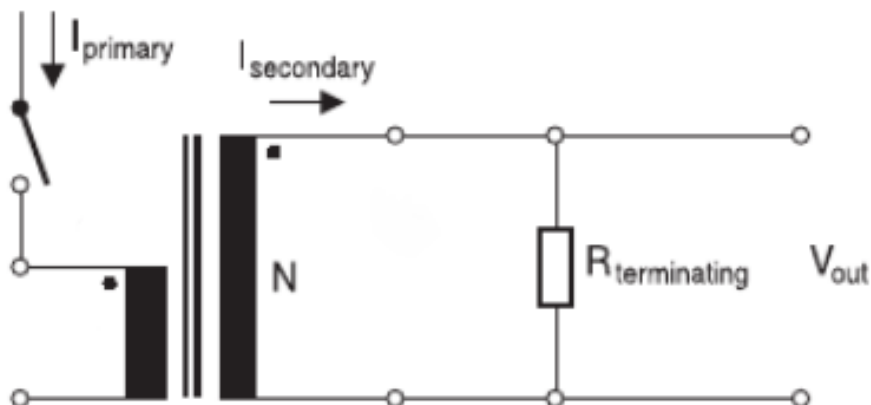


Рисунок 1 – Схема применения трансформатора тока

На трансформаторах тока разработаны многие системы автоматики и защиты. Преимуществом трансформатора тока является защита измерительных приборов от тока короткого замыкания. Наряду с этим трансформаторы тока

используются для измерения тока в установках высокого напряжения (до сотен кВ).

Среди достоинств трансформаторов тока можно выделить надёжность, невысокую стоимость, а также возможность измерять достаточно большие токи. К недостаткам трансформаторов тока можно отнести их нелинейные характеристики, а также невозможность работы с постоянным током. Также важным является тот факт, что режим холостого хода у трансформатора тока недопустим, поэтому его нельзя использовать без подключённого к нему измерительного прибора.

В качестве примера рассмотрим трансформатор тока  $B82801B0925A200$  с коэффициентом трансформации  $k_T = 1/200$ . Рекомендуемое сопротивление нагрузки вторичной обмотки составляет  $R_T = 200 \text{ Ом}$ . Примем порог срабатывания защиты по току  $I_{max} = 20 \text{ А}$ . Тогда ток, протекающий через нагрузку вторичной обмотки, можно вычислить по формуле:

$$I_T = I_{max} \cdot k_T = 20 \cdot \frac{1}{200} = 100 \text{ мА}.$$

При этом напряжение на нагрузке вторичной обмотки

$$U_T = I_T \cdot R_T = 0,1 \cdot 200 = 20 \text{ В}.$$

Применяя в качестве выпрямителя напряжения с нагрузки диодный мост, учтём прямое падение напряжения на диоде  $U_{VD} \approx 0,7 \text{ В}$ , и вычислим отношение напряжений резистивного делителя, используемого для получения напряжения  $U_{DTC} = 3 \text{ В}$ :

$$k_U = \frac{U_{DTC}}{U_T - 2U_{VD}} = \frac{3}{20 - 2 \cdot 0,7} = 0,16.$$

Примем сопротивление одного из резисторов делителя  $R_{д2} = 1 \text{ кОм}$ , тогда

$$R_{д1} = \frac{R_{д2} \cdot (1 - k_U)}{k_U} = \frac{10^3 \cdot (1 - 0,16)}{0,16} = 5,25 \text{ кОм}.$$

По ряду номиналов  $E24$  примем  $R_{д1} = 5,6 \text{ кОм}$ .

Напряжение с выхода резистивного делителя поступает на вывод  $DTC$ . При приближении измеряемого тока к максимально допустимому выбранному значению тока коэффициент заполнения импульсов для управления ключами будет уменьшаться, а при его превышении – импульсы будут отсутствовать.

Таким образом, описанная защита по току, основанная на трансформаторе тока, позволяет ограничивать максимальный ток дросселя, при этом обеспечивая гальваническую развязку.

#### Литература

1. Гельман М.В. Преобразовательная техника : учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
2. Денисенко Д.Ю. Основы силовой преобразовательной техники. Часть II: учебное пособие / Денисенко Д.Ю., Иванов Ю.И., Финаев В.И. Южный федеральный университет. – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 149 с.

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОГО ИЗБЫТОЧНОГО КОДА НА ПЛИС

При обмене данными по каналу передачи могут возникать искажения в передаваемой информации, обусловленные различными внешними воздействиями. Поэтому для повышения надёжности передачи принимающая сторона должна иметь механизм проверки корректности принятых данных. Одним из таких механизмов является вычисление циклического избыточного кода (англ. *Cyclic Redundancy Code, CRC*), который представляет собой один из алгоритмов подсчёта контрольной суммы.

В основе алгоритма *CRC* лежит принцип деления с остатком двоичных многочленов. Значение контрольной суммы является остатком от деления многочлена, который соответствует входным данным, на неизменный порождающий многочлен (полином). Количество бит в порождающем полиноме определяет его степень. Наиболее распространёнными являются степени 8, 16 и 32. Для разработки модуля примем степень порождающего полинома, равной 16.

Существует довольно много разновидностей алгоритма *CRC-16*, однако их можно структурировать, определив параметры расчёта. Чтобы создать перестраиваемый модуль, вычисляющий *CRC* согласно нужному алгоритму, добавим возможность задания параметров, определяющих алгоритм (табл. 1).

Таблица 1. Параметры модуля вычисления *CRC-16*

Название параметра	Количество бит	Описание
<i>POLY</i>	16	Определяет порождающий полином
<i>INIT</i>	16	Определяет значение регистра в начале вычислений
<i>REF_IN</i>	1	Указывает на направление вычислений (0 – начиная со старшего значащего бита, 1 – с младшего)
<i>REF_OUT</i>	1	Определяет, инвертируются ли порядок битов в регистре перед входом на элемент <i>XOR</i>
<i>XOR_OUT</i>	16	Определяет число, с которым проводится финальное <i>XOR</i>

Также определим входные и выходные сигналы модуля (табл. 2).

Таблица 2. Входные и выходные сигналы модуля вычисления *CRC-16*

Название сигнала	Назначение (вход/выход)	Разрядность, бит	Описание
<i>clk</i>	Вход	1	Вход сигнала тактирования по переднему фронту

<i>data</i>	Вход	16	Данные, загружаемые в модуль для вычислений
<i>data_valid</i>	Вход	1	Сигнал разрешения загрузки данных
<i>data_length</i>	Вход	8	Длина пакета для вычисления <i>CRC</i> (в двухбайтных словах)
<i>rst</i>	Вход	1	Сигнал синхронного сброса
<i>rfd</i>	Выход	1	Сигнал о готовности загрузить данные
<i>busy</i>	Выход	1	Сигнал о проведении вычислений в модуле или ожидании очередного слова из пакета
<i>crc</i>	Выход	16	Вычисленная контрольная сумма
<i>crc_valid</i>	Выход	1	Сигнал об окончании вычислений

Алгоритм работы модуля разработан на языке описания аппаратуры *Verilog*. Для начала вычислений необходимо на вывод *data\_length* выставить длину пакета, для которого проводятся вычисления, на вывод *data* выставить первое 16-разрядное слово из пакета, а также установить логическую единицу на вывод *data\_valid*, что будет означать наличие действительных данных. Если на выводе *rfd* установлена логическая единица, то модуль готов к приёму данных, и при фиксации единицы на выводе *data\_valid* первое 16-разрядное слово, а также общая длина пакета сохраняются во внутренних регистрах модуля, при этом на выводе *rfd* устанавливается логический нуль. После этого в модуле начинаются вычисления, а на выводе *busy* устанавливается логическая единица. Сигналом об окончании вычислений является логическая единица на выводе *rfd*. После этого необходимо повторить процедуру загрузки следующего 16-разрядного слова, аналогичную процедуре загрузки предыдущего слова. Таким же образом необходимо загрузить в модуль все слова из пакета.

Когда процедура вычислений после загрузки последнего слова будет окончена, на выводе *crc\_valid* будет установлена логическая единица, что будет означать, что контрольная сумма вычислена и установлена на выводе *crc*. В дальнейшем процедуру подсчёта контрольной суммы можно выполнять вновь.

Вывод *rst* предназначен для синхронного сброса модуля, и вне зависимости от состояния модуля, он может быть сброшен путём установки логической единицы на этот вывод. При этом все текущие операции и вычисления будут прерваны, а внутренние регистры модуля будут переинициализированы. Чтобы модуль смог проводить вычисления, необходимо выставить на выводе *rst* логический нуль.

Для моделирования работы разработанного модуля воспользуемся симулятором *Isim*. Для проверки корректности вычисленной контрольной суммы установим параметры модуля, соответствующие алгоритму *CRC-16/GENIBUS*:

- *POLY* = 0x1021;
- *INIT* = 0xFFFF;



- $REF\_IN = 0$ ;
- $REF\_OUT = 0$ ;
- $XOR\_OUT = 0xFFFF$ .

Вычислим при помощи модуля контрольную сумму для строки «123456789». Для данной строки контрольная сумма составляет  $0xD64E$ . Создадим тестовый файл, где опишем алгоритм загрузки данных в модуль. На вход тактирования подадим тактовый сигнал с частотой  $50\text{ МГц}$ . Проведём моделирование работы модуля и получим временные диаграммы его работы (рис. 1).

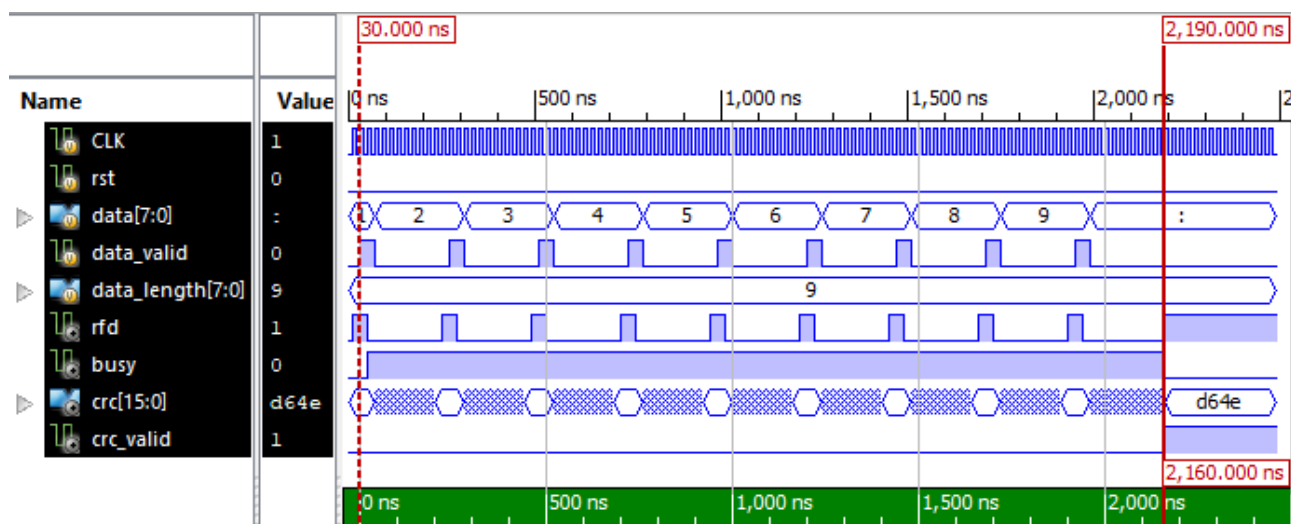


Рисунок 1 – Временные диаграммы работы модуля вычисления  $CRC$ -16

Вычисленная модулем контрольная сумма ( $0xD64E$ ) совпадает с действительной контрольной суммой для данной строки. Время расчёта составило  $2,16\text{ мкс}$ , что при частоте  $50\text{ МГц}$  составляет  $2,16 * 10^{-6} * 50 * 10^6 = 108$  тактов для строки длиной в девять символов, то есть вычисления для одного символа заняли в среднем 12 тактов.

Таким образом, разработанный модуль вычисления контрольной суммы  $CRC$ -16, имеющий возможность параметризации, позволяет рассчитывать контрольную сумму по различным алгоритмам, что делает его достаточно гибким при внедрении в различные проекты на ПЛИС.

#### Литература

3. Поляков А. К. Языки VHDL и Verilog в проектировании цифровой аппаратуры. – М.: «СОЛОН-Пресс», 2003. – 320 с.
4. Попов А.Ю. Проектирование цифровых устройств с использованием ПЛИС: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 80 с.

## **АНАЛИЗ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «DIALUX EVO»**

Светотехнические расчеты представляют себя одними из самых массовых инженерных расчетов. Которые приходится постоянно выполнять огромному количеству людей. Самые первые формы были достаточно трудоемкими. Благодаря усилиям специалистов, которые были направлены на упрощение процесса расчета, благодаря этому стали появляться различные программы. По большей части коммерческих и направленных для работы с определенными видами светильников одной из фирм-производителей.

Прорывом в области выполнения светотехнических расчетов, можно по праву назвать появление программного комплекса DIALux Evo. Данный комплекс был нацелен на максимальное упрощение светотехнических расчетов, высокую функциональность и самое главное открытость для любых производителей светотехнической продукции, а также пользователей.

DIALux Evo – представляет из себя программный комплекс для планирования и дизайна различных видов освещения. Распространяется бесплатно и позволяет использовать данные светильников любых изготовителей, а на финальном этапе выполнения светотехнического расчета предоставляет итоговую информацию в цифровом формате[1].

В качестве исследуемого объекта рассмотрим небольшое офисное помещение длиной 10м., шириной 5м., и высотой до потолка 2,8м. Высота рабочей поверхности, для определения нормируемой освещенности - 0,8м.

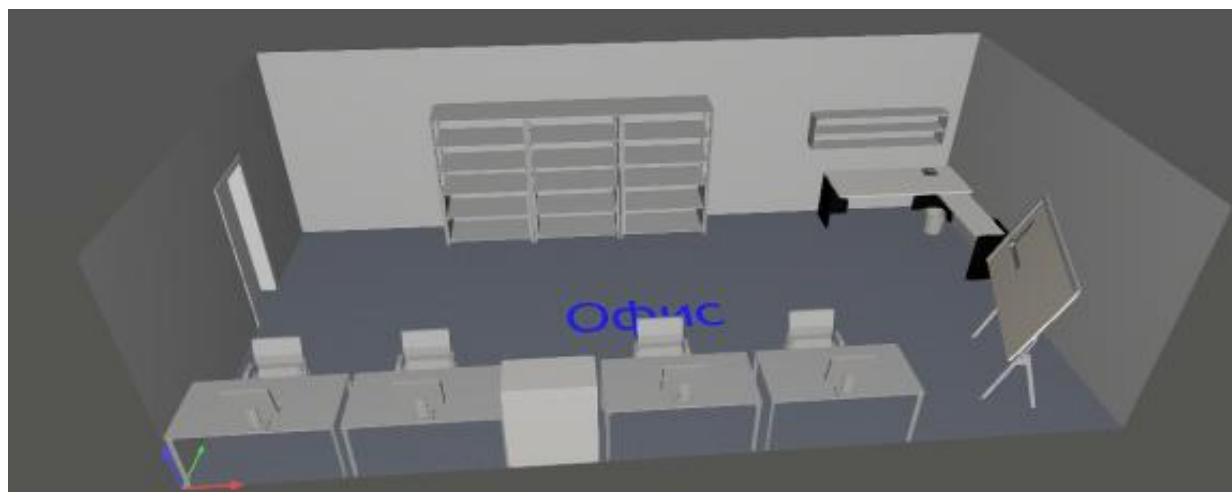


Рис.1. План офисного помещения.

Для расчета освещения задаем коэффициенты отражения в зависимости от материалов. Материал возьмем из библиотеки DIALux Evo с коэффициентом отражения 70% - потолок, 20% - пол, и 50% - стены.

Рис. 2. Панель коэффициентов отражения поверхностей помещения.

Уровень нормируемой освещенности выбираем по СП 52.13330.2016[2]. Так-как наш офис удовлетворяет требованиям проектных залов, то минимальная освещенность рабочих поверхностей должна быть 500лк.

На основе программы DIALux evo рассматриваем 2 вида светильников.

- 1) Люминесцентные лампы – данный вид нашел широкое применение в освещении общественных зданий: школ, больниц, офисов и тд. Основное их преимущество, это высокая светоотдача (в сравнении с лампами накаливания), а также длительный срок службы – до 20 000 часов. Благодаря этому люминесцентные лампы стали наиболее распространенными во многих офисах и предприятиях на долгое время.
- 2) Светодиодные источники света – на данный момент являются одним из самых перспективных направлений технологий искусственного света. Явным преимуществом таких источников является их срок службы, который может достигать в среднем 50 000 часов. Что в среднем выше, чем у люминесцентных ламп в 4 раза. Благодаря тому, что светодиодные технологии не стоят на месте, они имеют эффективный расход электроэнергии, а из-за своей простоты в конструкции нашли большое применение в светильниках, прожекторах, светодиодных лентах, декоративной светотехнике и особенно в компактных осветительных приборах. Мощность некоторых фонариков может достигать до 5000 лм.

Для проектирования освещения нашего офиса возьмем люминесцентные лампы «Philips Lineco TMS022»

Таблица 1 – Характеристики люминесцентной лампы «Philips Lineco TMS022»

Наименование	Световой поток системы, лм.	Мощность, Вт	Размеры, мм	Эффективность системы, лм/Вт
Philips Lineco TMS022 2x58w HF	10300	110	1525x98x62	93,6



Рис. 3. Технический паспорт светильника TCSW060 2xTL-D58W HF в программе DIALux Evo.

Как мы видим, данное программное обеспечение имеет обширную библиотеку различных световых аппаратов, от разных производителей. Уже сейчас большое количество производителей создают специальные плагины для DIALux Evo, чтобы заинтересовать наибольшее количество людей, заинтересованных в светотехнических расчетах, а также в проектировании освещения, как на предприятиях, так и для уличных освещений.

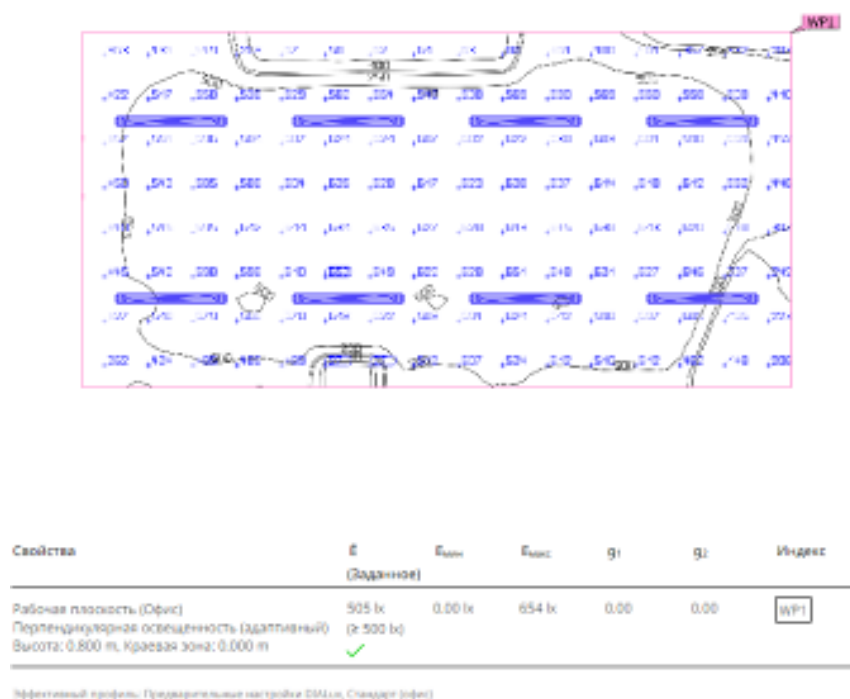


Рис.4. Результаты расчета в DIALux при использовании люминесцентных ламп «Philips Lineco TMS022».

Результаты расчетов показывают нам, информацию о том, что для данного помещения требуется 8 светильников, каждый из которых имеет мощность 110 Вт и световым потоком 10300 Лм.

Во втором варианте проектирования используем светодиодные светильники «Philips CoreLine Batten»

Таблица 2 – Характеристики светодиодного светильника «Philips CoreLine Batten»

Наименование	Световой поток системы, лм.	Мощность, Вт	Размеры, мм	Эффективность системы, лм/Вт
Philips CoreLine Batten BN126C L1800 1xLED94S/830	8500	75	1750x65x65	113,1

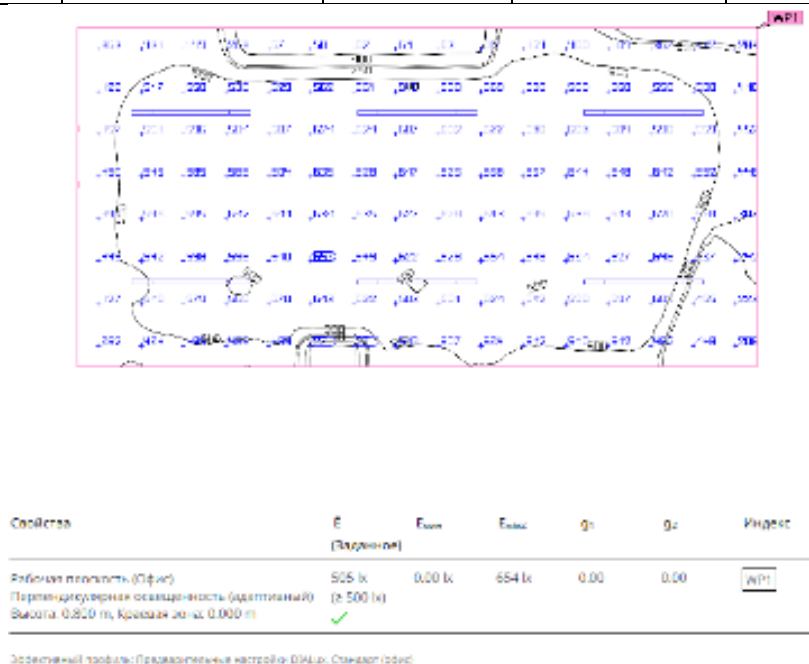


Рис.5. Результаты расчета в DIALux при использовании светодиодных светильников «Philips CoreLine Batten».

В результате проектирования в DIALux Evo, получаем данные о необходимости установки 6 выбранных нами светильников, мощностью 75 Вт и световым потоком 8500 лм.

Анализируя полученные в ходе работы результаты, можно сделать выводы о эффективности программного комплекса DIALux Evo для расчета освещенности офисного помещения с использованием различных видов светильников (люминесцентного и светодиодного). На основе полученных из комплекса данных можно заявить о том, что каждая из систем соответствует заявленным нормам. Однако люминесцентные светильники имеют намного большее потребление электрической энергии, при более низком времени работы, что значительно повышает экономические затраты на обслуживание данных видов светильников, что заставляет задуматься о целесообразности их использования. Светодиодные же светильники, помимо времени работы и экономичности, выигрывают и по максимальной световой отдаче за счет

меньшего количества светильников (6 против 8 у люминесцентных). Исходя из этого для проектирования больше подходят светодиодные светильники.

Программный комплекс DIALux Evo показал, что с его помощью можно выполнить светотехнический расчет с большой эффективностью, а также исключить ошибки при проектировании и расчете осветительных установок, повысить точность светотехнических расчетов с учетом особенностей условий, объектов, мест, материалов. DIALux Evo в процессе выполнения работы формирует проектную документацию, что является не менее важной частью работы по проектированию различных объектов.

#### Список литературы:

1. Программный комплекс DIALux Evo. Руководство пользователя.
2. Межгосударственный стандарт. Естественное и искусственное освещение: СП 52.13330-2016 – Издание официальное. – М.: Стандартинформ, 2018. – 70 с.
3. Гинзберг, Л.А. Основы строительной светотехники и расчет естественного и искусственного освещения: учебное пособие / Л.А. Гинзберг, И.Н. Мальцева. - Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2012. - 83 с. - ISBN 978-5-7996-0794-4

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

### **ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВА ДЕГИДРАТАЦИИ ТКАНЕЙ**

В медицинских кругах существует гипотеза [1], что в зависимости от болезни количество воды в органах человека меняется. Для доказательства этой гипотезы необходимо разработать устройство, позволяющее измерять процентное содержание жидкости в тканях.

В основе устройства лежит принцип дегитратации — удаления или потери воды из вещества или ткани. Существуют несколько методов дегидратации:

- 1) высушивание;
- 2) замораживание;
- 3) химическая фиксация.

За основу был взят метод химической фиксации, так как методы высушивания и замораживания относительно фиксации являются более ресурсоемким и длительным. Помимо этого, метод химической фиксации является самым безопасным для исследуемого образца, что способствует дальнейшему изучению материала.

При выполнении химической фиксации нужно учитывать такие факторы как время фиксации, температура и фиксатор. На данный момент используют такие фиксаторы как хромовая кислота, спирты (этанол, метанол), ацетон, кислоты (уксусная, азотная, пикриновая).

Для проведения качественной фиксации биологических объектов, следует задать ряд требований:

- 1) Время после извлечения образца и время погружения в фиксатор материала должны быть минимальны.



2) Объем фиксатора должен быть в 20-30 раз больше образца.

3) Время для разных фиксаторов отличается друг от друга.

Отталкиваясь от уже существующих экспериментов, за основу фиксатора возьмем этанол, так как спирт не разрушает ткань и после фиксации образец хранится дольше.

Спирт хорошо «вытягивает» воду из образца, и при смешивании с водой, можно заметить изменение объема в колбе. Из органической химии известно, что при смешении этанола с водой результирующий объем раствора будет меньше, чем сумма объемов смешиваемых веществ. Например, «при смешивании 52 объемов спирта и 48 объемов воды получается не 100, а 96,3 объема разбавленного спирта» [1].

Следовательно, для того чтобы зафиксировать окончание процесса фиксации, нужен датчик уровня жидкости в резервуаре. Исходя из требований для проведения исследований, касаемо объема фиксатора, можно сделать вывод о том, что датчик нужно вывести из резервуара.

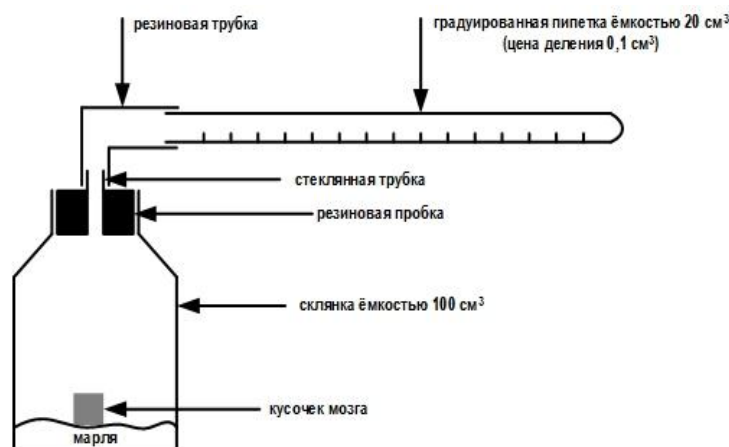


Рисунок 1 – Система для фиксации

Основываясь на исследованиях, проведенных Гловым А. В. В своих работах [1], можно считать, что этот подход имеет место на существование. На основе исследований, был разработан реактор, способный в автоматизированном режиме проводить фиксацию биологических тканей.

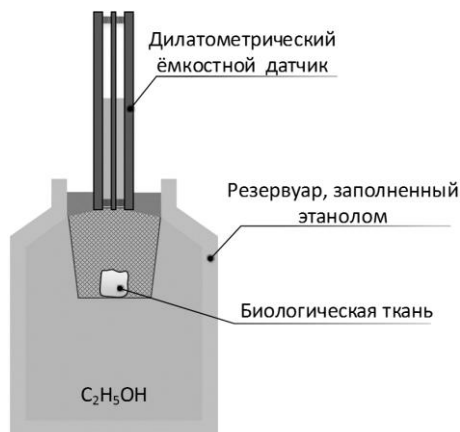


Рисунок 2 – Система для фиксации модернизированная

Объем ткани для эксперимента выбран размером  $1 \text{ см}^3$ . Для создания образца таких размеров используют специальные ножницы.

Известно, что человек на 80% состоит из воды. Для того, чтобы проводить дальнейшие расчеты, нужно знать сколько воды в различных частях тела, например, в мозге содержится 73%, в легких – 83%, сердце – 73%, печень – 71%, почки – 79%, кости – 31%, мышцы – 79%, кожа – 64%, кровь – 79%.

Объем одного сосуда равен 50 мл. Такой объем выбран из требования минимального объема к фиксирующей жидкости, но также из соображений, рациональности размеров самого сканера.

Расчет нарушения аддитивности системы вода-этанол производился при помощи уравнения Гиббса-Дюгема (рис. 3):

$$\Delta V' = V_{H_2O} \cdot n_{H_2O} + V_{C_2H_5OH} \cdot n_{C_2H_5OH},$$

где  $V_{H_2O}$  – парциальный объем воды,  $n_{H_2O}$  – мольная доля воды,  $V_{C_2H_5OH}$  – парциальный объем этанола,  $n_{C_2H_5OH}$  – мольная доля этанола.

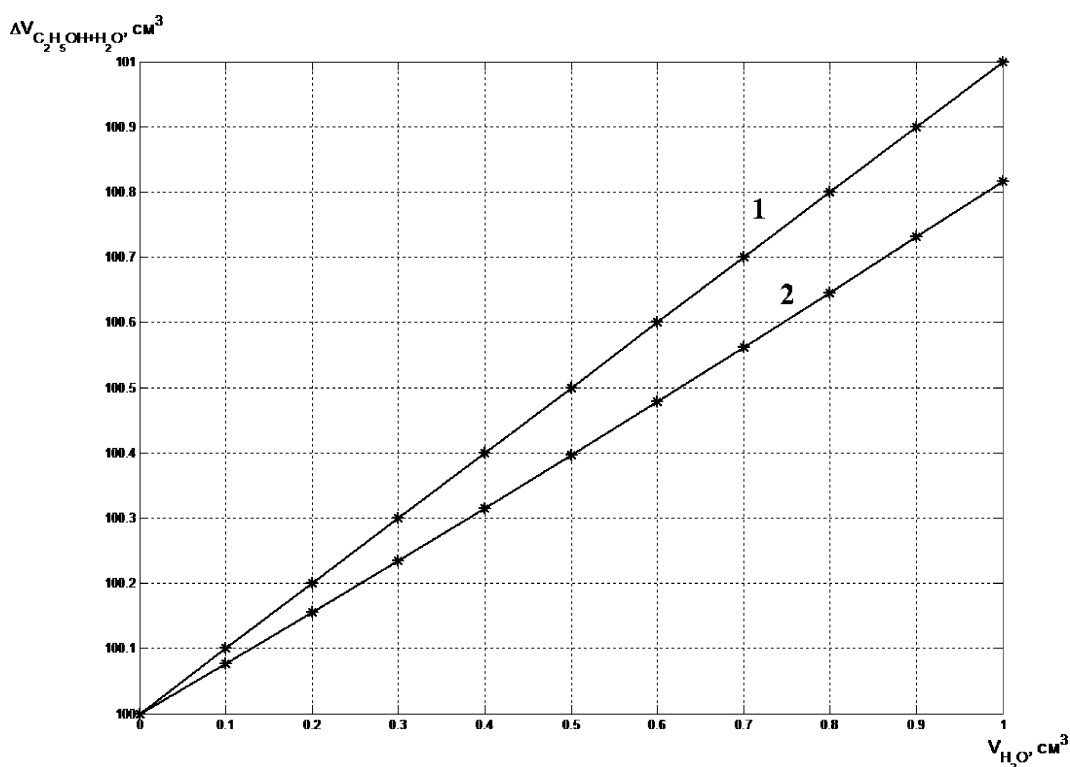


Рисунок 3 – Нарушение аддитивности объема системы вода-этанол: 1 – смешение этанола с водой без нарушения аддитивности объема, 2 – смешение этанола с водой с нарушением аддитивности объема

Градуированная пипетка заменена dilatометрическим емкостным датчиком. Заполнение резервуара фиксирующей жидкостью происходит при помощи насоса. Реакторы объединены в единый термоизолированный корпус для проведения одновременной фиксации достаточно большого числа образцов.

На данный момент проводится окончательный подбор датчика (возможно изготовление самодельного датчика, удовлетворяющего заданным параметрам), также проходит работа по моделированию и разработки принципиальной схемы.



## Литература

1. Глотов, В.А. Геометрия биологического тканевого пространства // Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал. – Смоленск, СГМА. – 1997. – Т. 2. – Вып. 2. URL: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/N-3-html/10.htm>.
2. Микроскопическая техника: Руководство / под ред. Д.С. Саркисова и Ю.Л. Перова. – М.: Медицина, 1996. – 544 С.

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

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЦВЕТА ОТНОСИТЕЛЬНО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

Реакция зрительной системы на свет, отраженный от объекта, зависит от отражательных свойств объекта, а также от природы света, которым освещается объект. Это изменение цвета, как правило, является нежелательным свойством зрительной системы, и многие исследования были посвящены разработке так называемых алгоритмов постоянства цвета, которые учитывают цвет света, падающего на сцену, и обеспечивают стабильные цвета объектов независимо от преобладающего освещения. Это также актуально и для машинного зрения – цифровых систем.

Преобразования хроматической адаптации способны предсказывать соответствующие цвета. Пара соответствующих цветов состоит из цвета, наблюдаемого при одном источнике света, и другого цвета, который выглядит так же при наблюдении при другом источнике света. Учитывая важность этой темы для многих промышленных приложений, таких как прогнозирование цветового непостоянства, оценка цветопередачи источников света и достижение успешной цветопередачи при различных источниках света является актуальной.

Также эта тематика актуальна в цифровой микроскопии, когда при переключении источников излучения, к примеру от типа А (лампа накаливания) к типа D65 (светодиод), происходит пересчет цветовых координат цвета исследуемого изображения в цифровом микроскопе. Это приводит к потере действительной информации о цвете и представлению ложных цветов.

Целью работы является проведение исследования и анализ рассчитанных цветов относительно различных источников света с помощью преобразований Бредфорда и фон Криса. Объектом исследования выбраны контрольные образцы МКО атласа Манселла при освещении стандартным источником А (2854 К) [1, 2].

Таблица 1 – Контрольные образцы 14 цветов из атласа Манселла

№	Шифр атласа Манселла	Координаты цвета в системе МКО 1931		
		X	Y	Z
1	7,5 R 6/4	40,21	33,03	8,32
2	5 Y 6/4	34,88	31,44	4,76
3	5 GY 6/8	30,85	32,02	3,1

4	2,5 G 6/6	24,03	26,49	6,16
5	10 BG 6/4	26,88	27,44	12,86
6	5 PB 6/8	27,46	25,29	19,21
7	2,5 P 6/8	34,36	28,22	18,67
8	10 P 6/8	39,87	31,23	15,94
9	4,5 R 4/13	22,17	12,66	1,61
10	5 Y 8/10	74,12	68,4	3,65
11	4,5 G 5/8	13,63	16,35	4,66
12	5 PB 3/11	3,38	3,14	7,63
13	5 YR 8/4	74,71	64,22	13,9
14	5 GY 4/4	12,02	12,48	1,78

В литературе существует несколько преобразований хроматической адаптации, большинство из которых основано на модели фон Криса [2, 3]. Все сравнения, сделанные в этой работе, основаны на модели хроматической адаптации фон Криса и Бредфорда. Трехцветные значения CIE XYZ  $[X', Y', Z']$  линейно преобразуются с помощью матрицы  $[M_A]$  для получения ответов колбочек после адаптации при первом источнике света. Полученные значения независимо масштабируются, чтобы получить отклики конуса постадаптации при втором источнике света. Это преобразование обычно представляет собой диагональную матрицу, основанную на откликах конуса постадаптации точки белого источников света. Чтобы получить значения трехцветного стимула CIE XYZ при втором источнике света  $[X'', Y'', Z'']$ , отклики конуса постадаптации при втором источнике света умножаются на обратную матрицу  $[M_A]^{-1}$  [4]. Эта модель представлена в уравнениях (1 -3) и применяется для преобразования от источника типа A, координат цвета атласа Манселла (табл. 1), к источнику типа B:

$$\begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$M = M_A^{-1} \cdot \begin{bmatrix} R''_w / R'_w & & \\ & G''_w / G'_w & \\ & & B''_w / B'_w \end{bmatrix} \cdot M_A, \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = M_A^{-1} \cdot \begin{bmatrix} R''_w / R'_w & & \\ & G''_w / G'_w & \\ & & B''_w / B'_w \end{bmatrix} \cdot M_A \cdot \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $[R_w', G_w', B_w']$  и  $[R_w'', G_w'', B_w'']$  рассчитываются из трехцветных значений XYZ первого и второго источников света путем умножения их трехцветных значений  $[X_w', Y_w', Z_w']$  и  $[X_w'', Y_w'', Z_w'']$  на матрицу  $[M]$ .

Для оценки и сравнения качества цветопередачи, значения XYZ сначала преобразуются в однородное хроматическое пространство МКО 1960 г., где определяются координаты цветности  $u$  и  $v$  и разность цветности  $\Delta e$  по уравнениям

$$u = \frac{4X}{X+15Y+3Z}, v = \frac{6Y}{X+15Y+3Z}, \quad (4)$$

$$\Delta e = \sqrt{(\Delta u)^2 + (\Delta v)^2} = \sqrt{(u_2 - u_1)^2 + (v_2 - v_1)^2}, \quad (5)$$

где  $X, Y, Z$  – цветовые координаты,  $u_1, v_1$  – координаты цветности первого образца,  $u_2, v_2$  – координаты цветности второго образца.

Для сравнения этих преобразований были найдены интегральные значения изменения спектральных характеристик 14 цветов относительно источников типа А и типа В, что позволит провести объективное сравнение результатов хроматических преобразований. Спектральные характеристики источников типа А и типа В взяты из ГОСТ Р 55704-2013 «Источники света электрические». А спектральные характеристики 14 цветов из атласа манселла из источника [1, 417-418].

Результаты преобразования хроматической адаптации и расчетов цветности представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета при преобразовании по модели Бредфорда и Фон Криса от источника типа А к В

Коор. цвета	Номер образца													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Малонасыщенные цвета								Насыщенные цвета				Прочие (цвет кожи и листьев)	
	Теория													
X	372	312	269	221	263	292	357	418	253	632	129	56	664	104
Y	321	308	320	301	314	303	308	335	133	634	204	61	612	123
Z	372	312	269	221	263	292	357	418	253	632	129	56	664	104
	Практика													
X	35	30	26	21	25	28	33	37	19	61	12	5	65	10
Y	32	31	32	27	28	26	29	31	12	67	17	4	63	12
Z	20	11	6	14	31	47	46	39	4	7	11	19	33	4
	Бредфорд													
$u_1$	0,26	0,24	0,20	0,17	0,18	0,19	0,23	0,25	0,43	0,24	0,14	0,14	0,24	0,20
$v_1$	0,33	0,35	0,36	0,34	0,32	0,29	0,29	0,31	0,34	0,36	0,34	0,22	0,34	0,35
$u_2$	0,24	0,23	0,20	0,18	0,19	0,20	0,22	0,24	0,37	0,23	0,16	0,16	0,23	0,20
$v_2$	0,33	0,35	0,37	0,35	0,31	0,28	0,29	0,30	0,34	0,37	0,34	0,19	0,34	0,36
$\Delta e$	0,01 4	0,00 9	0,00 7	0,01 2	0,01 1	0,01 4	0,01 0	0,01 6	0,05 6	0,01 6	0,01 9	0,01 1	0,04 1	0,00 6
Относительно 0,0054	3	2	1	2	2	3	2	3	10	3	3	8	2	1

Ср. относ. знач.	3													
	Фон Крис													
$u_1$	0,26	0,24	0,20	0,17	0,18	0,19	0,23	0,25	0,43	0,24	0,14	0,14	0,24	0,20
$v_1$	0,33	0,35	0,36	0,34	0,32	0,29	0,29	0,31	0,34	0,36	0,34	0,22	0,34	0,35
$u_2$	0,24	0,22	0,19	0,18	0,19	0,20	0,23	0,24	0,36	0,22	0,16	0,18	0,23	0,19
$v_2$	0,34	0,35	0,36	0,34	0,31	0,28	0,29	0,30	0,34	0,37	0,34	0,18	0,34	0,36
$\Delta e$	0,01 7	0,01 4	0,01 2	0,00 8	0,01 3	0,02 1	0,00 8	0,01 3	0,07 0	0,02 4	0,01 7	0,06 5	0,01 4	0,01 1
Относительно 0,0054	3	3	2	2	2	4	2	2	13	4	3	12	3	2
Ср. относ. знач.	4													

Результаты исследования показывают, что максимальное превышение цветового порога в 13 и 12 раз имеют цвета красных и синих оттенков при преобразовании по модели Фон Криса, а результаты, предсказанные моделью Бредфорда, имеют превышение в 10 раз у красных и 7 у синих. Также превышение наблюдается при расчете среднего относительного значения, которое преимущественно выше у преобразования по модели Фон Криса, нежели Бредфорда. В конечном итоге видно, насколько данные модели являются несовершенными и имеют высокие погрешности при преобразовании, что требует дальнейшего рассмотрения и определения новой методики или усовершенствования существующих.

Полученные результаты приводят к выводу: при проведении научных исследований (колориметрии, микроскопии, медицине) лучше отказаться от преобразований цвета относительно различных источников, а координаты цвета получать экспериментально или через интегральную характеристику спектральных характеристик исследуемых объектов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации в 2022-2024 годах для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики СП-748.2022.4.

#### Литература:

1. Жбанова В.Л. Вопросы применения цифровой колориметрии в современных научных исследованиях // Светотехника. 2021. №2. С. 5-14.
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. Гафуров В.Р. Анализ влияния хроматических преобразований на цветность // «Информационные технологии, энергетика и экономика». В 2 т. Т. 1. Смоленск, 2022. с. 242-245.
4. Süssstrunk S, Holm J, Finlayson GD. Chromatic adaptation performance of different RGB sensors. IS&T/SPIE Electronic Imaging 2001. 4300 p.: il.

*В.Л. Жбанова, к.т.н., доц., С.А. Петрова, студ.  
(Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)  
В.И. Гребенюк, инженер по метрологии КИО ОСНИОКР и СП;  
(НИИ СТТ, г. Смоленск)*

## **АВТОКОЛЛИМАТОР И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ**

Автоколлиматоры используются для измерений углов наклона, угловых перемещений, взаимного углового положения плоских отражающих поверхностей в двух плоскостях, отклонений от плоскостности и прямолинейности направляющих, а также для использования в качестве дрейф-индикатора и прецизионного нуль-индикатора (датчика нуля) в системах автоматического управления [1-3].

Автоколлиматоры бывают двух видов: визуальные и цифровые, в зависимости от метода обработки и предоставления измерений.

В автоколлиматоре с визуальным способом обработки оператор при помощи окуляра находит сдвиг проекции светящейся марки, снявшееся от отображающей поверхности предмета измерений, относительно сетки прибора.

А в цифровом приборе, проекция марки фиксируется при помощи ПЗС-матрицы или линейкой. Результаты измерений записываются и затем передается на персональный компьютер (ПК). Кроме того, цифровые автоколлиматоры имеют бесспорные преимущества перед визуальными автоколлиматорами: малые габариты и вес, высокая точность измерений, простота в обслуживании и эксплуатации, автоматизация измерений и т.д.

Для дальнейших исследований будем использовать цифровой автоколлиматор АК-05У. Рассмотрим его устройство и работу.

Функциональные узлы автоколлиматора конструктивно размещены в следующих блоках: оптико-механическом блоке (ОМБ) (I); ПК (II). Блок-схема автоколлиматора представлена на рисунке 1 [1].

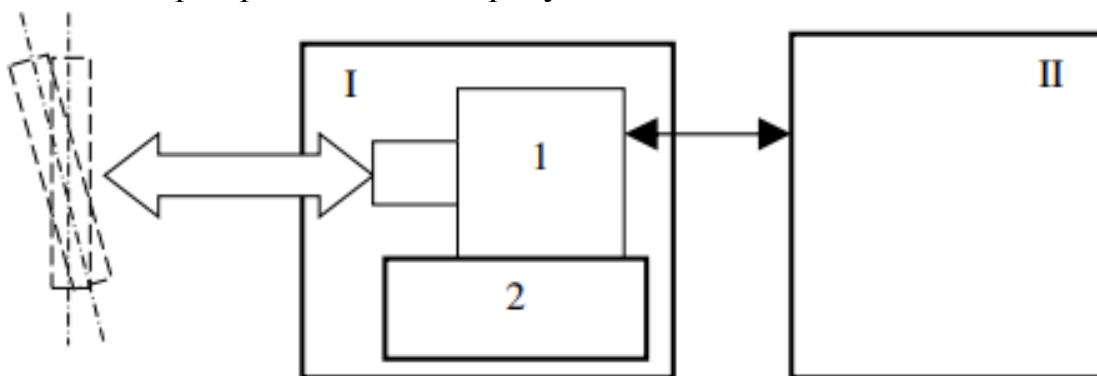


Рисунок 1 – Блок-схема автоколлиматора

В составе ОМБ I находится осветительно-приемный узел с объективом 1 и механический блок 2.

ПК II представляет собой ПЭВМ с установленной ОС Windows и программным обеспечением «Автоколлиматор», версии 2.1.

ПЭВМ соединен с ОМБ кабелем адресации информационных данных автоколлиматора. В автоколлиматоре сконструировано регулируемое

основание, благодаря которому происходит перемещение автоколлиматора в горизонтальной и вертикальной плоскости для наведения требуемого положения, прибор можно закрепить к любой металлической плоскости при помощи магнитного основания.

Работа основана на определении смещения отраженного от измеряемой поверхности луча источника излучения по светочувствительному элементу матричного фотоприемника. Использование в автоколлиматоре матричного фотоприемника нового поколения позволяет повысить их чувствительность при расширении динамического диапазона. Матричный фотоприемник представляет собой устройство, формирующее измерительный сигнал и, в то же время, является измерительной шкалой, служащей для определения координат (х,у) световой марки.

Наблюдаемая грань или деталь ставится перпендикулярно визирной оси автоколлиматора. Лучи света, входящие из объектива автоколлиматора параллельными пучками, отразившись от плоской поверхности измеряемой детали, вновь попадают в объектив и дают изображение световой марки на матричный фотоприемник.

Если световая марка находится в поле зрения автоколлиматора, автоколлиматором формируются управляющие сигналы, в момент прихода которых головной программой вычисляется величина угла поворота поверхности измеряемой детали относительно нулевой сетки автоколлиматора. Изображение световой марки в виде сигналов, поступающих с фоточувствительного массива матрицы, обрабатываются и усиливаются, далее это цифровое изображение адресуется по каналу USB 3.0. в ПЭВМ, где на экране выводится непосредственное изображение световой марки и результат измерений в двух плоскостях.

На рисунке 2 представлена схема ОМБ.

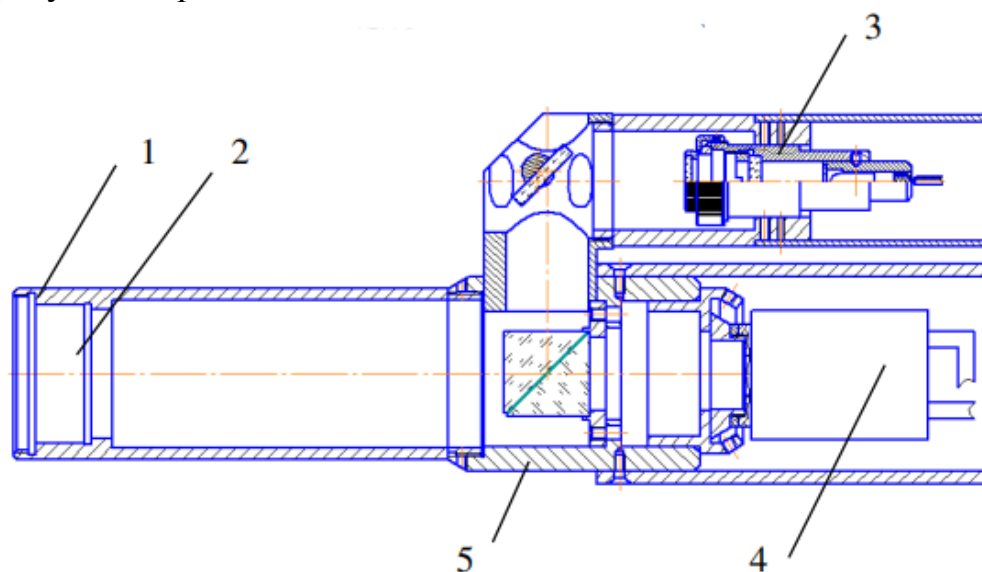


Рисунок 2 – Схема опτικο-механического блока автоколлиматора

Конструкция корпуса автоколлиматора состоит из комбинации стальных и алюминиевых деталей. Корпус содержит тубус 1 с объективом 2, осветительная

система 3 и матричный фотоприемник 4 и корпус 5. Для точного наведения грани объекта измерений в поле зрения автоколлиматора используются юстировочные винты основания ОМБ. На задней поверхности ОМБ имеется разъём для подключения кабеля от автоколлиматора к ПЭВМ.

Автоколлиматор входит в состав стеда для измерения стабилизации аэрофотокамеры. Рассмотрим структурную схему стенда на рисунке 4. Предложена следующая методика измерений. Исследуемая камера, зафиксированная на кранштейне, устанавливается перпендикулярно визирной оси автоколлиматора, проходящей через зеркало К8, расположенное на камере. Зеркало с автоколлиматором совмещаем таким образом, чтобы на ПЭВМ от автоколлиматора был виден автоколлимационный крест (АК). С помощью юстировочных винтов введем АК в центр экрана ПЭВМ, после чего запускаем режим измерения «Дрейф-индикатор» и вращаем исследуемую камеру по азимуту и углу места. По завершению измерения отключаем режим «Дрейф-индикатор» и в последствии автоколлиматор создает текстовый документ, в котором содержатся координаты (х,у) автоколлимационного креста от времени. Затем производится расчет среднеквадратичного отклонения стабилизации.

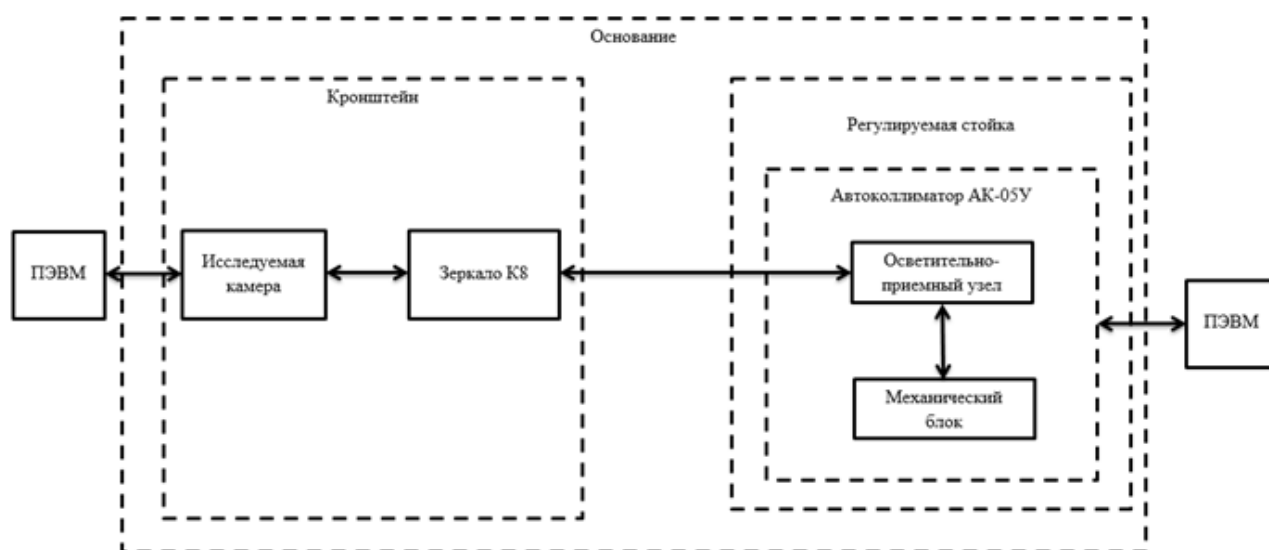


Рисунок 4 – Структурная схема стенда

Предложенная методика измерений будет применена при исследовании пяти аэрофотокамер различных производителей. Это позволит произвести точный анализ систем стабилизации исследуемых объектов, а также даст возможность в дальнейшем усовершенствовать методику измерений с помощью автоколлиматора.

#### Литература

1. Руководство по эксплуатации ДИАГ.401235.007РЭ. ООО «Научно-производственный комплекс «Диагностика». Автоколлиматор АК-05У. [www.npk-spb.ru](http://www.npk-spb.ru) – Санкт-Петербург: 2022. 19 с.
2. Иванов П. А.. Автоколлиматоры и гониометры. Обзор современных моделей // Фотонка №1/69/2018. DOI: 10.22184/1993-7296.2018.69.1.66.74.
3. Афанасьев В.А., Жилкин А.М., Усов В.С. Автоколлимационные приборы. Книга. Изд. 1-е. М.:Недра, 1982. 144 с.

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ШУМОВ ЦВЕТНЫХ МАТРИЧНЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ**

На стадии производства матричных фотоприемников важно прогнозировать шумовую составляющую полезного сигнала [1]. Поэтому был предложен спектрозональный метод как для контроля цветопередачи источников излучения [2, с. 340]. Только параметры каждой зоны выбирались для красного, зеленого и синего цветов двумя способами: по принятому диапазону спектра каждого цвета и аналогично распределению кривых каждого цвета по спектру в международной системе XYZ.

Произведен анализ спектральной характеристики многослойного матричного фотоприемника Foveon X3 без ИК-фильтра и с ИК-фильтром (рис. 1).

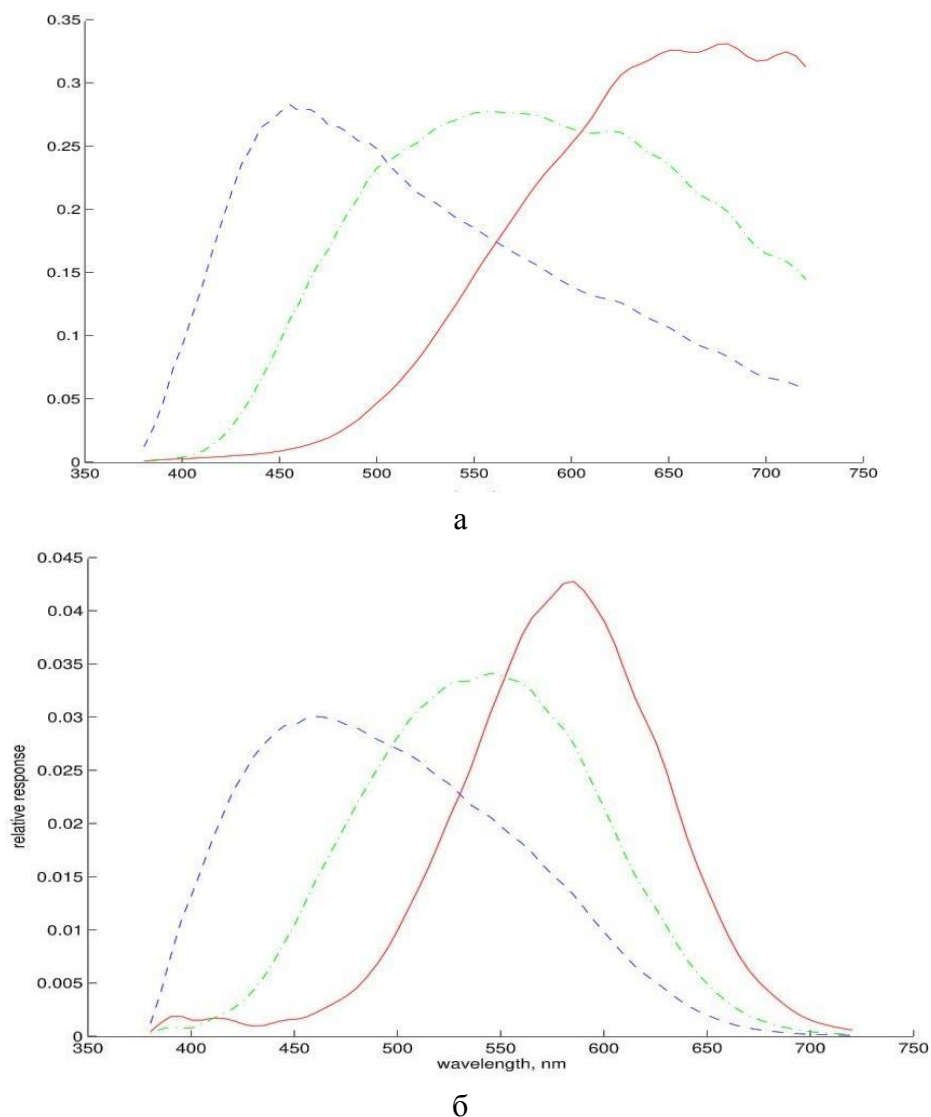


Рисунок 1 – Зависимость длины волны от спектральной чувствительности Foveon X3:  
а – без ИК-фильтра; б – с ИК-фильтром



Проведем анализ шумов этих спектральных характеристик по каждому цветовому каналу. Ранее было доказано, что чем более пикообразные, равномерные и узкие спектральные характеристики приемников, тем более чистые будут получены цвета. Как видно по рис. 1, характеристики рассматриваемых матричных фотоприемников широкие, местами несимметричные и местами простираются за пределы своего рабочего диапазона. Поэтому суть метода заключается в разбиении спектральной характеристики на полезный сигнал и шум. Вся интегральная составляющая, входящая в допустимый диапазон цвета, будет считаться полезным сигналом, а выходящая за рамки – шумом.

В первом случае за основу была взята международная колориметрическая система XYZ (табл. 1) для спектральной характеристики по рис. 1, а. По очереди исследовали и проанализировали результаты по каждому диапазону цвета: red, green, blue (RGB). Для начала была рассчитана полезная область по каждому цвету, затем были рассчитаны шумы в каждой области. Общая площадь диапазона 500-700 нм (красный канал) получилось равной 45,91, при этом общее количество шумов на кривой составило 31,21, таким образом, получаем, что шумы составляют 67,98%. При этом шум зеленого составил 67,32%, а шум синего – 13,11%.

Общая площадь диапазона 450-650 нм (зеленый канал) получилась равной 47,65, при этом общее количество шумов равно 59,46. Таким образом, получаем, что общие шумы составляют 124,78% от полезной области. При этом шум красного – 103,32%, а шум синего – 48,46%.

Общая площадь диапазона 400-550 нм (синий канал) получилась равной 35,02, при этом общее количество шумов равно 42,57. Таким образом, получаем, что общие шумы составляют 121,56% от полезной области. При этом шум красного – 53,23%, а шум зеленого – 109,19%.

Таблица 1 – Результаты исследования по системе XYZ без ИК-фильтра

Деление по системе XYZ										
Цвет	$\Sigma_{общая}$	Область, нм	$\Sigma_{полезный}$	Шум $\delta$			$\Sigma\delta$	%		
				R	G	B		R	G	B
R	53,78	500-700	45,91	-	30,92	6,02	39,94	-	67,32	13,11
G	62,66	450-650	47,65	49,23	-	23,09	72,32	103,32	-	48,46
B	54,67	400-550	35,02	18,64	38,24	-	56,88	53,23	109,19	-

Проведя данный анализ, было замечено, что количество шумов гораздо превышает полезную область во всех диапазонах. Больше всего шумов было замечено в зеленом и синем диапазонах. Так же, анализируя результаты, было замечено наложение шумов друг на друга.

Теперь за основу исследования приняты диапазоны спектра по цветам. В данном случае диапазоны RGB получаются: красный от 580нм до 760нм, зеленый от 525нм до 580нм, синий от 400нм до 525нм. Проведем аналогичный анализ, что и с системой XYZ (табл. 2).

Из таблицы 2 видно, что больше всего шумов приходится на диапазон зеленой области (525-580нм) – 316,91% шума от полезной области. При этом красный шум составил 208,59% от полезной области, а синий шум – 108,32%. В

диапазоне красной области (580-760нм) получилось меньше всего шумов – 32,00% шума от полезной области. Из них красный шум составил 49,69%, а зеленый шум – 34,63% от полезной красной области. В диапазоне синей области (400-525 нм) получили 84,31% общего шума от полезной области, при этом красного шума – 49,69%, а зеленого – 34,63%.

Таблица 2 – Результаты исследования по областям цвета без ИК-фильтра

Деление по областям цвета										
Цвет	$\Sigma_{общая}$	Область, нм	$\Sigma$	Шум $\delta$			$\Sigma\delta$	%		
				R	G	B		R	G	B
R	53,78	580-760	35,84	-	3,08	8,39	11,47	-	8,59	23,41
G	62,66	525-580	15,02	31,33	-	16,27	47,60	208,59	-	108,32
B	54,67	400-525	29,14	14,48	10,09	-	24,57	49,69	34,63	-

Теперь проведем аналогичное исследование, только для матричного приемника с ИК-фильтром (рис. 1, б). Результаты исследования представлены в табл. 3 и табл. 4.

Из таблицы 3 видно, что шумы области зеленого и синего цветов значительно превышают полезную области. Для зеленого диапазона общий шум составил 104,05%, при этом шума красного (81,24%) больше, чем шума синего (57,36%), а для синего диапазона – 125,10%, здесь шум красного составляет 79,19%, а шум зеленого 123,81%. В красном диапазоне получилось, что общий шум составил 98,72%, при этом шум зеленого 98,29%, а шум синего 28,85%.

Таблица 3 – Результаты исследования по областям цвета с ИК-фильтром

Деление по системе XYZ										
Цвет	$\Sigma_{общая}$	Область, нм	$\Sigma_{полезный}$	Шум $\delta$			$\Sigma\delta$	%		
				R	G	B		R	G	B
R	5,02	500-700	4,68	-	4,60	1,35	5,95	-	98,29	28,85
G	5,03	450-650	4,69	3,81	-	2,69	6,5	81,24	-	57,36
B	5,03	400-550	2,94	2,24	3,64	-	5,88	79,19	123,81	-

Анализируя полученные данные, видим, что больше всего шумов приходится на зеленый цвет на всех кривых. Так же при анализе было замечено наложение шумов друг на друга.

Теперь, для исследования данных кривых, возьмем систему, как и в таблице 2. Все полившие результаты запишем в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты исследования по областям цвета с ИК-фильтром

Деление по областям цвета										
Цвет	$\Sigma_{общая}$	Область, нм	$\Sigma_{полезный}$	Шум $\delta$			$\Sigma\delta$	%		
				R	G	B		R	G	B
R	5,02	580-760	2,48	-	1,81	0,67	2,48	-	72,98	27,02
G	5,03	525-580	1,80	1,24	-	1,96	3,20	68,89	-	108,89
B	5,03	400-525	2,38	0,56	1,05	-	1,61	23,53	44,18	-

В данном случае видно, что на красной кривой общий шум составил 100% от полезной области, при этом шума зеленого 72,98%, что значительно больше шума синего 27,02%. На зеленой кривой общий шум составил 177,78% от полезного диапазона, что является самой зашумленной областью на графике на рис.2. При этом красный шум составил 68,89%, а синий шум 108,89%. На синей кривой общий шум составил 67,65%, из него шум красного – 23,53%, а шум

зеленого – 44,18%. Наложений шумов друг на друга замечено не было. Из последней таблицы видно, что больше всего шумов по зеленому каналу.

Таким образом, исследование показало, что обе методики действенны. При ориентации на международную систему XYZ, из-за наложения спектров основных цветов, шумы могут превышать полезный сигнал практически половину. Хотя именно этот метод является технически верным, так как границы цветов условны и промежуточные цвета можно отнести к двум диапазонам: к примеру, оранжевый можно включить к желтым и красным цветам.

По результатам исследования матричный фотоприемник с ИК-фильтром показал результат по шумам лучше (рис. 1, б). Однако применение ИК-фильтра не позволяет делать модификации со слоями чувствительными к инфракрасному излучению. Поэтому при рассмотрении шумов модифицированных систем, необходимо ориентироваться на результаты первых характеристик (рис. 1, а).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00012, <https://rscf.ru/project/21-79-00012/> (Acknowledgments: the reported study was funded by Russian Science Foundation, project number 21-79-00012. <https://rscf.ru/en/project/21-79-00012/>).

#### Литература

1. Федосеев В.И. Шумовые параметры матричных фотоприемников // Оптический журнал. 2012. № 6. с. 59-66.
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. Zhibanova V.L. Evaluation and selection of color spaces for digital systems // Light & Engineering. № 6. 2020. pp. 86-94. DOI: 10.33383/2020-024.

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

### **ВЛИЯНИЕ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ ИСТОЧНИКА НА ЦВЕТ ОБЪЕКТА**

Влияние цвета на человека довольно велико, разработке этого вопроса посвящен ряд исследований. Различные цвета воздействуют на человека по-разному и способны вызвать определенные эмоции, что может быть обусловлено как объективными, так и субъективными причинами. При цветовом оформлении помещений необходимо учитывать влияние на восприятие цвета природы света и его характеристик.

В настоящее время чаще всего применяют четыре типа источников искусственного света: лампы накаливания, разрядные лампы с газовым наполнителем, люминесцентные лампы, представляющие собой комбинацию разряда и явление люминесценции, и светодиодные лампы.

Цветопередача отражает воздействие света лампы на цвета освещаемых ею объектов. Искусственный свет должен обеспечивать максимально близкое к естественному дневному свету восприятие цветов.

При оценке цветопередачи используется индекс цветопередачи (коэффициент цветопередачи)  $R_a$  – этот параметр, характеризующий уровень

соответствия естественного цвета тела видимому (кажущемуся) цвету этого тела при освещении его данным источником света, то есть насколько натурально выглядят окружающие предметы в свете этого источника. Индекс цветопередачи лампы означает степень отклонения от идеального источника света. Он определяется сравнением 8 (или 14) стандартных эталонных цветов при освещении эталонным и тестируемым источниками. Основные и дополнительные тестируемые цвета приведены в табл.1.

Таблица 1

Тестируемые цвета

Основные цвета	Дополнительные цвета
$R_1$ - брусничный	$R_9$ - красный
$R_2$ - горчичный	$R_{10}$ - желтый
$R_3$ - желто-зеленый	$R_{11}$ - зеленый
$R_4$ - светло-зеленый	$R_{12}$ - синий
$R_5$ - бирюзовый	$R_{13}$ - цвет кожи
$R_6$ - небесно-голубой	$R_{14}$ - цвет зеленого листа
$R_7$ - фиолетовой	-
$R_8$ - сиреневый	-

Наиболее интересный эксперимент был представлен учеными The MathWorks Inc., Натик, Массачусетс, США. Измерения проводились в фотометрической комнате. Максимальная интенсивность красного, зеленого и синего цветов на мониторе измерялась с помощью колориметра ColorCal MKII (Cambridge Research Системы). Координаты  $x$ ,  $y$  и  $Y$  (Smith & Guild, 1931) каждого цвета и белой точки равнялись 0,66, 0,33, 19,77 (красный); 0,32, 0,59, 84,10 (зеленый); 0,14, 0,06, 9,70 (синий); и 0,30, 0,32, 113,57 (белый) соответственно.

Использовались две синусоидальные решетки (круглое пятно диаметром  $8^\circ$ , расположенное  $5^\circ$  выше или ниже центра фиксации), модулируемый любой яркостью или изолирующий цвет. В обеих решетках средняя яркость была установлена на то же значение, что и фоновая яркость,  $57 \text{ кд/м}^2$ . Для решетки яркости пиковый контраст Майкельсона был установлен на 52%. Для цветовой решетки isoluminant цветность модулировалась между пурпурным (CIE  $xY$ : 0.35, 0.30, 57.47) и голубым (CIE  $xY$ : 0.25, 0.34, 55.65), что представляет собой модуляцию цвета L-M. Хроматический контраст был установлен на 7% среднеквадратичный контраст конуса (RMScc). RMScc рассчитывали по следующим формулам (Ayhan et al., 2011):

$$L_{CC} = (L_{CEcyan} - L_{CEmagenta}) / (L_{CEcyan} + L_{CEmagenta}), \quad (1)$$

$$M_{CC} = (M_{CEcyan} - M_{CEmagenta}) / (M_{CEcyan} + M_{CEmagenta}), \quad (2)$$

где  $L_{CEcyan}$  и  $L_{CEmagenta}$  относятся к возбуждениям L-конуса, индуцируемым пурпурным и голубым цветом стимула изолюминантной цветовой решетки.  $M_{CEcyan}$  и  $M_{CEmagenta}$  относятся к возбуждениям M-конуса, индуцируемым

пурпурным и голубым цветом стимула решетки цвета изолюминанта. *LCC* и *MCC* относятся к Контраст *L*- и *M*-конусов соответственно.

Пурпурный и голубой цвета решетки изолирующего цвета были установлены на субъективную изолирующую яркость, которая было измерено для каждого участника с минимальной техникой движения (Anstis & Cavanagh, 1983). В этом измерении синусоидальные решетки, модулированные цветностью (пурпурно-голубой) и яркостью (черно-белый), были представлены поочередно. Фаза каждой решетки была сдвинута на одну четверть цикла по сравнению с предварительно представленной решеткой. Временная частота модуляции стимула составляла 5 Гц, а пространственная частота составляла 0,5 цикла на градус. Стимул был представлен на 5° выше точки фиксации. Участники сообщили, в каком направлении стимул дрейфовал то влево, то вправо.

Яркость пурпурного или голубого цвета изменяли с помощью метода лестницы с размером шага 0,32 кд/м<sup>2</sup> до тех пор, пока воспринимаемое направление стимула не менялось восемь раз. Субъективная освещенность измерялась в двух блоках. В одном блоке яркость пурпурного была изменена, в то время как яркость голубого была зафиксирована на уровне 57 кд/м<sup>2</sup>, что было таким же, как и на сером фоне. В другом блоке яркость голубого была изменена, в то время как яркость пурпурного была зафиксирована на уровне 57 кд/м<sup>2</sup>. Значения яркости последних четырех развороты были усреднены в каждом блоке. Участники, чьи данные не сходились в течение последних четырех разворотов, были исключены из эксперимента и не переходили к последующим экспериментам по восприятию продолжительности. Усредненная яркость, полученная из блока *magentachanged*, указывает на яркость пурпурного, которая субъективно отличается от голубой при 57 кд/м<sup>2</sup>.

Усредненная яркость, полученная из блока с изменением голубого цвета, указывает на яркость голубого цвета, которая субъективно отличается от пурпурного при 57 кд/м<sup>2</sup>. Основываясь на этих значения яркости, разница в яркости между субъективно изолированным пурпурным и голубым цветом была рассчитана по следующей формуле:

$$Lum_{dif} = (|Lum_{mcb} - 57| + |Lum_{ccb} - 57|)/2, \quad (3)$$

где  $Lum_{mcb}$  и  $Lum_{ccb}$  относятся к усредненной яркости, полученной из блока с измененным пурпурным или голубым цветом, соответственно. Если  $Lum_{mcb}$  был выше 57 кд/м<sup>2</sup>, а  $Lum_{ccb}$  был ниже 57 кд/м<sup>2</sup>, яркость субъективно изолированного пурпурного и голубого рассчитывали по следующим формулам:

$$Lum_{mag} = 57 + Lum_{dif}/2, \quad (4)$$

$$Lum_{cya} = 57 - Lum_{dif}/2. \quad (5)$$

Если  $Lum_{mcb}$  был ниже 57 кд/м<sup>2</sup>, а  $Lum_{ccb}$  был выше 57 кд/м<sup>2</sup>, яркость субъективно изолированного пурпурного и голубого цветов рассчитывали по следующим формулам:

$$Lum_{mag} = 57 - Lum_{dif}/2, \quad (6)$$

$$Lum_{cya} = 57 + Lum_{dif}/2. \quad (7)$$

Увеличение длительности будет происходить в условиях яркости, и умеренные доказательства, подтверждающие гипотезу о том, что увеличение

продолжительности будет происходить в условиях цвета изолюминанта. Замедление длительности будет меньше в условиях изолированного цвета, чем в условиях яркости. Результаты показывают, что, как и в случае сжатия длительности, вызванного адаптацией, движение яркости вызывает большее расширение длительности, чем движение цвета изолинии. Чем меньше отклонение видимого цвета от естественного, тем лучше характеристика цветопередачи этой лампы. Чем ниже коэффициент цветопередачи, тем хуже цветопередача тестируемого источника света.

Наибольший возможный индекс цветопередачи ( $R_a = 100$ ) присваивается абсолютно черному телу. Источник света с индексом цветопередачи  $R_a = 100$  излучает свет, оптимально отражающий все цвета. Свет высокого качества передает цвета так же, как естественный свет в облачный полдень. Комфортный для человеческого зрения диапазон цветопередачи составляет  $R_a = 80-100$ .

Результаты этого эксперимента по влиянию цветопередачи света лампы на цвета освещаемых ею объектов будут положены в основу исследований различия цветового восприятия человеком. А также исследования метамеризма, как свойства зрительной системы человека, при котором свет различного спектрального состава может вызывать ощущение одинакового цвета. Решение таких задач позволит решить ряд вопросов в лакокрасочной, химической промышленности, дизайне и сфере искусства.

#### Литература:

1. ColorWithLara. Itten's 7 Color Contrasts. 2015. Accessed November 6, 2021. <https://colorwithlara.files.wordpress.com/2015/05/itten-projects.pdf>
2. PaintingandArtists. 7 colors contrast by Yohannes Itten. 2014. Accessed November 6, 2021. <https://www.paintingandartists.com/7-colors-contrast-by-johannes-itten>
3. Csillag P. A model of visual perception useful for designers and artists. J Vis Lit. 2009;28(2):127-144. doi:10.1080/23796529.2009.11674665
4. Csillag P. Food package chromatic design: a case study applying model Sens-Org-Int. J Int Col Assoc. 2013;10:37-46.
4. Csillag P. Relationships between Neuroscience and visual perception model Sens-Org-Int contributing to Design practices. In: Farias PL, Calvera A, Braga MC, Schincariol Z, eds. Design Frontiers: Territories, Concepts, Technologies (ICDHS 2012 - 8th Conference of the International Committee for Design History & Design Studies). Blucher; 2014:331-335. doi:10.5151/design-icdhs-073
5. Csillag P. Comunicação Com Cores ~ . SENAI SP; 2015
6. Csillag P. Um mapeamento de estudos de cores frente ao Modelo SENSjORGjINT de percepção visual de modo a identificar princípios cromáticos que tendem a ser generalizáveis aos seres humanos. Infodesign. 2011;8:39-47. doi: 10.51358/id.v8i2.127

## **МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ МИКРООБЪЕКТОВ НА USB-МИКРОСКОПЕ**

Электронные микроскопы отличаются от световых микроскопов тем, что создают изображение образца, используя пучок электронов, а не пучок света. Электроны имеют гораздо более короткую длину волны, чем видимый свет, и это позволяет электронным микроскопам получать изображения с более высоким разрешением, чем стандартные световые микроскопы. Однако, образцы для электронной микроскопии должны быть помещены в вакуум и обычно готовятся с помощью обширного процесса фиксации, что ограничивает отображение живых клеток.

Примером такого микроскопа является USB-микроскоп. Создание такого прибора облегчило деятельность многих пользователей, связанных не только с наукой, но и промышленностью, так как он позволяет производить не только биологические и анатомические наблюдения, но и используется как инструмент контроля качества, а также для ювелирной работы.

Объектом исследования выбран доступный USB цифровой конфокальный микроскоп Miview Microscope MV200UM (рис. 1). Особенности данного микроскопа: матрица микроскопа позволяют успешно проводить наблюдения в инфракрасной и видимой части спектра объектов с размерами от 2,8 мкм; высокое разрешение до 2.0 Мп; независимо разработанное программное обеспечение для отображения: моментальный снимок, видеозапись, измерение и т. д.; частота кадров: 10 кадров в секунду при 1600x1200, 15 кадров в секунду при 1280x960, 30 кадров в секунду при 640x480; освещение – 8 белых регулируемых светодиодов.



Рисунок 1 – Цифровой микроскоп MiView MV200UM



Препаратом, для визуализации возможностей микроскопа, выбрана париетальная плевра (рис. 2). С помощью USB-микроскопа можно с высокой точностью и достоверностью описать процесс образования сосудистого русла и количественно оценить следующие параметры: количество отростков, общая длина, участки и интенсивность ветвления, величина просвета в различных участках русла.



Рисунок 2 – Срез париетальной плевры

Использование четко откалиброванного USB-микроскопа позволяет весьма просто получить микроснимок высокого качества, достаточно всего лишь сфокусировать камеру микроскопа для визуально четкого восприятия и нажать кнопку спуска затвора. Готовый снимок появится в рабочем поле программного обеспечения (ПО) микроскопа (рис. 3), где в дальнейшем, выбрав нужную микрофотографию и необходимую команду на панели инструментов, пользователь может произвести необходимые измерения (рис. 4).



Рисунок 3 – Рабочее поле ПО USB-микроскопа MiView MV200UM





Рисунок 4 – Рабочее поле ПО микроскопа MiView MV200UM с измеренным углом бифуркации сосуда

Например, выбрав команду «линия» можно с легкостью измерить длину искривленной линии, самостоятельно выбирая направление и точки соединения отрезков, так, на рис. 5, длина измеренного участка сосудов равна 3,708 мм. Также можно произвести измерения периметра и площади фигуры, диаметр объекта. Угол между мнимыми или фактическими прямыми линиями, как представлено на рис. 4, где измеренный угол бифуркации сосуда, составил 99,72°.



Рисунок 5 – Измерение длинны сосудов париетальной плевры в ПО микроскопа MiView MV200UM

Применение цифровой USB микроскопии отличается мобильностью и упрощает процесс изучения характеристик исследуемых объектов, как в биомедицинских науках, промышленности, так и в процессе личного пользования.

Наиболее очевидным преимуществом такого микроскопа является эргономика инструмента, поскольку изображение образца отображается на мониторе, пользователь может сразу просмотреть его и проанализировать с помощью программного обеспечения и оперативно получить необходимые характеристики объекта, проверить точность выполненного изделия, а также произвести увеличение микросоединений. Такие приборы – незаменимые

помощники в медицине, биологии, физике и ботанике. В дальнейшем микроскоп можно будет усовершенствовать вводом новых методов регистрации и обработки цветных снимков микрообъектов – повысить цветовое разрешение [4].

Исследование выполнено при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации в 2022-2024 годах для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики СП-748.2022.4.

#### Литература:

1. Katia Cortese, Giuseppe Vicidomini, Maria Cristina Gagliani Cellular Compartment Analysis by Correlative Light-Electron Microscopy on Cryosection. *Methods in Cell Biology*, 2012. Vol. 111, P. 95.
2. Rachel Bracker, Anthony S. Stender Efficacy of USB microscopes for imaging forensic materials. *Forensic Science International*, 2019. Vol. 304, 109961.
3. Tzipi Cohen Hyams, Keriya Mam, Murray C. Killingsworth Scanning electron microscopy as a new tool for diagnostic pathology and cell biology. *Micron*, 2020. Vol. 130, 102797.
4. Жбанова В.Л. Оценка и подбор цветовых пространств для цифровых систем // *Светотехника*. 2020. № 5. С. 53-60.

*В.Л. Жбанова, доц.*

*(филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ИЗМЕРЕНИЯ ЦВЕТОДЕЛИТЕЛЬНЫХ НАБОРОВ НА ОСНОВЕ МИКРОСКОПА**

Проблемы современных цифровых систем заключаются в несогласованности уровней развития устройств ввода и вывода визуальной информации. Современные дисплеи на квантовых точках способны воспроизводить цвета практически всего видимого диапазона. А регистрирующие системы работают в небольших цветовых пространствах, основанных на стандартной системе МКО 1931 г.

Одним из важных направлений цифровых устройств является микроскопия, на данный момент развивающаяся быстрыми темпами. Основу развития составляют новые методы цифровой обработки изображений, полученных с помощью микроскопа. Все они направлены на повышение резкости и контраста изображения для выявления очертаний мельчайших деталей. Однако цветовая составляющая изображений все чаще игнорируется. Цифровые микроскопы работают в стандартных рабочих цветовых пространствах sRGB и AdobeRGB, охватывающих лишь часть видимых цветов [1]. Цифровые изображения программно «подкрашиваются» для выделения отдельных частей объекта исследования. Но иногда в изображении особую роль играют цветовые оттенки, разность по тону или насыщенности изначально однородных изображений, что является важным при научных исследованиях. Поэтому в работе предлагается метод повышения цветового разрешения цифровых микроскопов.

Специально для проведения научных исследований в микроскопии был разработан цветовой треугольник KZS с телом цветового охвата, покрывающим весь видимый диапазон (табл. 1).

Таблица 1 – Координаты цветности и коэффициенты преобразования KZS

Основные цвета	Координаты цветности в системе $xu$			Коэффициенты пересчета в систему МКО XYZ 1931 г.		
	$x$	$y$	$z$	$X$	$Y$	$Z$
K	0,7347	0,2653	0	0,969202	0,349979	0
Z	-0,2	1,2	0	-0,11172	0,670333	0
S	0,128	-0,017	0,855	0,14252	-0,02031	1

Цветовой треугольник имеет кривые сложения с минимальным второстепенным пиком по красному цвету, и включает минимальное количество нереальных цветов, по сравнению с системой МКО XYZ 1931 г. [1]. Под кривые сложения разработанной системы были подобраны цветоделительные наборы (ЦДН) на корректирующих светофильтрах (цветные оптические стекла) на основе спектральной характеристики монохромной цифровой камеры. Таким образом, спектральные кривые приемника повторяют кривые сложения цифрового треугольника, что позволит уменьшить погрешность при регистрации изображений в микроскопии: за счет объединения программного (цифрового) пространства микроскопа и технического уровня устройства. Подбор цветоделительных светофильтров и разработка ЦДН полно описаны в источниках [2, 3].

Основой ЦДМ является монохромная камера ZWO ASI120MM (mono), под спектральную характеристику которой разработан набор ЦДМ (табл. 2).

Таблица 2 – Цветовой набор для каждого цветового канала

Каналы	K	Z	S
Набор	C3C23	3C10	CC5
	OC11	C3C23	ЖС3
	OC17		C3C23 / C3C21

Цифровой микроскоп состоит из компонентов (рис. 1): осветительной системы 1, предметного столика 2, на который располагается объект исследования 3, окуляр 4, тубус 5, цифровая камера 7, цифровой дисплей/ПК/ноутбук 8. Предлагается испытать разработанную ЦДН. Поэтому были рассмотрены два варианта внедрения ЦДН в микроскоп: 1) между окуляром 4 и монохромной цифровой камерой 7, но при этом необходимо использовать черный короб от засветок 9 (рис. 1, а); 2) между источником 1 и предметным столиком 2 (рис. 1, б).

На этапе постановки эксперимента были проведены контрольные снимки. Разницы результатов измерений обнаружено не было. Поэтому для дальнейших экспериментов выбран второй вариант размещения ЦДН, как наиболее простой и удобный способ. Однако измерения необходимо будет проводить в черной фотометрической комнате, чтобы исключить световые помехи.

В качестве исследуемых образцов выбраны стандартизированные цветные оптические стекла – светофильтры (СФ). Для исследований был выбран микроскоп Микромед Эврика. При измерениях параметров светофильтров нет необходимости в высокоточном увеличении. На место окуляра размещалась цифровая камера ZWO ASI120MM (mono). Точной настройки не требовалось, т. к. необходимо было фикси-

ровать проходящее через микроскоп излучение, претерпевающее изменения за счет применения ЦДН и исследуемого светофильтра. В качестве источника излучения выбран источника типа А для более точного сравнения с эталонными значениями координат цветности светофильтров в каталоге цветного оптического стекла. Спектры пропускания исследуемых светофильтров проверены на СПЕКОЛ 210 и произведено их сравнение с ГОСТ 9411-91. Отобраны светофильтры зеленых, сине-зеленых и желто-зеленых СФ по 5 штук в каждой группе.

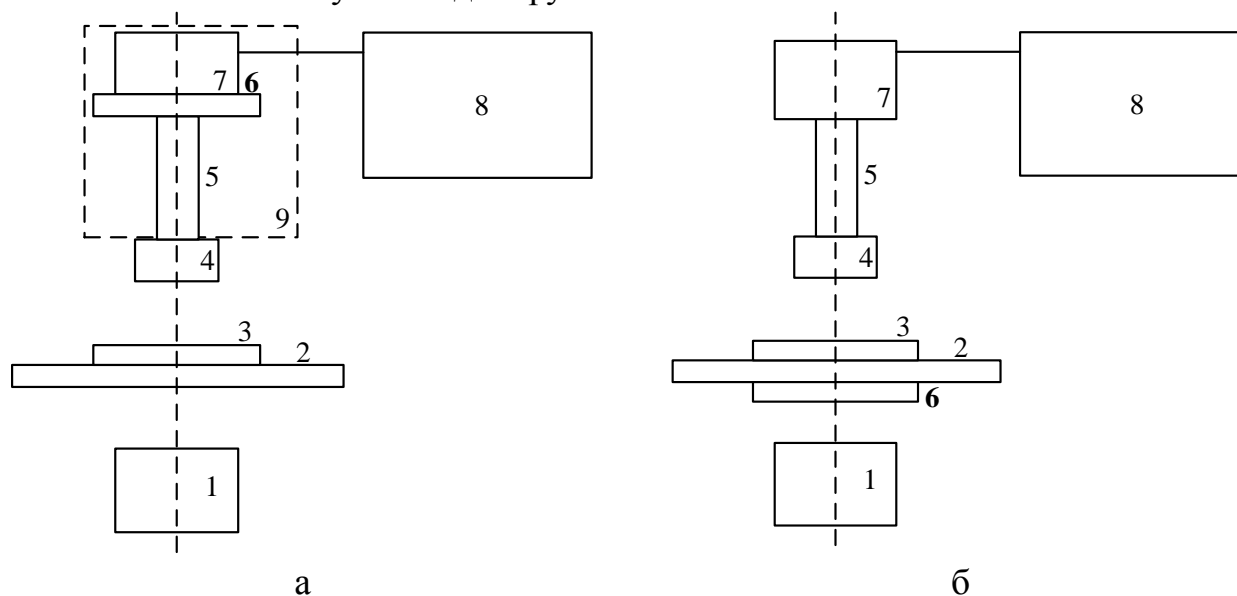


Рисунок 1 – Схема внедрения цветоделительных наборов

Измерения проводились в черной фотометрической комнате. Для каждого исследуемого образца производилось три замера по каждому цветовому каналу К, Z и S (рис. 2). Далее снимки загружались в программу, разработанную в MATLAB [4]. Программа разработана для возможной загрузки четырех кадров, что позволяет вводить дополнительную информацию. Либо можно применять только три кадр, а четвертый загружать черный экран. По результатам яркостных коэффициентов изображений производился пересчет в систему XYZ, а далее в равноконтрастную систему МКО  $u'v'$  1974 г. для сравнения теоретических параметров исследованных светофильтров и найденных значений. Исследовались только координаты цветности СФ, а не цвета. Последний включает в себя яркостную составляющую, что во многом зависит от динамического диапазона приемника излучения и яркости источника излучения. Было принято решение исключить влияние этих факторов на результаты эксперимента, исследованием только координат цветности. Примеры наблюдаемых в окуляр светофильтров представлены на рис. 3.

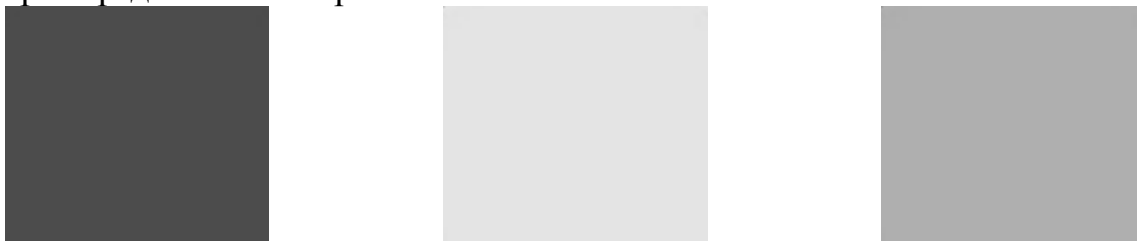


Рисунок 2 – Пример трех снимков с камеры ZWO: К, Z и S, соответственно

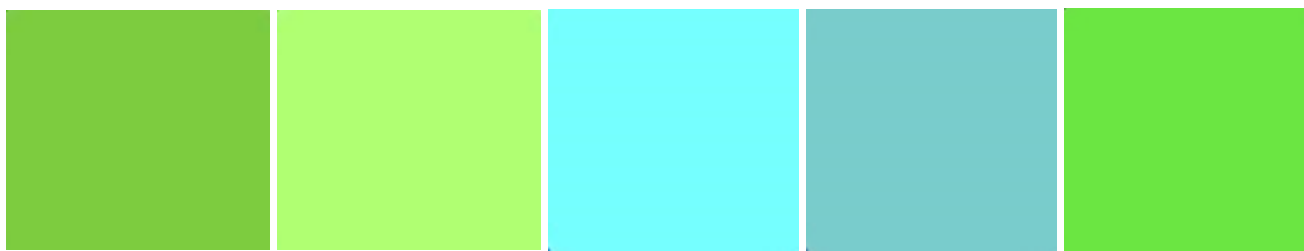


Рисунок 3 – Цвет исследуемых светофильтров в окуляр микроскопа

Наилучший результат получен для зеленых СФ – в среднем 0,013, наихудший для желтых СФ – в среднем 0,026, что может быть объяснено близким расположением координат цветов этих СФ к цветовому локусу (границе воспринимаемых цветов). В среднем для 15 исследованных СФ изменение цветности составило 0,021, что является хорошим результатом для подобной системы. Следует понимать, что цифровые системы работают в диапазоне 400-730 нм, а не 380-770 нм, как зрительная система человека. Поэтому расхождения неизбежны – можно лишь стремиться минимизировать их. В дальнейшем будет проведено сравнение разработанной системы цветоделения с системой цифрового микроскопа для более полного анализа полученных результатов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации в 2022-2024 годах для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики СП-748.2022.4.

#### Литература

1. Zhbanova V.L. Evaluation and selection of colour spaces for digital systems // Light & Engineering. 2020. Т. 28. № 6. pp. 86-94. DOI:10.33383/2020-024.
2. Жбанова В.Л. Подбор спектральных кривых цветовых каналов системы машинного зрения // Математические методы в технологиях и технике. 2022. № 8. С. 52-55. DOI 10.52348/2712-8873\_ММТГ\_2022\_8\_52.
3. Жбанова В.Л. Разработка систем цветоделения матричных фотоприемников для научных исследований // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 8. (принята к публикации).
4. Жбанова В.Л., Жбанов И.Л. Программа для обработки цифрового изображения четырехкадровой камеры. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022615119, 29.03.2022. Заявка № 2022614238 от 22.03.2022.

*М.В. Жендарёв, к. т. н., доцент И.А. Прокопенков, Д.А. Криштопов к. т. н.  
(ВА ВПВО ВС РФ, г. Смоленск)*

## ПОДХОДЫ К ИНТЕГРАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Процесс принятия решений в сложных организационно-технических системах, как правило протекает в сложных условиях обстановки, что в свою очередь оказывает влияние на лиц принимающих решения (ЛПР). Эффективность решений, принятых в таких условиях зачастую имеет случайный характер так как зависит от психофизиологических возможностей ЛПР. Все это обуславливают необходимость значительного усиления интеллектуальных возможностей ЛПР, вследствие чего возникает необходимость в автоматизации

этого процесса [1]. Одним из направлений решения данной проблемы является разработка и применение систем поддержки принятия решений (СППР).

СППР как правило представляет собой программно-аппаратный комплекс позволяющий осуществлять интерактивное применение моделей и данных в процессе принятия решений [2]. Современные СППР автоматизируют функции сбора информации, решения информационно-расчетных задач, выбора решения (решений) из множества альтернатив, оценки и моделирования вариантов решений.

Базы знаний, существующих СППР, построенные как правило на основе аналитических и продукционных зависимостей, позволяют повысить качество и оперативность принимаемых решений, но только относительно для простых организационно-технических систем, где информационный процесс представлен содержанием ограниченного количества формализованных документов.

Таким образом необходимо применять современные подходы инженерии знаний и искусственного интеллекта в СППР [3].

Анализ современных подходов инженерии знаний позволил определить, что онтологическое представление знаний предметной области обеспечивают формализацию сложных знаний и выявление семантики предметной области [4].

Онтологический подход дает целостный, системный обзор предметной области и позволяет сделать знания доступными и повторно используемыми. Данный подход обеспечивает новый уровень в решении задач поиска и интеграции информации (объединение информации из различных источников).

Онтология представляет собой формальное, явное описание понятий предметной области и отношений между ними, а также правила для составления новых понятий и отношений (рисунок 1). Учитывая, что онтология предназначена для «машинного» чтения, типы понятий и ограничений, определенных в онтологии, явно определены [5].

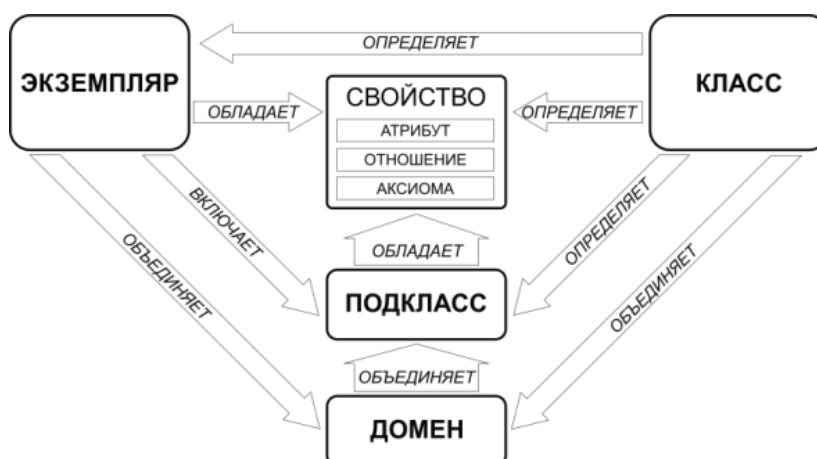


Рисунок 1. – Онтологическое представление предметной области

Однако представление знаний в виде онтологии не позволяет осуществлять формирование выводов.

Для разрешения данного противоречия, предлагается осуществить формализацию типовых ситуаций в виде прецедентов. Прецедент представляет собой совокупность исходных данных необходимых для решения информационно-расчетных задач и выходных данных представляющих собой результаты их решения:

$$CASE = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, Rez), \quad (1)$$

где  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  – значения параметров прецедента, идентифицирующих исходные данные для решения информационно-расчетной задачи;  $Rez$  – результаты решения информационно-расчетной задачи, определенное в прецеденте.

Применение прецедентного подхода для решения информационно-расчетных задач оправдано в случае выполнения следующих условий, касающихся природы прикладной области:

1. Решаемые задачи должны иметь схожие решения (принцип регулярности). В этом случае полученный опыт решения задач может являться началом процесса поиска решения для новых подобных задач.

2. Задачи решаемые в процессе принятия решения, должны иметь тенденцию к повторению. Это позволяет значительно уменьшить базу прецедентов и область признакового пространства [6].

Процесс вывода по прецедентам может быть представлен в виде цикла. В работе [7] представлено описание процесса вывода по прецедентам, который состоит из следующих этапов: создание прецедента новой задачи (прецедента запроса); поиск релевантных прецедентов; повторное применение решений релевантных прецедентов и их адаптация к новой задаче; проверка полученного решения на адекватность и сохранение его в базе прецедентов.

Достоинствами прецедентного вывода является применение опыта ранее принятых решений напрямую связанных с практикой без необходимости применения углубленных подходов баз знаний; возможность использования различных шкал позволяющих оценивать принятые решения в различных условиях, повышающих эффективность решения задач [8].

База прецедентов может быть адаптирована для обучения искусственной нейронной сети или нейро-нечеткого классификатора, что позволит не только учитывать опыт ранее принятых решений, но и обучать модели формирования выводов на нем.

Следовательно, СППР с учетом интеграции подходов инженерии знаний и искусственного интеллекта будут иметь возможность совершенствования заложенных знаний, зависимостей и отношений за счет учета изменений системных и внешних факторов. Методики закладываемые в СППР должны учитывать задачу по извлечению новых знаний и учету опыта ранее принятых решений.

Предложенное сочетание подходов и технологий инженерии знаний и искусственного интеллекта позволяет повысить качество и оперативность



принятия решений для сложных организационно-технических систем в условиях изменяющейся обстановки.

#### Список использованной литературы

1. Балашов О.В., Кондратова Н.В., Ошеров А.Я. Советующие системы для принятия решений при управлении организационно-техническими системами. Монография. – Смоленск: Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ «Российский университет кооперации», 2012. – 252 с.
2. Отчет о НИР Исследование и разработка нейро-нечетких моделей в сложных организационно-технических системах. – М: МЭИ (ТУ) 2007. – 116 с.
3. Гаврилов А.Д., Лабунский А.Д. Искусственный интеллект для ПВО. / Журнал «Арсенал отечества» №3, (35) 2018г. С. 60-65.
4. Прокопенков И.А. Автоматизированный учет опыта принимаемых решений на основе сочетания композиционного онтологического и прецедентного подходов / И.А. Прокопенков, В.В. Борисов // Сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «АСУ, информационно-телекоммуникационные системы» – Военный инновационный технополис «ЭРА», 2021. – С. 139–146.
5. Муромцев, Д. И. Онтологический инжиниринг знаний в системе Protégé / Д.И. Муромцев. – Санкт-Петербург: ИТМО, 2007. – 62 с.
6. Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г. Методики построения нечетких онтологий сложных предметных областей // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2015) : материалы V Междунар. научн.техн. конф. (Минск, 19-21 февраля 2015 г.) / редкол.: В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУИР.– 2015. – С. 401-406.
7. Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г. Логический вывод на основе нечетких онтологий // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VIII-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. – Т1. М. : Физматлит, 2015. – С. 259–267.
8. David B. Leake (Ed.), Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons, and Future Directions. Menlo Park , CA : AAAI Press/MIT Press, 1996.

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

### **АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МНОЖИТЕЛЬНО-ДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА**

Для реализации системы автоматического регулирования необходимо обеспечить наличие объекта управления, на который будет воздействовать управляющий сигнал, и регулятора, которой будет задавать это воздействие [1].

В качестве регулятора выступает микроконтроллер Atmega16. Система разрабатывается для имитатора усредненного поведения стабилизатора напряжения. Структурная схема системы автоматического регулирования на основе множительно-делительного устройства представлена ниже (рис.1).



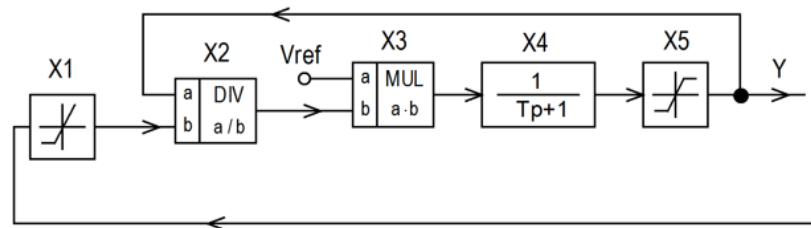


Рисунок 1 – Структурная схема системы автоматического регулирования на основе множително-делительного устройства

Можно выделить три этапа, необходимых для программной реализации множително-делительного звена [2].

На первом этапе обеспечивается первоначальный запуск системы, для этого применяются ограничители X1 и X5. С выхода ограничителей сигнал поступает на блок X2, который представляет собой делительное звено. Необходимым требованием, предъявляемым к частному переменных  $a$  и  $b$  делительного звена, является отличие их значения от нуля. Блок X3 представляет собой множителное звено, на один из входов которого поступает сигнал опорного напряжения, заданного программно, а на другой вход подается сигнал с предыдущего блока. Инерционное звено, заданное в виде блока X4, отвечает за время регулирования и реализуется в виде цифрового рекурсивного фильтра первого порядка. Алгоритм его работы отображен в формуле (1):

$$y_i = d_0 x_i + d_1 x_{i-1} + c_1 y_{i-1}, \quad (1)$$

где  $d_0, d_1, c_1$  — коэффициенты фильтра;

$x_i, y_i$  — текущие входные и выходные отсчеты;

$x_{i-1}, y_{i-1}$  — предшествующие входные и выходные отсчеты.

Программная реализация системы автоматического регулирования на основе множително-делительного звена осуществляется согласно блок-схеме, представленной на рисунке 2.

После выполнения первого этапа, сигнал по обратной связи поступает на вход  $a$  делительного звена. Поскольку выполнение первого этапа обусловлено исключительно необходимостью запустить работу системы и предотвратить деление на ноль, сигнал с выхода поступает не на нагрузку, а обратно на вход  $b$  делительного звена. Таким образом, на выходе этого блока, значение частного равно единице, что свидетельствует о равенстве входного и выходного напряжения.

Как результат, после прохождения блока множителного звена на вход впервые приходит стабилизированное напряжение.

Как видно из формулы (1), для реализации инерционного звена, необходимо знать не только текущие значения входных и выходных отсчетов, но и предшествующие. После прохождения второго этапа, были получены предшествующие значения, которые в дальнейшем будут использоваться при реализации цифрового фильтра.

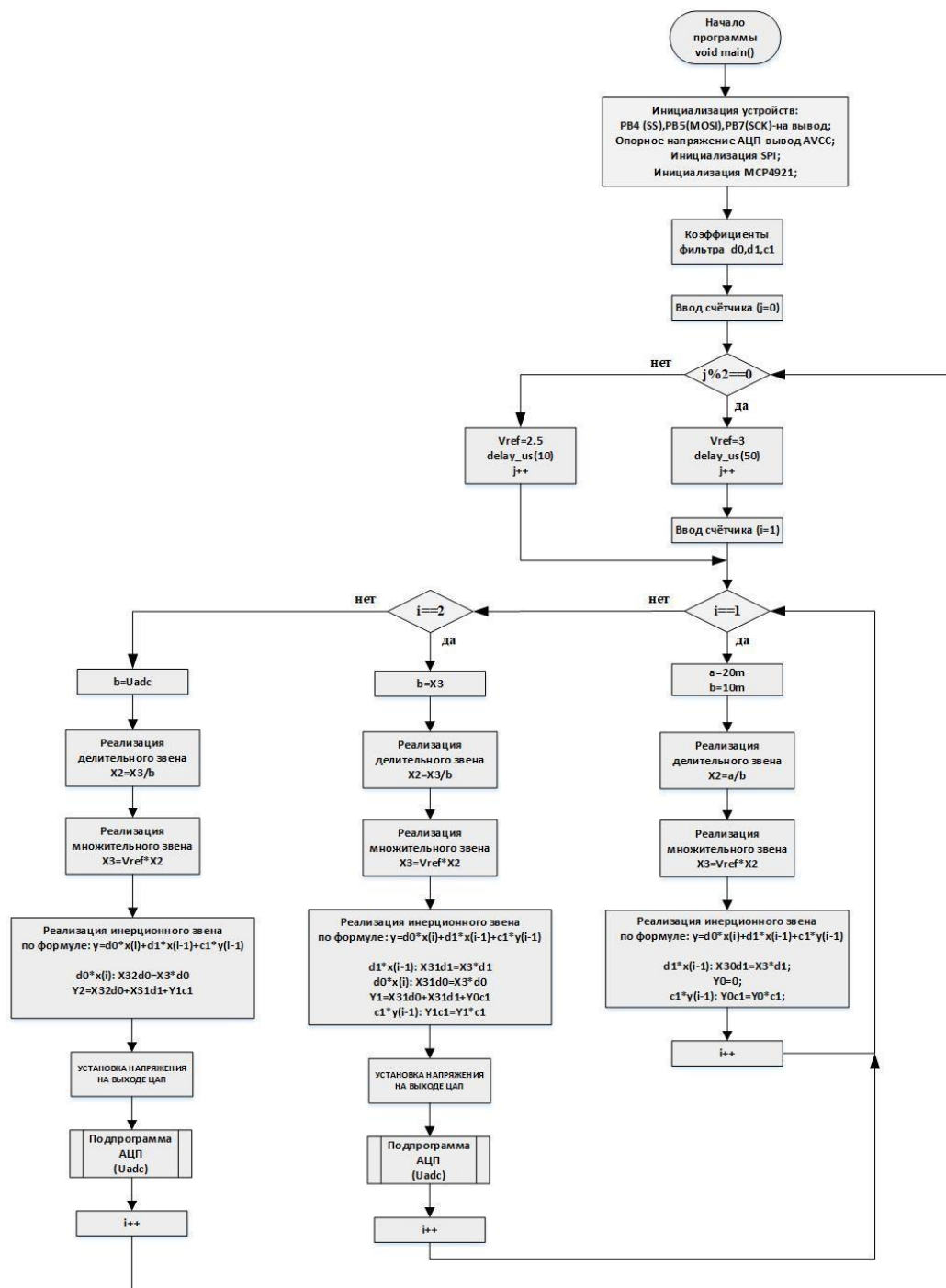


Рисунок 2 – Блок-схема  
алгоритма

Третий этап является основным и служит для нахождения текущего значения входных и выходных отсчетов. Отличие от предыдущего этапа заключается в том, что сигнал на вход  $b$  блока делительного звена поступает уже непосредственно с нагрузки. Все последующие операции аналогичны.

Необходимо учитывать, что в реальных условиях имеют место скачки напряжения, поэтому необходимо предусмотреть в алгоритме случай, когда входное напряжение меняется в заданном диапазоне. Реализация переменного

напряжения осуществляется посредством введения счетчика  $j$ , который в зависимости от четности или нечетности своего значения, влияет на значение опорного напряжения  $V_{ref}$ .

Как результат, описанный выше алгоритм, а также его блок-схема, может использоваться для реализации системы автоматического регулирования на основе множително-делительного устройства для имитатора усредненного поведения стабилизатора напряжения. Преимущество представленного выше алгоритма заключается в том, что он не требует для своей реализации специализированных DSP процессоров, а для установки времени регулирования используется инерционное звено первого порядка, с самым простым способом коррекции.

#### Литература

1. Кульков А. А. Особенности автоматических систем с логометрическим принципом управления. Современные проблемы энергетики и электротехники: Сб. научных трудов. – Смоленск: Смоленский филиал Моск. энерг. ин-та. 1991. С. 100 – 103.
2. Амелина М.А., Амелин С.А. Построение непрерывных моделей импульсных преобразователей постоянного напряжения // Практическая силовая электроника. 2019. №3 (75). С. 20–28.

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

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МНОЖИТЕЛЬНО-ДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА**

Одним из наиболее важных показателей системы автоматического управления является её быстродействие. В зависимости от того, какое время регулирования установилось в системе, можно судить об её устойчивости и, следовательно, качестве. Систему автоматического регулирования (САР) можно считать качественной, если ее переходной процесс имеет затухающий характер, а время регулирования не превышает ожидаемого значения [1].

Особый интерес представляет система на основе множително-делительного устройства. Также такую систему можно назвать логометрической (рис.1).

Главными составляющими каждой системы автоматического регулирования является объект управления, на которой воздействует управляющий сигнал, и регулятор, который формирует тот самый сигнал управления.

Регулятор представлен в виде микроконтроллера и состоит из множества блоков. Каждый из них выполняет важную роль в работе системы. Ограничители  $X1$  и  $X5$  служат для первоначального запуска системы, их роль – предотвратить деление на ноль, в противном случае устройство станет нечувствительным к входным сигналам. В качестве звена сравнения выступает множително-делительное звено, состоящее из блоков  $X2$  и  $X3$ . Инерционное звено отвечает за установку времени регулирования и перерегулирования.

Задается оно в виде цифрового рекурсивного фильтра первого порядка [2]. Данный вариант является одним из самых простых способов коррекции, поэтому именно с него принято решение начать исследование характеристик устройства.

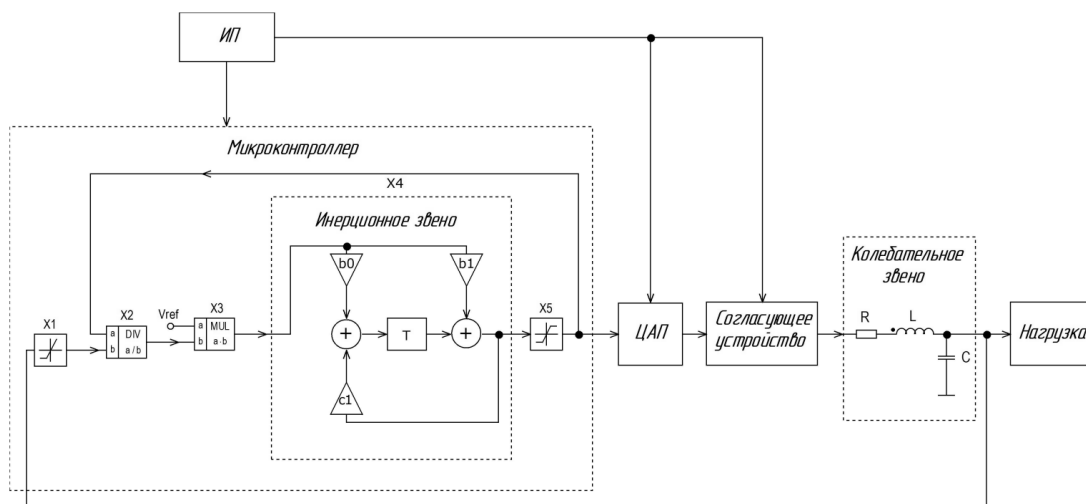


Рисунок 1 – Функциональная схема логометрического регулятора

На выходе микроконтроллера стоит блок цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), который используется для преобразования цифровой информации в аналоговый вид, необходимый для дальнейшей работы устройства.

Согласующее устройство, подключенное между ЦАП и колебательным звеном, необходимо для предотвращения искажения выходного сигнала. Реализация осуществляется по схеме усилителя с мощным выходным каскадом (рис.2).

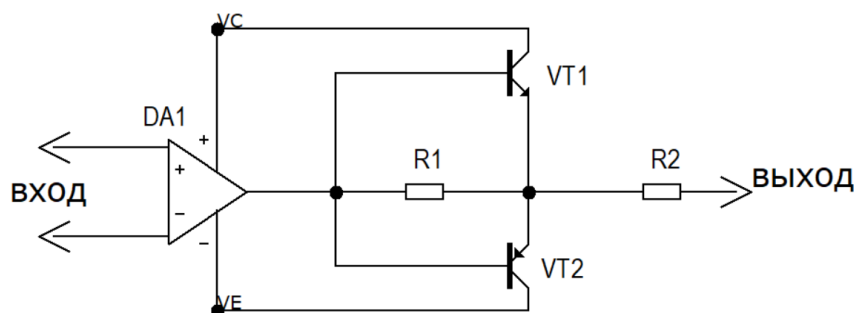


Рисунок 2 — Схема усилителя с мощным выходным каскадом

В качестве объекта управления в данной системе выступает колебательное звено с коэффициентом демпфирования  $\xi=0,7$ . Рассчитывается коэффициент демпфирования по следующей формуле:

$$\xi = \frac{R}{2\sqrt{\frac{L}{C}}}, \quad (1)$$

где  $R$  — сопротивление;

$L$  — индуктивность;

$C$  — емкость.

В результате была получена следующая принципиальная схема:

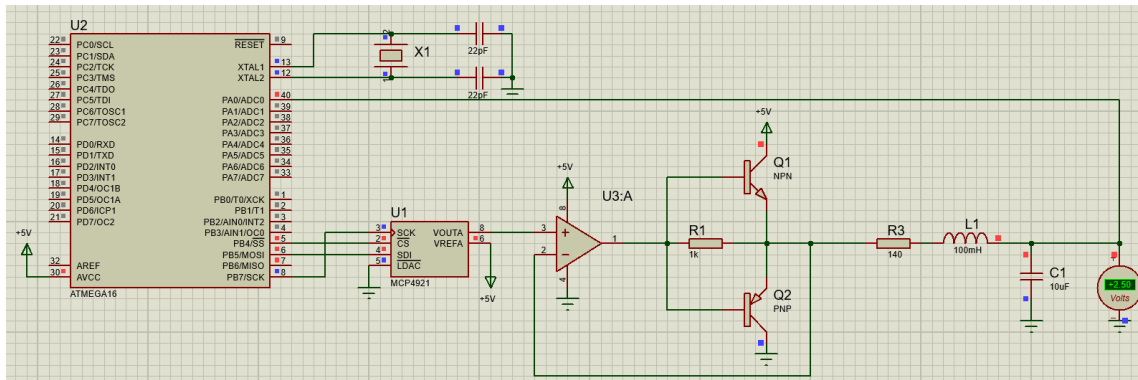


Рисунок 3 — Моделирование САР при  $V_{ref}=2,5\text{ B}$

Исследование характеристик было проведено в нескольких режимах: при стабильном значении опорного напряжения (рис.4) и переменном (рис.5).

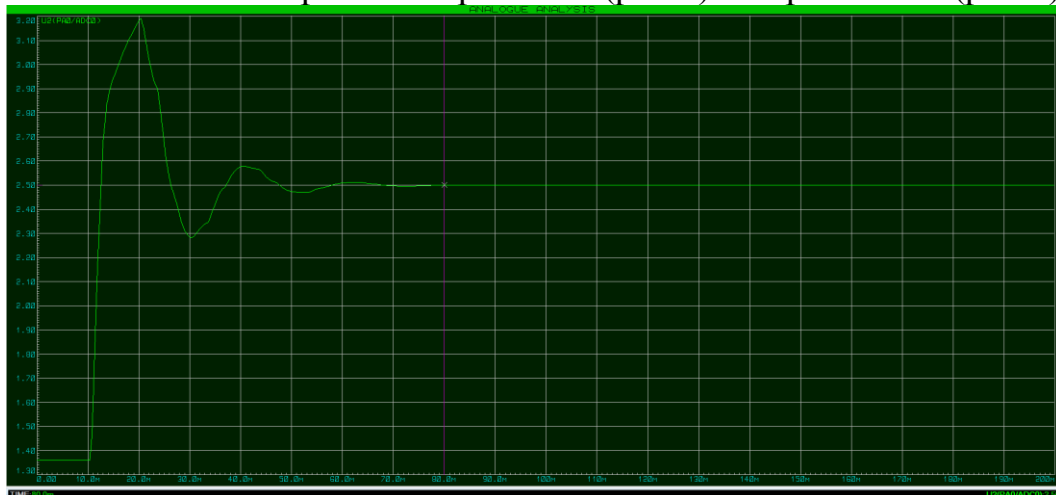


Рисунок 4 — Время регулирования САР при стабильном  $V_{ref}=2,5\text{ B}$

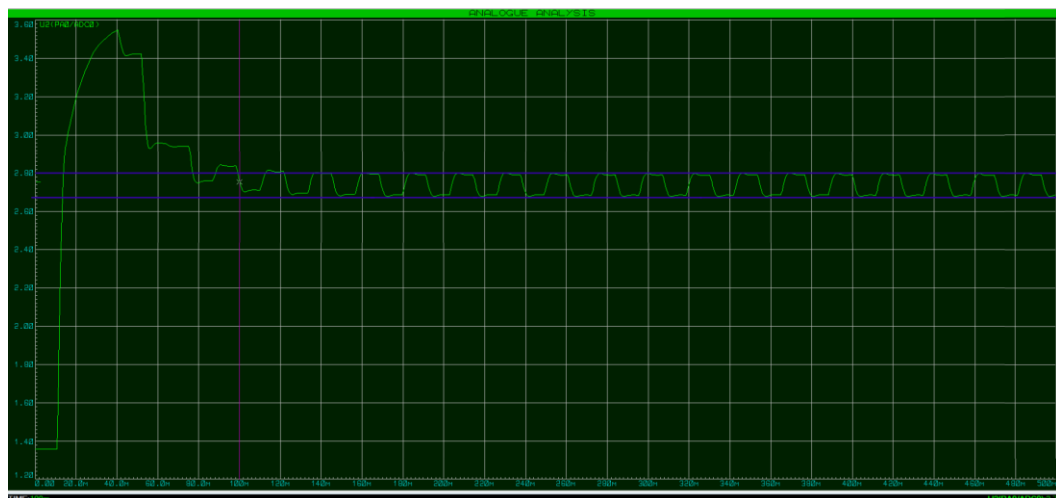


Рисунок 5 — Время регулирования САР при переменном  $V_{ref}$

Как видно из результатов моделирования, система автоматического регулирования на основе множительно-делительного устройства работает

устойчиво. Переходной процесс носит затухающий характер, а время регулирования при постоянном значении напряжения составляет порядка 80 мс.

В ходе работы было программно реализовано изменение значения опорного напряжения, которое регулируется в диапазоне от 2,5 В до 3 В. При этом время регулирования для такой системы составляет 100 мс. Система стабилизирует напряжения, однако на выходе наблюдается искажение сигнала на 0,2 В. Так, при заданном значении опорного напряжения 3 В на выходе 2,8 В, а при заданном значении опорного напряжения 2,5 В на выходе 2,7 В.

#### Литература

1. Кульков А. А. Особенности автоматических систем с логометрическим принципом управления. Современные проблемы энергетики и электротехники: Сб. научных трудов. – Смоленск: Смоленский филиал Моск. энерг. ин-та. 1991. С. 100 – 103.
2. Амелина М.А., Амелин С.А. Построение непрерывных моделей импульсных преобразователей постоянного напряжения // Практическая силовая электроника. 2019. №3 (75). С. 20–28.

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

### **ЗАВИСИМОСТЬ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ОТ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ КОРРЕКЦИИ**

Трудно представить современный мир без систем автоматического управления. Автоматизация позволяет без прямого участия оператора выполнять необходимые функции, которые реализуются по заданному ранее алгоритму. Одним из вариантов реализации системы автоматического управления (САУ) является множително-делительное устройство (МДУ). Подобная система обладает такими преимуществами как быстродействие, более устойчива к изменениям коэффициента усиления. Для получения устойчивой системы, обладающей улучшенными переходными процессами, используются корректирующие устройства [1]. В зависимости от способа коррекции меняется время переходных процессов. В данной статье рассмотрены зависимости длительности переходных процессов от применяемого способа коррекции, а также приведены соответствующие графики, показывающие зависимость времени перерегулирования и времени стабилизации от коэффициента передачи объекта управления.

Коррекцию можно осуществлять следующими способами:

1. Коррекция аналоговым инерционным звеном (рис.1).

По определению инерционным звеном называется звено, в котором при подаче на вход ступенчатого сигнала выходная величина апериодически (по экспоненте) стремится к новому установившемуся значению. Передаточная функция такой характеристики имеет следующий вид:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{K}{T_p p + 1}, \quad (1)$$

где  $Y(p)$  — выходной сигнал;  
 $X(p)$  — входной сигнал;  
 $K$  — коэффициент передачи звена;  
 $T_p$  — постоянная времени, характеризующая инерционность звена.

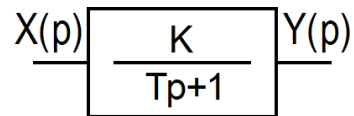


Рисунок 1 – Условное изображение инерционного звена

Примером инерционного звена является RC-цепь.

По результатам моделирования, приведенным на рисунке 2, можно сделать вывод о том, что система стабилизирует напряжение и выходит на заданный режим, соответствующий 2,5 В. Также видно, что при коэффициенте передачи  $K=1$  перерегулирование отсутствует, в то время как при  $K>1$  наблюдается значительные забросы напряжения.

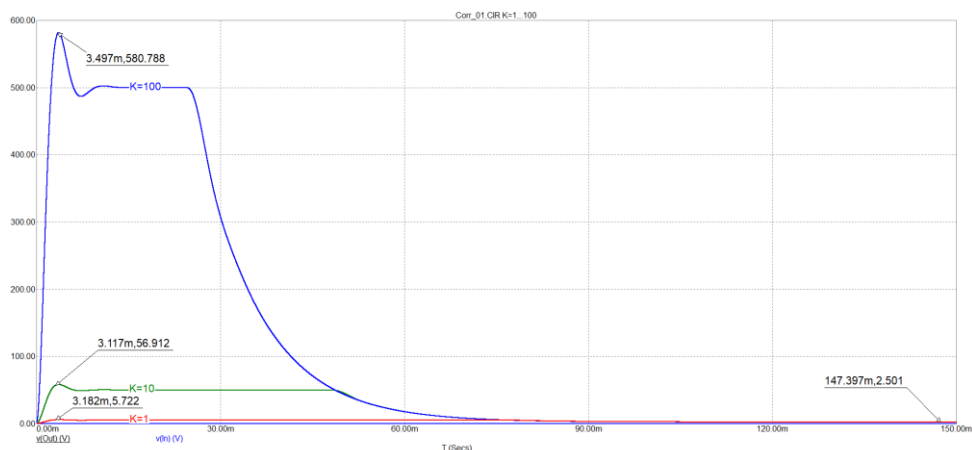


Рисунок 2 – Результаты моделирования при коррекции аналоговым инерционным звеном

## 2. Коррекция цифровым фильтром, заданным зависимым источником.

Зависимый источник Z-transform (Z-преобразование) является аналогом инерционного звена. Его роль заключается в преобразовании дискретного сигнала, представляющего собой последовательность действительных или комплексных чисел, в комплексное представление в частотной области (z-область или z-плоскость). Примером такого источника является управляемый напряжением источник напряжения ZVofV, задаваемый формулой передаточной функции в Z-области.

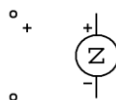


Рисунок 3 – Условное изображение зависимого источника ZVofV

По результатам моделирования, приведенным на рисунке 4, видно, что время перерегулирования значительно сократилось, однако время на стабилизацию увеличилось.

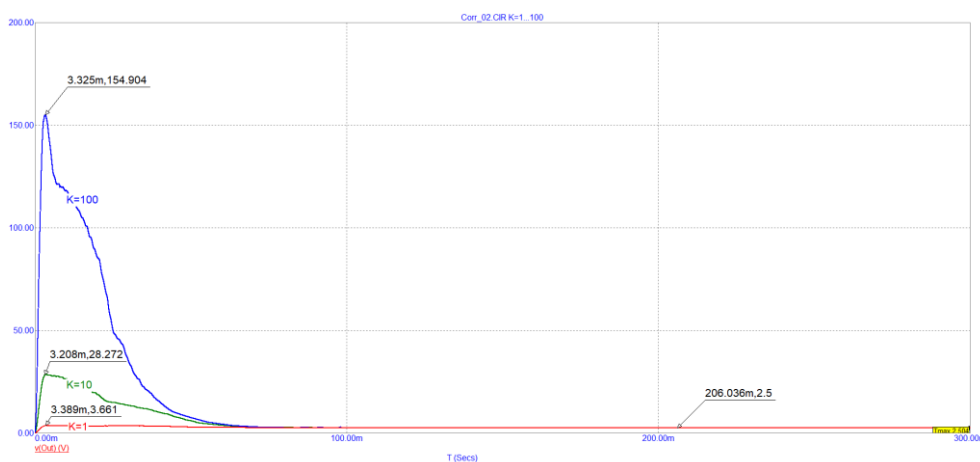


Рисунок 4 – Результаты моделирования при коррекции цифровым фильтром, заданным зависимым источником.

### 3. Коррекция цифровым рекурсивным фильтром.

В данном случае инерционное звено представлено в виде цифрового рекурсивного фильтра, который, в свою очередь, задан в виде блоков задержки, сумматора и масштабирующего усилителя (рис.5).

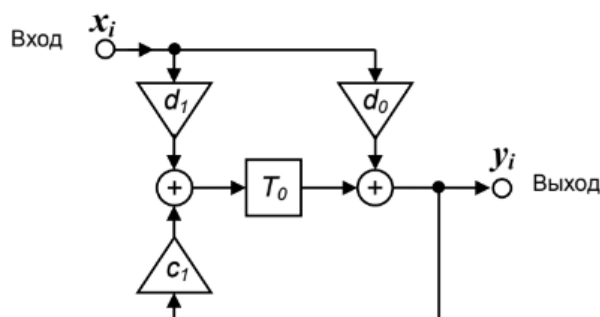


Рисунок 5 – Цифровой рекурсивный фильтр первого порядка

Реализация представленного способа осуществляется с помощью процессора, выполняющего программу обработки данных и АЦП, встроенного в него и берущего отсчеты сигнала.

Результаты моделирования, представленные на рисунке 6, свидетельствуют о том, что система стабилизирует напряжение, однако при этом наблюдается значительное искажение сигнала.



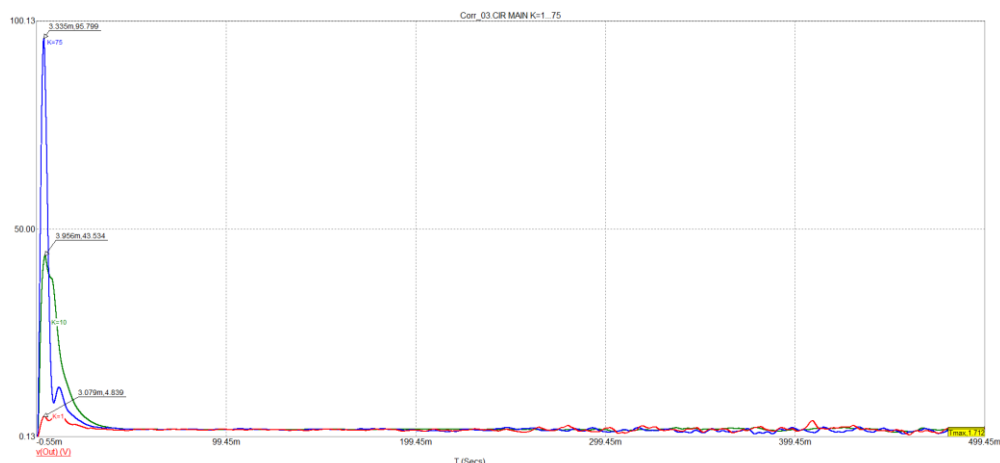


Рисунок 6 – Результаты моделирования при коррекции цифровым рекурсивным фильтром

В результате проделанной работы, можно сделать следующие выводы:

- лучше всего стабилизирует напряжение система с коррекцией аналоговым инерционным звеном;
- самые плохие результаты соответствуют системе автоматического управления с коррекцией цифровым рекурсивным фильтром.

#### Литература

3. Кульков А. А. Особенности автоматических систем с логометрическим принципом управления. Современные проблемы энергетики и электротехники: Сб. научных трудов. – Смоленск: Смоленский фил л Моск. энерг. ин-та. 1991. С. 100 – 103.
4. Амелина М.А., Амелин С.А. Построение непрерывных моделей импульсных преобразователей постоянного напряжения // Практическая силовая электроника. 2019. №3 (75). С. 20–28.

*В.Е. Иванов, к. т. н., доц.; Т.В. Широких к. т. н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **АДАПТАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ ФИЗИКА К ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ**

Деятельность образовательной организации регламентирована федеральными законами, приказами и положениями [1]. При этом система образования должна обладать достаточной гибкостью, чтобы не возникало взаимных противоречий при взаимодействии её элементов с элементами других систем и потребностей общества. Такой подход имеет очевидное обоснование. Практическая деятельность человека столь многогранна, что подготовить универсального специалиста, готового работать в любой сфере деятельности, невозможно, а, с другой стороны, невозможно разработать образовательные программы под все конкретные сферы деятельности и потребности конкретных регионов. Поэтому образовательным организациям предоставляются достаточно широкие полномочия в создании конкретных образовательных программ и методов их реализации.

К разработке образовательной программы Научно-методический совет ВУЗа привлекает наиболее компетентных сотрудников образовательной

организации. Не вызывает сомнения и практика привлечения к данной работе представителей и работодателей региона как потребителей. При разработке программы Минобрнауки рекомендует в первую очередь руководствоваться требованиями ФГОС к результатам освоения образовательной программы, которая предписывает овладение определёнными компетенциями, знаниями навыками и умениями. Научно-методический совет решает вопрос о необходимых дисциплинах и их трудоёмкости для обеспечения достижения целей образовательного процесса. Соответствующие кафедры в рамках отведенных на изучение дисциплины общего количества часов (трудоёмкости дисциплины) определяют содержание рабочей программы и распределение часов по конкретным формам работы.

При разработке рабочих программ Минобрнауки рекомендует руководствоваться прежде всего ФГОСами, а при их отсутствии - примерными программами дисциплин. Для физики это Примерная программа дисциплины Физика для ФГОС 3-го поколения [2] ориентированная на овладение обучаемыми соответствующими компетенциями. Для обсуждаемого направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (уровень бакалавриата) в филиале ФГБОУ ВО «НИУ **МЭИ**» в г. Смоленске [3] это следующие компетенции:

- ОПК-3 (способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа, моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач);
- ОПК-6 (способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности).

Обратимся на примере образовательной программы федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (уровень бакалавриата) к проблемам и вопросам, возникающим и решаемым при разработке рабочей программы дисциплины Физика.

Программа [2] имеет многоуровневую структуру, предусматривающую последовательное расширение и углубление изучения материала при переходе на более высокий уровень. Всё содержание дисциплины Физика структурируется по семи дидактическим модулям:

1. Механика.
2. Термодинамика и молекулярная физика (в том числе элементы статистической физики).
3. Электричество и магнетизм.
4. Колебания и волны, оптика.
5. Квантовая физика (включая физику атома и элементы физики твердого тела).
6. Ядерная физика.
7. Физическая картина мира.

В соответствии с выделенным в рамках образовательной программы на дисциплину Физика количества зачетных единиц (з.е.) предлагаются три уровня

освоения дисциплины. При этом цели, задачи и компетенции, сформулированные в Примерной программе, и необходимость их достижения не зависят от уровня программы. Из этого следует, что для достижения поставленных целей достаточно минимального уровня (МУ), подразумевающего трудоёмкость в объёме 8-10 з.е., а базовый (БУ) (11-14 з.е.) и расширенный (РУ) (15-20 з.е.) уровни реализуются за счёт расширения и углубления содержания МУ.

На дисциплину Физика для направления 13.03.02 отводится 13 з.е. или 468 академических часов (а.ч.), что соответствует БУ. На конкретные формы работы приходится [4]:

- 152 а.ч. на контактные формы (лекционная часть 54 а.ч.; лабораторные работы 48 а.ч.; практические занятия 50 а.ч.);
- 235 а.ч. на самостоятельную работу студента (подготовка к лекциям, практическим занятиям, лабораторным работам, выполнение расчётно-графических работ);
- 81 а.ч. на контроль (подготовка к экзаменам и зачётам).

Отметим, что для многих других направлений подготовки бакалавров программа по физике составляет 8 з.е. что соответствует МУ, а и расширенный уровень вообще не предусмотрен.

На первый взгляд цифра 468 а.ч. достаточно значительная, но на контактные формы приходится всего около трети отводимого на изучение дисциплины времени. Лекционный курс составляет всего 1,5 з.е. и может показаться, что самостоятельная работа и контроль занимают слишком большой объём рабочей программы. Однако, если принять в качестве усреднённой оценки трудоёмкость самостоятельной работы 1 час на 1 час контактной, то 235 а.ч. представляется вполне соответствующей реальной величине. Некоторые вопросы программы также выносятся на самостоятельное изучение.

Дидактические модули Примерной программы дисциплины Физика для ФГОС 3-го поколения разбиты на тридцать семь дидактических единиц.

Даже на МУ трудоёмкость каждой дидактической единицы составляет не менее 2 а.ч. Таким образом, общая трудоёмкость лекционного курса ( $2 \text{ а.ч.} \times 37 \text{ единиц} = 74 \text{ а.ч.}$ ) более чем в полтора раза превышает количество лекционных часов, выделяемых в рамках базового уровня на углубление подготовки в области физики. Аналогичная ситуация и с другими формами обучения. Поэтому считается важным вопрос экономии учебного времени в процессе аудиторных занятий. Однако экономия приводит либо к уплотнению учебного материала и увеличению нагрузки на самостоятельную работу студентов, либо к упрощению изложения и поверхностному пониманию. Приведенный пример показывает, что в существующей методической концепции превышение реальных трудозатрат на достижение целей над выделенным на изучение физики количеством зачётных единиц неизбежно.

Другие простые решения – увеличение часов или перераспределение часов между формами работы – лежат на поверхности, но каждое из них практически нереализуемо по объективным причинам: изменение образовательной про-

граммы приведёт к пересмотру рабочих программ других дисциплин; перераспределение времени между формами занятий внутри самой дисциплины невозможно по тем же причинам, что и в лекционном курсе; простое ограничение освоения части дидактических единиц до перечисления определений физических величин и формулировки каких-то соотношений приведёт к дублированию школьного курса физики и выхолащиванию содержательной части вузовского курса физики, и т.д.

Одним из решений поставленных проблем может стать признание того, что в результате школьного обучения цель – формирование естественнонаучной картины мира – достигнута и в рамках МУ и БУ необходимость её расширения отсутствует. В этом случае в соответствии с содержанием ОПК-3 следует сделать упор на дальнейшее развития физико-математического аппарата и его применение. Делать это целесообразно на примерах анализа прикладных технических задач с адаптированным физическим содержанием. В качестве формальной иллюстрации идеи этого подхода приведём использование модели линии электропередачи (техническая задача) при освоении дидактических единиц ёмкость, индуктивность, вынужденные колебания (физическое содержание). Очевидно, при разработке и реализации рабочей программы дисциплины Физика можно предложить и использовать другие подходы. Комплексная реализация новых подходов приведёт, вероятно, к альтернативным программам по физике, адаптированным к конкретным ФГОСам образовательных программ. Заметим, определённая адаптация, хотя и несколько иного свойства, существовала в программах до принятия болонского соглашения, но механический возврат к ним невозможен. В современных условиях необходимы современные подходы.

#### Литература

1. Приказ Министерства образования и науки РФ от 5 апреля 2017 г. N 301 «Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности...»
2. Примерные программы дисциплины «Физика» Федерального компонента цикла математических и естественнонаучных дисциплин для ФГОС3-го поколения. [Электронный ресурс]. URL: [https://fgos.oop/progr/ppd\\_fizika.pdf/](https://fgos.oop/progr/ppd_fizika.pdf/) (дата обращения: 06.09.2022).
3. Рабочая программа дисциплины физика. Направление подготовки (специальность): 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». [Электронный ресурс]. URL: [https://eleden.sbmpei.ru/storage/disciplines/work\\_programs/EMkkt\\_190820210840\\_13.03.02\\_ЭЭ\\_РЭМС\\_Б1.О.05\\_Физика\\_о\\_2018.pdf\(sbmpei.ru\)/](https://eleden.sbmpei.ru/storage/disciplines/work_programs/EMkkt_190820210840_13.03.02_ЭЭ_РЭМС_Б1.О.05_Физика_о_2018.pdf(sbmpei.ru)/) (дата обращения: 06.09.2022).

*А.С. Иванова, студ.; М.С. Ковалева, студ.; А.Т. Романова, студ.; С.А. Образцов к.т.н. доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, ФГБОУ ВО  
«Смоленский государственный университет»)*

### **РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРОГРАММИРУЕМОГО РЕЛЕ И ЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

В системах контроля и управления, таких как: система управление освещением, перемещения грузов, контроля уровня топлива, положения поверхности, системы кондиционирования и других, для уменьшения объема конструкторских работ при разработке и проектировании используют программируемые коммутируемые устройства: программируемые логические

контроллеры и программируемые реле. Применение таких устройств позволяет значительно упростить схемы управления оборудованием и дальнейшую отладку устройств

Программируемые контроллеры и реле относятся к дискретным автоматизированным устройствам. Это означает что все информационные сигналы, подаваемые на контроллер или реле, будут дискретными по уровню и по времени. Уровень логической единицы (максимальное значение) на дискретных входах определяется уровнем напряжения питания модуля: 12 В, 24 В постоянного или 24 В, 110-220 В переменного тока.

Для управления и контроля внешних приборов в реле интегрируют интерфейсы связи, такие как *RS-485* и *Industrial Ethernet*. Для коммутации внешних электрических цепей с дискретными сигналами используются блоки дискретных входов и выходов с номинальными напряжением +24В. Сигналы с аналоговых цепей коммутируют блоки аналоговых входов и выходов по 4...20 мА/0-10В. Для обеспечения питания устройства используется внешнее напряжение +24 В с током до 5 А, которое преобразуется до необходимых уровней в блоке «Питание».

Исходя из сказанного выше, функциональная схема будет иметь вид (рис.1):

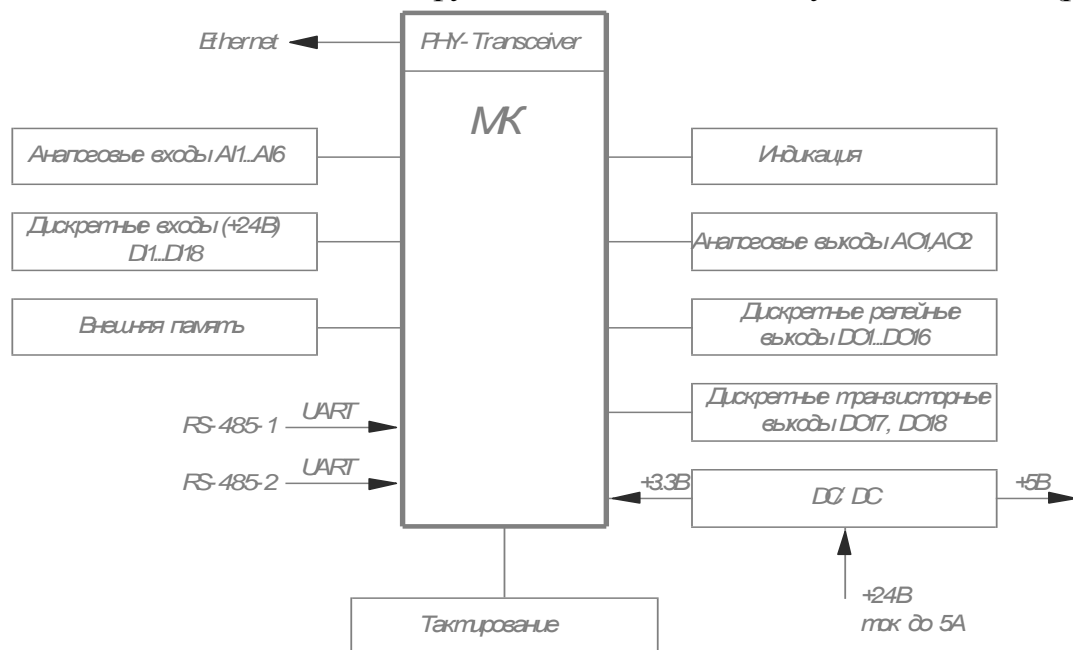


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства

Для визуализации работы входов и выходов используется блок индикации.

Питание контроллера, обычно, осуществляется от уровня напряжения +3,3В, для получения этого уровня напряжения используется вторичный источник питания в блоке *DC/DC*. Так же в блоке питания формируется напряжение +5В, необходимое для питания контроллеров интерфейса *RS-485*.

Для подключения интерфейса *Ethernet* используется встроенный *PHY Transceiver* микроконтроллера. Частота тактирования блока *PHY* должна быть 25 МГц с джиттером менее 100 пс и длительностью фронтов менее 3 нс.

Для использования встроенного *PHY* нужно обеспечить отдельную не шумящую частоту тактирования от резонатора, а тактирование внутреннего МАС-контроллера осуществляется от *PLL*.

В разрабатываемом устройстве предполагается создание сервера, что требует значительного объема памяти. Дополнительный объем памяти реализован блоком внешней памяти, подключенный к микроконтроллеру по интерфейсу *SPI*.

В устройстве возможно два подключения внешних устройств через интерфейс *RS-485*. Для подключения используются контроллеры данного интерфейса, взаимодействующие с микроконтроллером по шинам *UART*.

Так как разрабатываемое реле является, по сути, коммутирующим устройством, важным параметром устройства является скорость переключения и коммутации выходных сигналов. Поэтому для целевого моделирования выбрано рассмотрение именно этого параметра.

В качестве цепи выходного сигнала используется следующая схема:

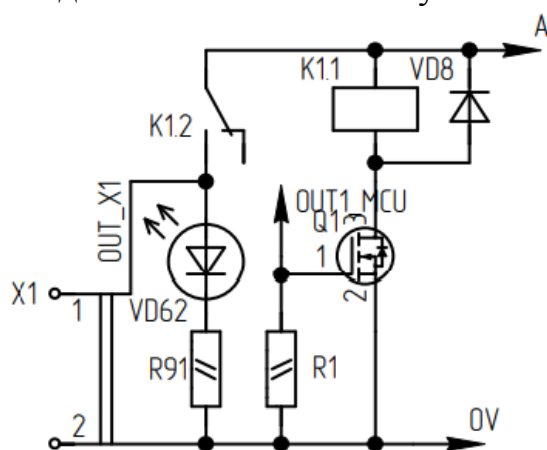


Рисунок 2 – Схема дискретного выхода

Для проведения моделирования рассмотрены особенности моделирования релейных устройств в имеющихся системах.

Для реализации реле необходимо описать математические выражения его работы. Известно, что параметрами реле являются его величина срабатывания (уставка)  $V_{сраб}$  и коэффициент возврата  $k_v$ . Реле переходит в сработавшее состояние при превышении некоторой входной величины  $x$  уставки, а возвращается в исходное несработавшее состояние при последующем снижении входной величины до значения  $k_v \cdot V_{сраб}$ . Отсюда основная сложность реализации реле состоит в наличии его коэффициента возврата, т.к. выходное значение реле  $y$  зависит не только от входной величины  $x[k]$ , но и от его предыдущего выходного значения  $y[k-1]$ , где  $k$  – дискретное время.

Составим выражения, описывающие действие реле:

$$y[k] = \begin{cases} 1, & \text{если } x[k] \geq V_{сраб} \\ 0, & \text{если } x[k] < k_v \cdot V_{сраб} \\ y[k-1], & \text{если } k_v \cdot V_{сраб} \leq x[k] < V_{сраб} \end{cases}$$

В качестве среды моделирования используется система имитационного блочного моделирования динамических систем *MATLAB/SIMULINK*.

Для того, чтобы использовать предыдущее значение выходной величины  $y[k-1]$  используется элемент «Delay».

Напряжение срабатывания выбранного реле составляет 3,1В, а  $k_e = 0.2$

Таким образом, модель схемы будет иметь следующий вид:

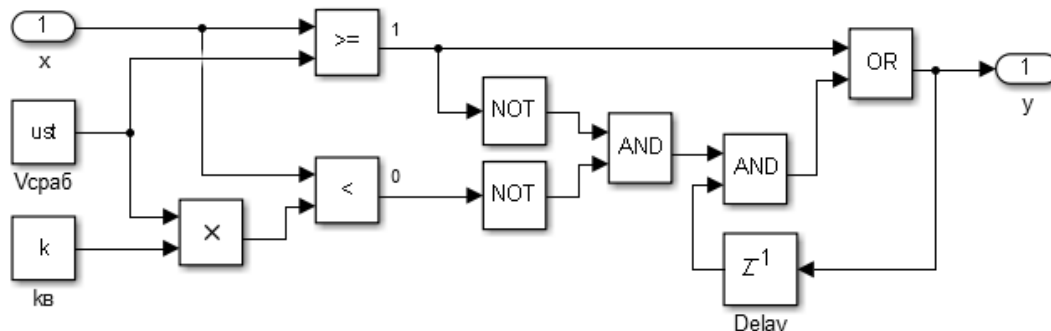


Рисунок 3 – Модель реле

Для проведения целевого моделирования потребуется создать входной сигнал. Оптимальным сигналом для проверки является некоторый треугольный сигнал, созданный средствами *MATLAB/SIMULINK*:

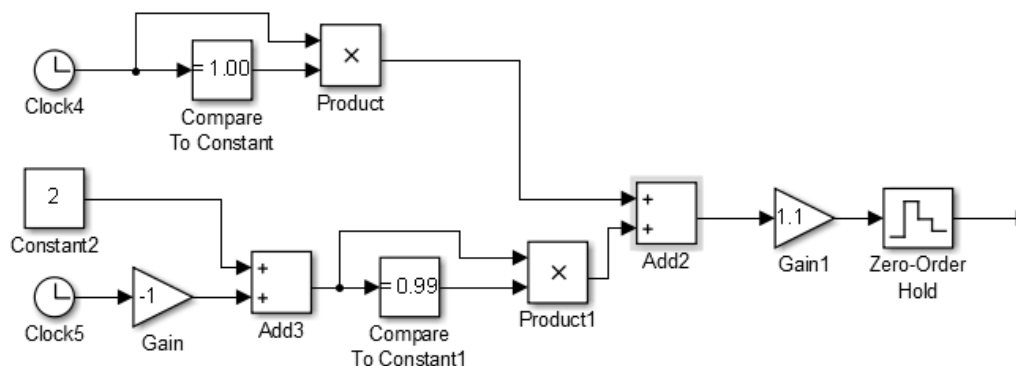


Рисунок 4 – Модель входного сигнала

В результате моделирования получены графики выходного сигнала реле при собранном входном сигнале:

По результатам видно, что срабатывание реле происходит при значении входной величины, равном 3,1, что совпадает со значением уставки. Возврат реле происходит при значении входной величины, равном 0,2, что совпадает с величиной возврата реле.

В настоящее время на основании составленных схем ведется разработка полной принципиальной схемы и проектирование модели устройства.

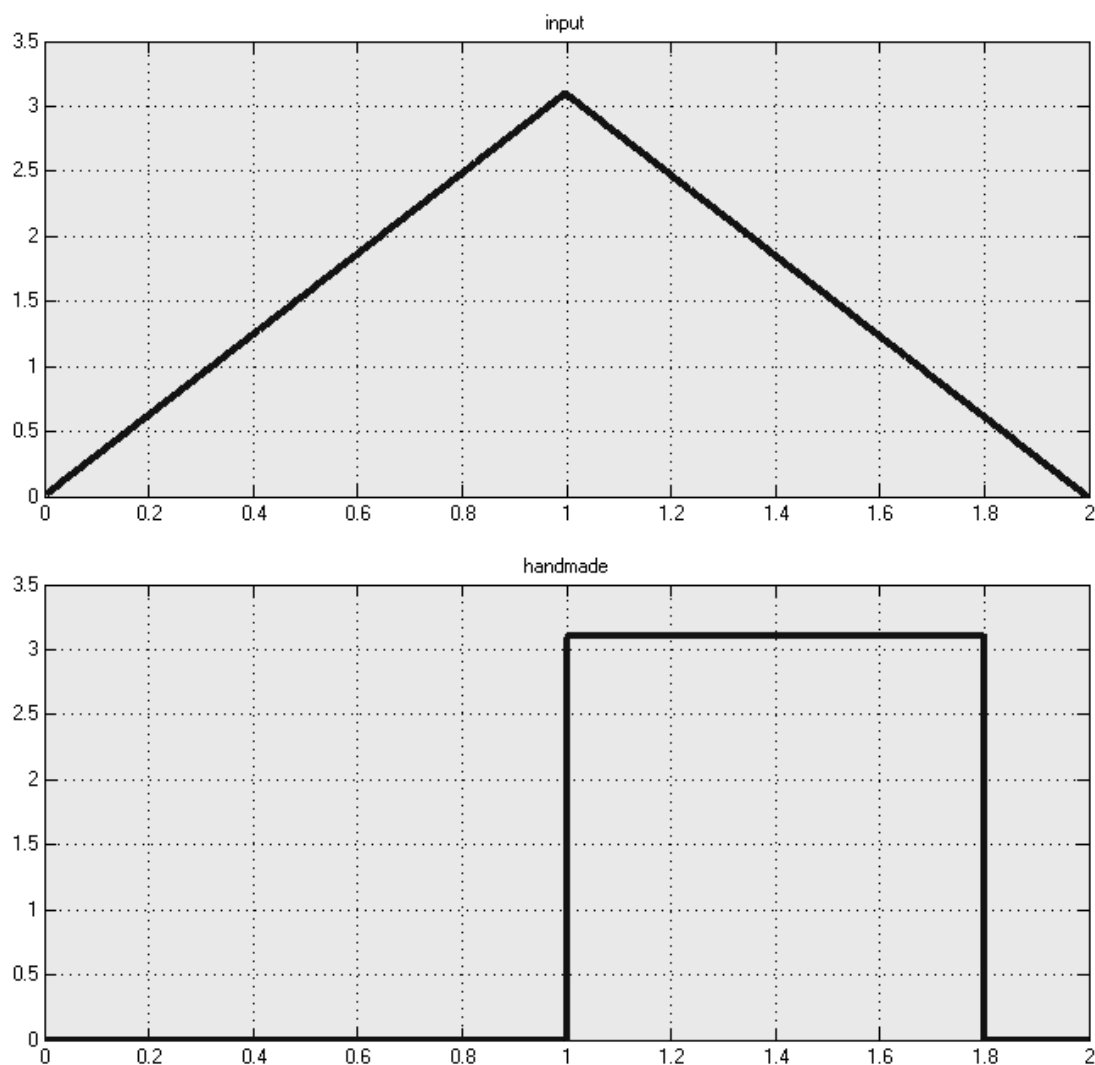


Рисунок 5 – Временные диаграммы моделируемых сигналов

#### Литература

1. Аналоговый ввод/вывод ПЛК [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://controlengrussia.com/apparatnye-sredstva/analogovyyj-vvod-vyvod-plc/>
2. Иванова А.С., Зернов А.М., Образцов С.А. Принцип работы устройств с программируемым реле // Сборник трудов XIX -ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА» Смоленск: «Универсум», 2022. Т 1. – 281-284 с.

*А.С. Иванова, студ.; М.С. Ковалева, студ.; А.Т. Романова, студ.; С.А. Образцов к.т.н. доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, ФГБОУ ВО  
«Смоленский государственный университет»)*

### РЕАЛИЗАЦИЯ АНАЛОГОВЫХ ВХОДОВ/ВЫХОДОВ ПРОГРАММИРУЕМОГО РЕЛЕ

Программируемые реле широко используются в автоматизированных системах в качестве инструмента управления для уменьшения объема конструкторских работ при разработке и проектировании. Такие реле имеют три типа входов/выходов: аналоговые, дискретные и специальные, обеспечивающие взаимодействие реле с внешними устройствами через различные интерфейсы.



Все обрабатываемые сигналы должны быть дискретными по уровню и по времени.

С помощью аналоговых входов обрабатываются непрерывные сигналы с внешних устройств и датчиков. Стандартными диапазонами сигналов для аналоговых входов/выходов являются для постоянного напряжения  $-10...+10$  и  $0...+10$  В, а для тока  $0...20$  и  $4...20$  мА. Программируемое реле работает с дискретными сигналами, поэтому для работы с сигналом с аналогового входа/выхода проводится его предварительная оцифровка. Следовательно, при проектировании программируемого реле разработчику требуется обеспечить оцифровку стандартных диапазонов сигналов с достаточной скоростью и точностью.

Обработка сигнала с датчика предполагает несколько этапов: входной сигнал с датчика подается на элементы усиления через внешние схемы (делители напряжения и оптореле), который нормирует сигнал до оптимального диапазона аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в соответствии с уровнем опорного напряжения, обеспечивается синхронизация выборок и фиксация уровня сигнала во время процесса преобразования, далее сигнал оцифровывается в АЦП и обрабатывается. Кроме того, возможно подключение датчика через мультиплексор, что позволяет уменьшить необходимость использования внешних схем защиты входов (рис.1).

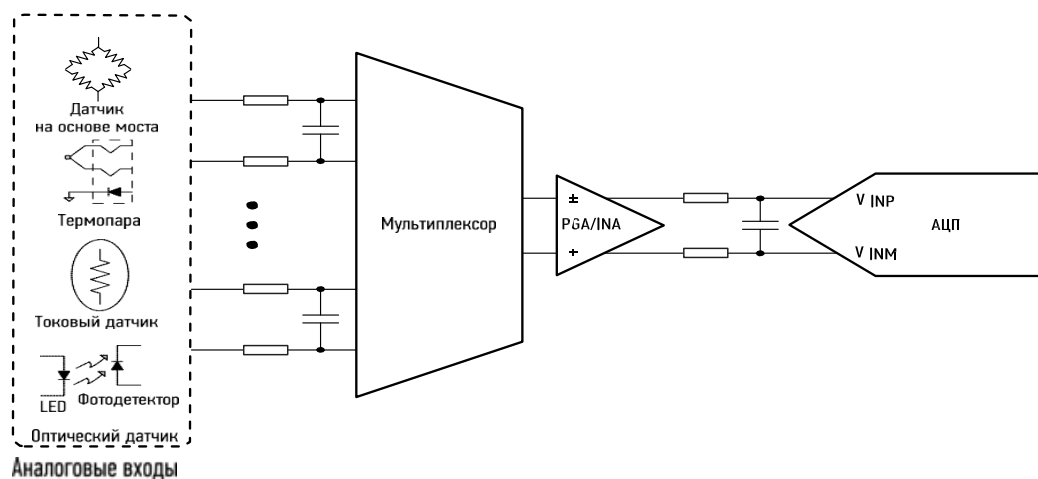


Рисунок 1 – Подключение мультиплексора к АЦП

В качестве элементов усиления можно использовать каскады на усилителях с программным коэффициентом усиления, дискретные операционные или инструментальные усилители с прецизионными резистивными делителями. Усилитель формирует входное напряжение АЦП в диапазоне от 0 В до значения опорного напряжения.

В современном схемотехническом проектировании редко приходится реализовывать все звенья обработки на дискретных компонентах. Для этих целей используются АЦП с интегрированными каскадами предварительной обработки, реализованными во внутренней структуре интегральной схемы, или микроконтроллеры с АЦП. В этом случае для обработки сигнала требуется осуществить только нормирование сигнала. Если в устройстве не требуется

параллельная обработка сигналов с аналоговых входов, т.е. допустима последовательная обработка с небольшой задержкой, то для такого решения достаточным будет использование АЦП и ЦАП микроконтроллера.

В связи с переходом на отечественную компонентную базу в качестве микроконтроллера рассматривается 32-разрядный микроконтроллер *K1986BE1QI* с 12-разрядным высокоскоростным (до 512 Квыб/с) АЦП с возможностью оцифровки информации с 8 каналов. Питание АЦП и ЦАП в нем выведено на отдельные выводы для уменьшения помех, при этом уровень напряжения питания не должен отличаться от уровня питания микроконтроллера более чем на 0,2 В. Величина опорного напряжения для корректной работы составляет от 3,0 до 3,6 В, что позволяет использовать один источник и для питания контроллера, и для АЦП и ЦАП с добавлением мер по снижению помех. Тогда необходимо спроектировать входные схемы нормирования сигналов на стандартный уровень 3,3 В. АЦП не может напрямую преобразовывать ток, поэтому необходимо разделить входы для подключения аналоговых датчиков с выходом в виде тока и напряжения (рис. 2).

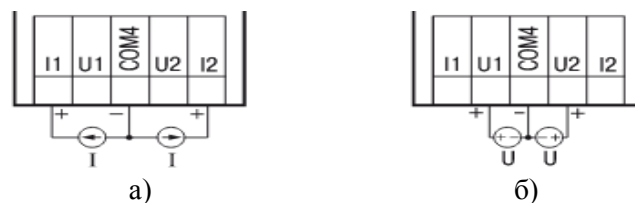


Рисунок 2 – Схемы подключения к аналоговым входам датчиков с выходом в виде тока (а) и напряжения (б)

Для выходов можно использовать два 12-разрядных ЦАП контроллера (рис. 3). Таким образом, при использовании АЦП микроконтроллера возможно получить 8 аналоговых входов и 2 выхода.



Рисунок 3 – Схемы подключения к аналоговым выходам токовой нагрузки (а) и нагрузки в виде напряжения (б)

Перед началом обработки получаемых аналоговых сигналов необходимо обеспечить гальваническую развязку для каждого канала из-за возможных импульсных помех. Наиболее распространённым решением является схема оптоэлектронной развязки (рис. 4), т.к. имеет большое напряжение изоляции. Перед оптопарой добавлен фильтр низких частот с малым сопротивлением и емкостью, что позволяет увеличить быстродействие.

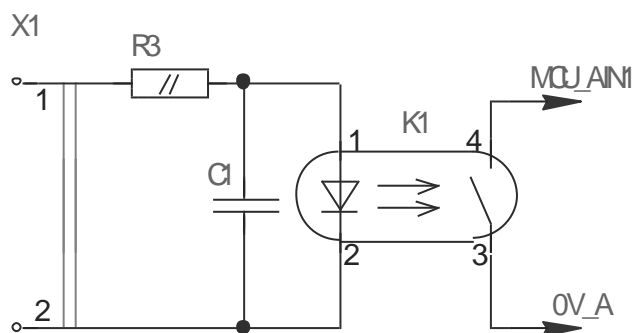


Рисунок 5 – Оптоэлектронная развязка

Дальнейшая часть цепи аналогового входа зависит от типа сигнала. Для нормирования сигналов с датчиков с выходом в виде напряжения после оптопары применяется схема резистивного делителя:

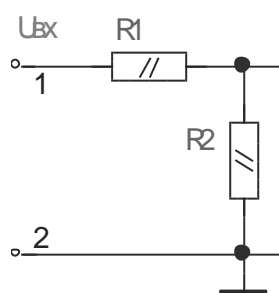


Рисунок 5 – Схема резистивного делителя

Сигнал с токового входа, преобразованный в напряжение через оптопару, будет иметь малую величину, поэтому он усиливается операционным усилителем (рис. 5) и поступает на вход АЦП.

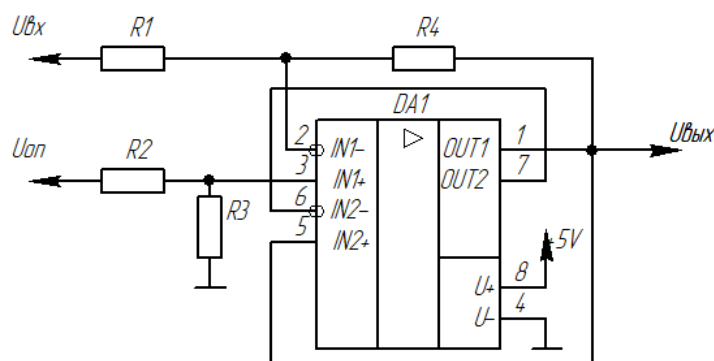


Рисунок 6 – Дифференциальное включение ОУ

Если не требуется большое быстродействие и рассеиваемая мощность, то в качестве усилителя подойдет отечественный операционный усилитель *IL358D*.

Рассмотренные решения позволяют разработать схему подключения аналоговых датчиков двух типов к АЦП при условиях, когда обработка сигналов с датчиков не требует большого быстродействия и точности. Так как 8 входов одного типа, как правило, мало для программируемого реле, то для создания универсального аналогового входа возможно добавление перемычек, с помощью которых будет выбираться цепь измерения по типу сигнала.

#### Литература

1. Аналоговый ввод/вывод ПЛК [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://controlengrussia.com/apparatnye-sredstva/analogovyj-vvod-vyvod-plc/>
2. Иванова А.С., Зернов А.М., Образцов С.А. Принцип работы устройств с программируемым реле // Сборник трудов XIX -ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА» Смоленск: «Универсум», 2022. Т 1. – 281-284 с.

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

### **ПОДХОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ТЕПЛООБМЕНА**

Измерение многих физических величин вызывает затруднение из-за ограничения или отсутствия необходимого оборудования. Корректное определение величин в автоматизированном режиме становится возможным при применении соответствующих датчиков. Датчиком является техническое средство, наличие которого дает возможность реализовать важные особенности современных методов измерений, в частности преобразование одних физических величин в другие величины, последующие преобразования, хранение и использование.

Точность измерения датчика определяется энергетическим воздействием, которое производит изменение определяемой физической величины. Оказывают влияние на достоверность изменений и мешающие факторы, которые могут быть как недостатками конструкции датчика, так и условиями измеряемой среды. Например, для измерения скорости потока жидкости поверхностных вод такими факторами является загрязнение воды, обледенение и т.д. Недостатки датчиков, использующиеся в этой среде — время реагирования, габариты, стоимость, необходимость в постоянном обслуживании и т.д. Калориметрические расходомеры имеют относительно небольшую погрешность ( $0,3 \div 0,5\%$ ) и доступную цену (~120 000 руб.), но не получили распространение в промышленности из-за существенных недостатков в малом быстродействии (время реакции может составлять 12 с [1]) и в ненадежности работы в эксплуатационных условиях.

Таким образом, проектирование и конструирование датчиков является технически сложной задачей, учитывая вышеперечисленные факторы.

Целью данной работы является определение подхода проектирования электронного теплообменного устройства для измерения скорости потока течения поверхностных вод методом косвенных измерений.

В настоящее время для электронных устройств, измеряющих скорость потока жидкости, часто используются методы [2], указанные в таблице 1.

Исходя из рассмотренных характеристик, перспектива разработки электронных устройств с использованием метода, использующего принципы теплообмена в условиях охлаждающего потока жидкости, актуальна.

Приборы, использующий метод теплообмена в условиях охлаждающего

потока жидкости, имеют нагреваемый элемент, который вводится непосредственно поток. Например, в качестве элемента в термогидрометрах используется платиновая проволока либо полупроводниковые терморезисторы с прямым или косвенным подогревом.

Общий принцип работы теплообменных датчиков скорости течения является сравнительная оценка температуры термочувствительных элементов опорного и измерительного каналов, различающихся из-за воздействия течения на измерительный канал и отсутствия воздействий на опорный.

Таблица 1 — Сравнительный анализ методов, использующиеся в измерении скорости потока жидкости

Критерии	Метод, основанный на подсчете числа оборотов лопастного винта/ротора	Метод, в основании которого положен эффект Доплера	Метод, использующий принципы теплообмена в условиях охлаждающего потока жидкости
Стоимость приборов, руб.	от 50 000	~1 000 000	~20 000
Погрешность, %	5÷6	1	—
Влияние загрязнения среды	Требуется постоянное обслуживание при эксплуатации	Минимальное	Минимальное
Влияние на измеряемую среду	Минимальное	Вносит возмущение в измеряемую среду из-за достаточно больших размеров	Минимальное
Готовое решение приборов	Есть	Есть	Практически отсутствуют

В данной работе представлен пример проектирования электронного устройства с платиновыми резисторами для измерения скорости потока жидкости методом теплообмена.

В устройстве не потребуются применение АЦП высокой точности, так как не производится измерение электрических величин, что является преимуществом в сравнении с другими широко используемыми устройствами, работающими на принципах теплообмена. Измерение временного интервала, расчет скорости потока доступно реализуется в составе микроконтроллерного модуля. Для получения оптимальных характеристик косвенных измерений при определении параметров потока жидкости необходимо сделать следующее [3]:

1 Повысить точность измерения температуры. Платиновые резисторы обладают высокой точностью, погрешность измерения может достигать до 0,013°C [4]. Так же применение идентичных компонентов на опорном и измерительном каналах позволяет минимизировать источники погрешностей.

2 Изолировать опорный канал относительно измерительного.

3 Снизить инерционности процессов. При косвенном измерении инерционность процессов значительно увеличивается, вследствие чего работа

прибора возможна при соблюдении условий малой инерционности теплообменных процессов, которая прямо пропорционально зависит от массы и габаритов теплочувствительных элементов. Платиновые резисторы удовлетворяют требованию, так как имеют предельно малые габариты и массу.

4 Учесть и компенсировать мешающие факторы (отдача тепла корпусу, размещение резистора без изоляции от воды и т.д.).

Скорость потока жидкости определяются датчиком на близко установленные идентичные терморезисторы опорного и измерительного каналов. Предварительно производится градуировка терморезисторов опорного и измерительного каналов на токе измерения в рабочем диапазоне температур работы прибора и определяется аппроксимирующая функция зависимости их напряжений от температуры.

При проведении измерений выходные данные устройства определяются по временному интервалу (длительности цикла), а не по абсолютному изменению сопротивления и температуры, что приводит к упрощению схемной реализации устройства. Длительность цикла определяется по числу импульсов, которое фиксирует счетчик, от подачи разрешающего сигнала до сигнала обнаружения перегрева резистора измерительного канала. Скорость потока жидкости определяется длительностью временного интервала.

До запуска прибора сопротивление резисторов имеет одинаковую величину, определяемую температурой жидкости. В начальный момент запуска цикла на вход подается линейно изменяемое напряжение. Напряжение в измерительный канал подается через усилитель. Из-за тепловой инерции резисторы нагреваются. Ток, протекающий через терморезистор измерительного канала в разы больше, вследствие чего прогрев происходит быстрее, чем у терморезистора опорного канала.

Достижение точки перегрева фиксируется компаратором напряжения путем сравнения сигналов напряжения резисторов опорного и измерительного каналов. Напряжение через опорный канал следует предварительно увеличить на коэффициент усилителя измерительного канала описанного раньше. Сигнал с выхода компаратора фиксирует окончание цикла.

Таким образом, был приведен подход проектирования электронного теплообменного устройства для измерения скорости потока течения поверхностных вод методом косвенных измерений. Спроектированный датчик может иметь оптимальные характеристики (диапазон измерений, погрешность, габариты и т.д.) для измерения скорости потока поверхностных вод при минимальной стоимости.

#### Литература

1 УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗА ПОТОКАМИ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ. ДАТЧИКИ ПОТОКА — URL: <https://naukarus.com/ustroystva-dlya-kontrolya-za-potokami-zhidkostey-i-gazov-datchiki-potoka> (дата обращения: 23.08.2022).

2 Строев Н.Н., Козенова А.О. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ // Энергетика, информатика, инновации - 2021. (электроэнергетика,

электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве, микроэлектроника и оплотехника). Сб. трудов XI-ой Национальной научно-технической конференции с международным участием. В 2 т. Т 1. - 2021. - С. 565-569.

3 Астахов С.П., Строев Н.Н. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СХЕМАХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ ГАЗОВ И ЖИДКОСТИ // Энергетика, информатика, инновации - 2021. (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве, микроэлектроника и оплотехника). Сб. трудов XI-ой Национальной научно-технической конференции с международным участием. В 2 т. Т 1. - 2021. - С. 334-339.

4 Строев Н.Н., Козенова А.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАТИНОВЫХ РЕЗИСТОРОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ // Энергетика, информатика, инновации - 2021. (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве, микроэлектроника и оплотехника). Сб. трудов XI-ой Национальной научно-технической конференции с международным участием. В 2 т. Т 1. - 2021. - С. 570-572.

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

## **ВОЗМОЖНОСТИ МИНИМИЗАЦИИ РЕСУРСОВ КОМПЬЮТЕРА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ В САПР COMSOL**

Современным и актуальным направлением компьютерных технологий в настоящее время является компьютерное моделирование, отличительной особенностью которого представляет собой выполнение трехмерных моделей различных устройств и экспериментов с использованием, в сравнении с их физической реализуемостью, минимального количества ресурсов.

Вместе с тем используемые для моделирования САПР требуют большое количество ОЗУ используемого компьютера. Из-за недостатка памяти устройства увеличивается время моделирования и получения результатов, а также существует большая вероятность прерывания моделирования.

Цель работы заключается в поиске способов минимизации использования ресурсов компьютера при проведении компьютерного моделирования в САПР COMSOL. Исследование выполняется на основе результатов проектирования рупорной антенны миллиметрового диапазона с уже подтвержденными экспериментальными параметрами и полностью разработанной в среде COMSOL. Моделирование проводится на компьютере с объемом ОЗУ 16 Гб.

Задача данной работы заключается в проведении моделирования рупорной антенны миллиметрового диапазона в САПР COMSOL при сохранении необходимой функциональности модели и оптимизации параметров несколькими способами, а именно:

- изменение размеров конечно-элементной сетки,
- симметричное представление антенны,
- импорт.



*COMSOL Multiphysics* — это интегрированная платформа для моделирования, которая позволяет исследовать в одной программной среде любые физические явления, которые можно описать системами дифференциальных уравнений в частных производных.

Для моделирования антенны необходимо правильно выбрать и настроить граничные условия и другие узлы физического интерфейса. Отражение реальных условий работы антенны при сохранении эффективного потребления ОЗУ компьютера и времени расчёта — важная и обязательная задача.

В рупорной антенне миллиметрового диапазона, на базе которой проводится данная работа, используется прямоугольный тип порта. Идеальные электрические проводники — металлические поверхности антенны [1]. Рассеивающие граничные условия и область дальней зоны представляют собой внешние границы окружающей среды (рис. 1).

Для дискретизации модели и построения сетки программный пакет *COMSOL Multiphysics* использует различные численные методики и техники, зависящие от исследуемого в модели типа физики или сочетания физических явлений.

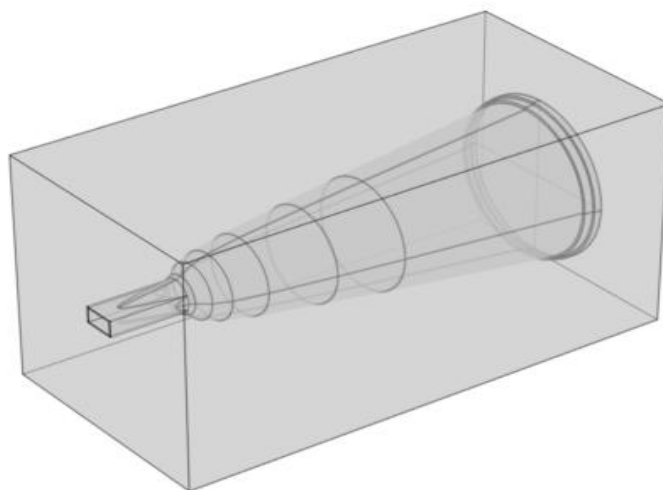


Рисунок 1 — Модель трехмерной антенны

Алгоритм построения сетки общего назначения создает сетку с элементами того типа, который подходит для этого численного метода. Например, применяемый по умолчанию алгоритм может использовать произвольную тетраэдрическую сетку или сочетать ее с методом построения погранслойных сеток, комбинируя элементы различных типов и обеспечивая более быстрые и точные расчеты.

*COMSOL* позволяет автоматизировать процесс выбора размера сетки, используя встроенные наборы параметров от очень плотной сетки (*Extremely fine*) до очень крупной (*Extremely coarse*).

В настройках выбрали нормальный размер конечно-элементной сетки (рис. 2). Попытка использования наборов оказалась неудачной, так как потребовалось большее количество оперативной памяти, чем имеется на компьютере.



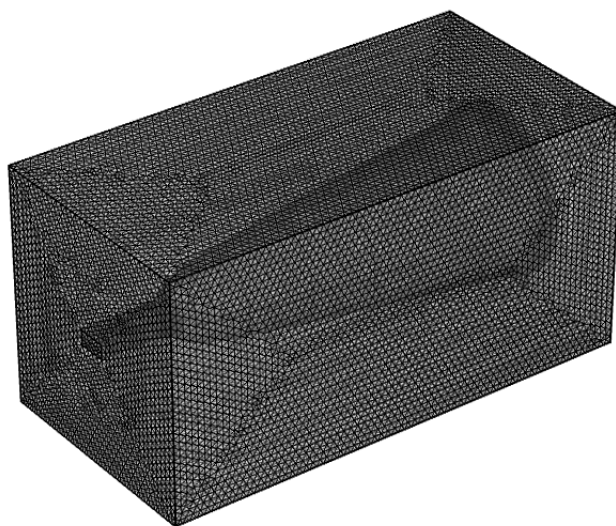


Рисунок 2 — Автоматическое построение сетки

Поэтому размеры сетки были указаны вручную для использования меньшего количества ресурсов компьютера, что программа допускает (рис. 3) [2]. В рассматриваемом примере необходимо, чтобы количество элементов не превышало  $2,5 \cdot 10^9$ . Необходимые условия допустимы при увеличении максимального размера элементов сетки. Однако моделирование антенны также было невозможно из-за той же проблемы.

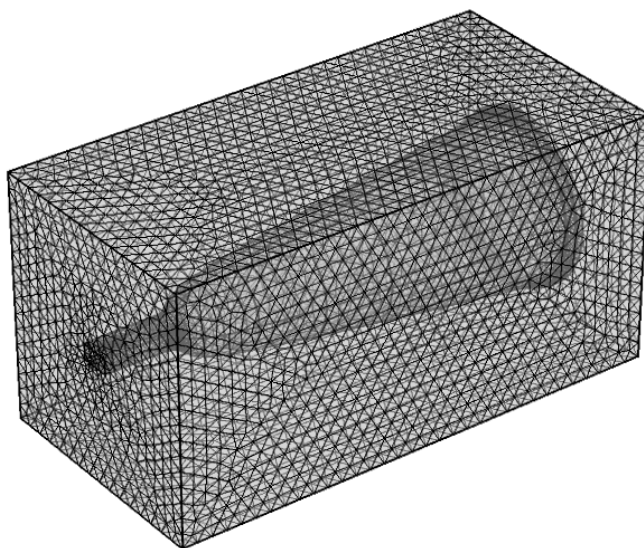


Рисунок 3 — Построение заданной вручную сетки

Таким образом, можно утверждать, что построение конечно-элементной сетки, подбор необходимого и возможного количества ее элементов является частным случаем вызова трудности в компьютерном моделировании.

Для использования меньшего количества вычислительных ресурсов и ускорения моделирования антенны следует использовать симметрии с помощью модуля Радиочастоты для уменьшения расчетной области.

Усеченную антенну можно построить с помощью логической операции пересечения (*Intersection*) (рис. 4).

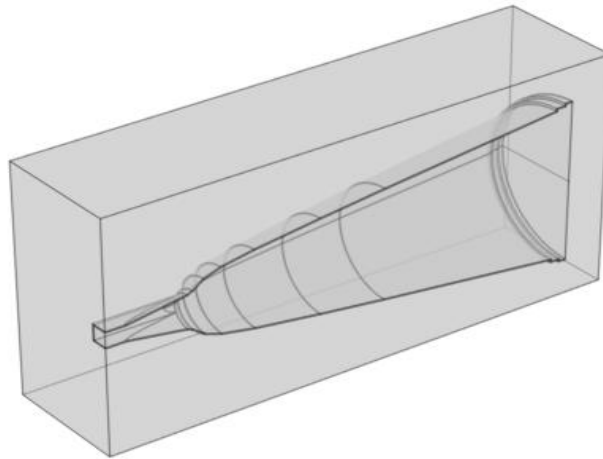


Рисунок 4 — Симметричное представление антенны

Тип порта описывается самостоятельно, так как описывается половина антенны. Его входная мощность равняется  $1/2 Bm$ .

Напряженность электрического поля моды на оси  $Z$  рассчитывается по формуле:

$$E_z = \cos\left(\pi * \frac{E_y}{a}\right), \text{ где} \quad (1)$$

$E_y$  — напряженность электрического поля моды на оси  $Y$ , В/м.

$a$  — длина волновода, м.

Используется мода  $TE_{10}$ , так как она является простейшей и основной модой для прямоугольного металлического волновода. Поперечная составляющая электрического поля этой моды является синусоидальной функцией, которая равна нулю на сторонах волновода и достигает максимума в середине.

В исследуемом случае напряженности на других осях нулевые, из этого следует, что  $E_z = 1 \text{ В/м}$  [3].

Константа распространения:

$$\beta = \frac{\omega}{c} \sqrt{1 + \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}, \text{ где} \quad (2)$$

$\omega$  — круговая частота, рад/с;

$c$  — скорость света,  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ;

$f_c$  — частота среза, ГГц;

$f$  — исследуемая частота,  $f = 90, 91, 92 \dots 100 \text{ ГГц}$ .

Из формулы для частоты среза:

$$f_c = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}, \text{ где} \quad (1)$$

$m, n$  — коэффициенты моды  $TE$ ,  $m=1, n=0$ ;

$a, b, c$  — длина, ширина и глубина волновода соответственно, м.

При выбранной ориентации питающего волновода антенны (Рисунок) необходимо выделить часть модели, где происходит сечение, идеальным магнитным проводником.

Переменная дальней области симметрична в напряженности электрического поля на плоскости, которая параллельна сечению. В нашем случае, плоскость  $y = 0$ . Остальные настройки модуля Радиочастоты без изменений.

При помощи такого подхода моделирование рупорных антенн происходит быстрее. С учетом симметрии ускоряется расчет антенны, и достигаются требуемые результаты.

Если модель рупорной антенны была создана в других САПР, то ее можно импортировать в *COMSOL* (рис. 5). Модуль CAD-импорт позволяет работать с рядом файлами оригинальных форматов многих систем [4]. Импортированные геометрические модели можно так же редактировать, упрощать и устранить погрешности импорта.

После проведенной операции антенну можно также усечь для уменьшения потребления ОЗУ (рис. 6). В таком случае настройки модуля Радиочастоты идентичны настройкам в примере усеченной построенной антенны.

Использование такого метода построение рупорной антенны облегчает построение устройства. Благодаря такому методу можно импортировать объекты из других программ с помощью расширений САПР-формата.

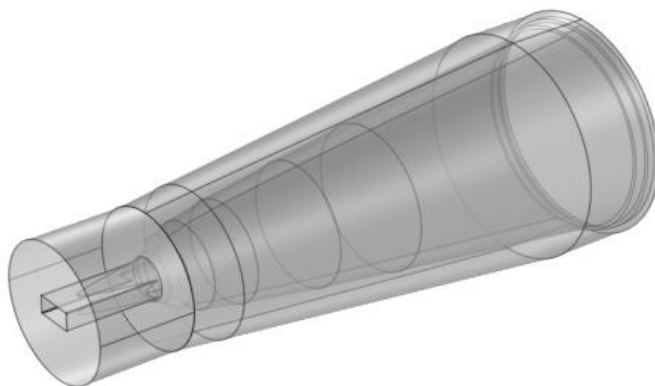


Рисунок 51 — Импортированная антенна

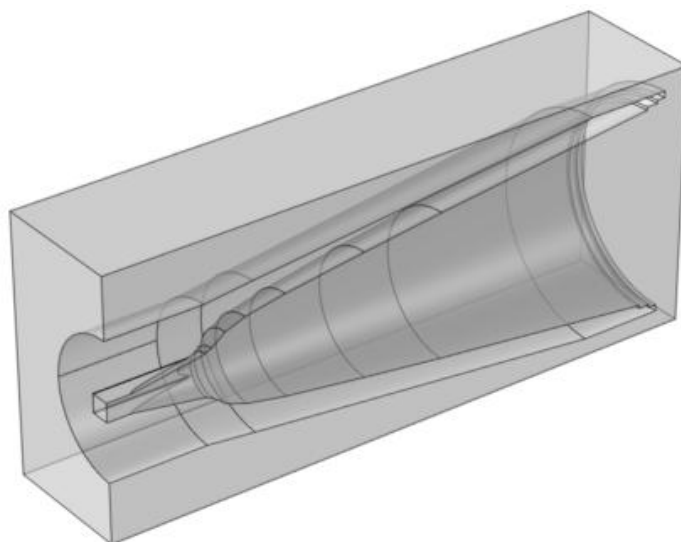


Рисунок 6 — Симметричное представление импортированной антенны

Таким образом было проведено поиск способов минимизации использования ресурсов компьютера при проведения моделирования в САПР *COMSOL*. Было проведено моделирования рупорной антенны миллиметрового диапазона с сохранением необходимой функциональности модели и оптимизации параметров несколькими способами: изменение размеров конечно-элементной сетки, симметричное представление антенны и импорт.

#### Литература

- 1 Основы моделирования антенн в *COMSOL Multiphysics* — URL: <https://www.comsol.ru/blogs/introduction-to-efficiently-modeling-antennas-in-comsol-multiphysics/> (дата обращения: 25.01.2022).
- 2 Эффективное построение сетки с использованием сеточных последовательностей Два метода моделирования полей излучения в *COMSOL Multiphysics®* — URL: <https://www.comsol.ru/blogs/efficiently-mesh-your-model-geometry-with-meshing-sequences/> (дата обращения: 29.01.2022).
- 3 Два метода моделирования полей излучения в *COMSOL Multiphysics®* — URL: <https://www.comsol.ru/blogs/2-methods-for-simulating-radiated-fields-in-comsol-multiphysics/> (дата обращения: 20.06.2022).
- 4 CAD-импорт — URL: <https://www.comsol.ru/cad-import-module> (дата обращения: 27.06.2022).

*С.Г. Лисицын, студ.; С.П. Астахов, к.т.н., доцент  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ПОТОКА ВОЗДУХА В ВЫТЯЖКЕ**

Системы домашней автоматизации на данный момент являются достаточно актуальным, хорошо изученным с точки зрения теоретического знания, имеющим целое множество схемотехнических решений направлением. Полноценная система состоит, как правило из отдельных устройств, которые выполняют некоторое множество функций, например, измерения каких-либо физических величин. Род измеряемых физических величин зависит от требуемой функции устройства в полноценной системе домашней автоматизации, например, устройство стабилизации температуры в помещении должно измерять температуру окружающей среды. Одним из незаменимых устройств в системе домашней автоматизации для управления вентилируемостью помещений является анемометр [1].

Анемометром называется некоторое измерительное устройство, предназначенное для фиксации скорости движения воздушных и газовых масс. Сферы применения анемометров достаточно обширны: они используются в метеорологии, устанавливаются на летных площадках, применяются снайперами и спортсменами-стрелками для внесения поправочных коэффициентов на движения ветра в баллистическую траекторию движения пули перед произведением выстрела.

В проектах «умный дом» анемометры необходимы для контроля потока воздуха в вытяжке, что необходимо в ряде систем домашней автоматизации для качественного кондиционирования помещения, увлажнения воздушной среды в

диапазонах комфортной для человека относительной влажности воздуха или ароматизации помещения аромадиффузорами с заданной скоростью. Для измерений скорости потока воздуха в вентиляции наилучшим образом подходят термоанемометры, поскольку они являются наиболее компромиссным вариантом между себестоимостью и габаритными размерами. Актуальность проводимого исследования обусловлена необходимостью проверки алгоритмов функционирования устройства контроля потока воздуха в вытяжке.

Примем за основу структурную схему устройства контроля потока воздуха в вытяжке [2], в которой было предложено использование мощного резистора (нагреватель) и двух цифровых датчиков температуры, расположенных с двух диаметрально противоположных сторон от «Нагревателя» для выполнения измерительного процесса скорости потока воздуха в вытяжке и его направления. Для моделирования был произведен выбор основной электронной-компонентной базы и составлена электрическая принципиальная схема (рисунок 1) в среде моделирования *Proteus 8.9*, которая позволяет качественно оценить алгоритм работы того или иного микропроцессорного устройства.

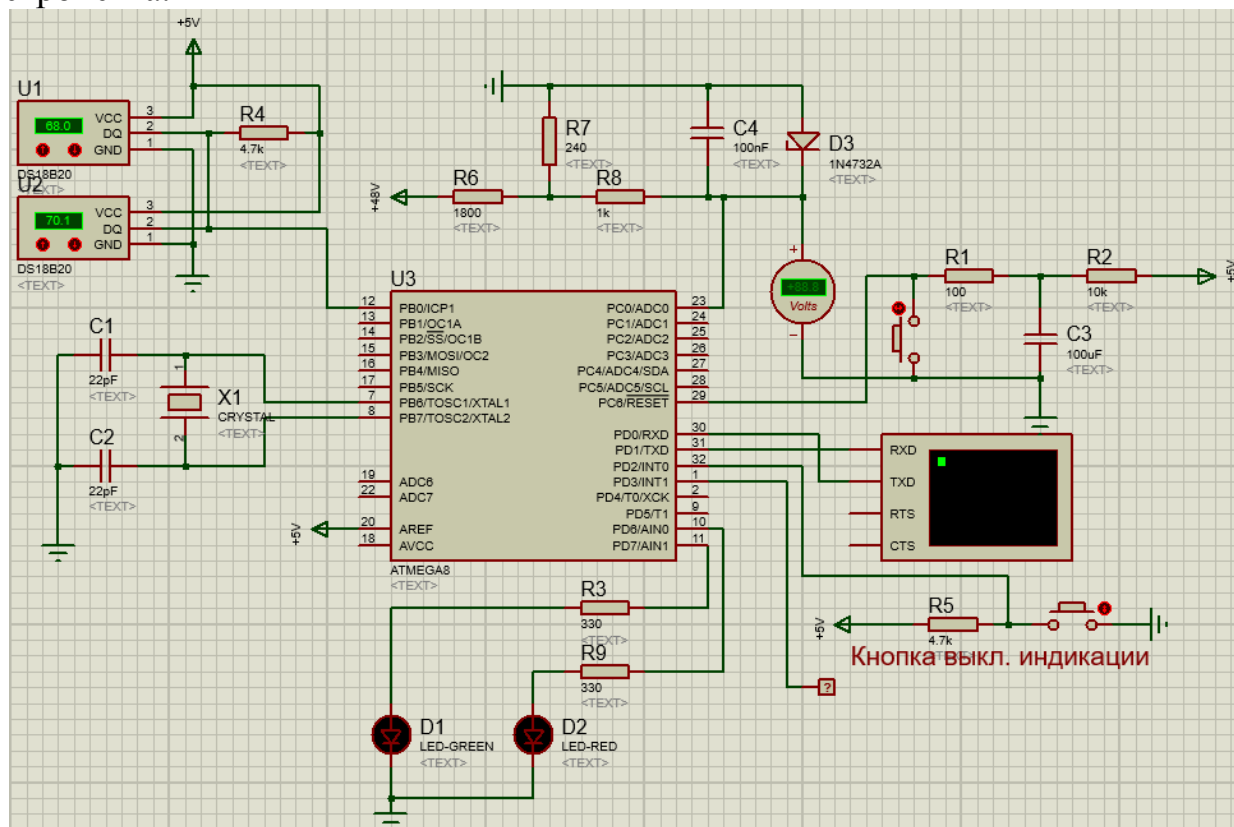


Рисунок 1 — Схема устройства контроля потока воздуха в среде *Proteus 8.9*

В качестве цифровых датчиков были выбраны микросхемы *DS18B20*, в схеме (рисунок 1) они представлены *Spice*-моделями, которым можно задавать условия эксперимента (измеряемая температура) в режиме реального времени. Выбор микроконтроллера (*Atmega8*) был обусловлен требованием наличия необходимого количества портов ввода-вывода и периферийных узлов (*UART*). В остальном схема имеет достаточно тривиальное решение, например, использование светодиодов для указания направления потока воздушных масс,



схемы сброса и тактирования микроконтроллера, логический вывод для обеспечения обратной связи с устройством вентиляции (выходное электромеханическое реле переменного тока [3]) и схема включения нагревательного резистора. Эффект смещения «теплового пятна», взятый за основу функционирования устройства контроля потока воздуха, будет имитироваться установленными значениями температур в датчиках *DS18B20*.

Проверим работу устройства путем имитационного моделирования при разных соотношениях температур (рисунок 2). При этом были получены результаты работы устройства при движении воздушных масс в прямом (рисунок 2 – а) и обратном (рисунок 2 – б) направлении, в прямом направлении со сверхмалой скоростью (рисунок 2 – в) и со сверхвысокой (рисунок 2 – г). При этом на удаленный сервер при запросе данных отправлялась информация об измеренной температуре, направлении движения воздушных масс (или практически отсутствии движения). На каждом из этапов проведения моделирования работы устройство выдавало адекватные данные, соответствующие заданной в текущий моменты времени температуры датчиков.

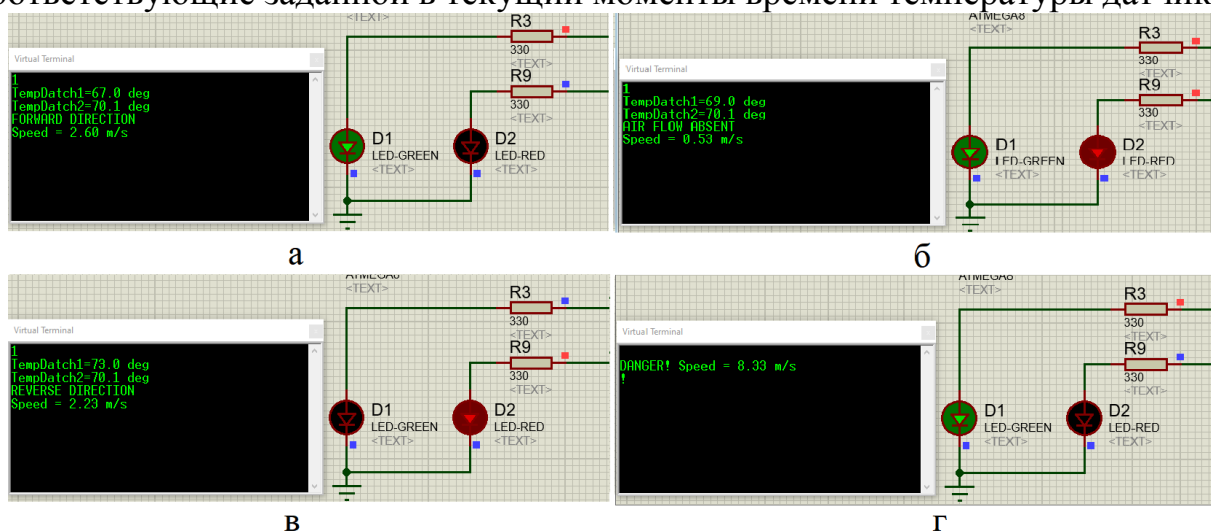


Рисунок 2 — Моделирование работы устройства контроля потока воздуха в среде *Proteus 8.9*

В результате моделирования устройство производило индикацию на светодиоды для указания движения воздушных масс (только зеленый – прямое, только красный – обратное, красный и зеленый одновременно – движение воздушных масс практически отсутствует) и виртуальный терминал, представляющий собой некоторый «Узел мониторинга» (центральный узел системы управления «умный дом»). Данные по интерфейсу UART передавались при получении запроса от внешнего «Узла мониторинга». Лишь в случае аварии (критически большая скорость движения воздушных масс) устройство само инициировало отправку сообщения на «узел мониторинга» с периодичностью в 1 с.

Таким образом, была произведена проверка алгоритмов функционирования устройства контроля потока воздуха в вытяжке. Для моделирования был произведен выбор основной электронной-компонентной базы и составлена электрическая принципиальная схема в среде имитационного моделирования *Proteus 8.9*. По результатам моделирования можно судить об адекватности

предлагаемого технического решения в рамках применения в системах домашней автоматизации.

#### Литература

1. Батюшев В.А. Электронные приборы. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.
2. С.Г. Лисицын, рук. С.П. Астахов. Разработка устройства контроля потока воздуха в вытяжке // Сборник XIX Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика» 28-29 апреля 2022 – Смоленск Издательство «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, т.1. – 2022. 377-380 с.
3. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632с., ил.

*А.А. Лысенков, маг.; Н.А. Пикулев, маг.; И.В. Якименко, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА

На начальном этапе желательно выбрать микроконтроллер для точного уяснения функциональных связей между составными частями устройства. Для поставленных задач на данную статью будет достаточно микроконтроллера ATMEGA16 семейства AVR от компании Atmel. Микроконтроллеры из этого семейства легкодоступны для каждого программиста, так как их можно купить фактически в любом магазине электроники, так же их ценник достаточно скромный, однако данное семейство микроконтроллеров имеет большое разнообразие в возможностях подключаемой периферии, также микроконтроллеры обладают достаточно большой системой команд. Ну и что является одним из наиболее важных, данный производитель выпускает бесплатные версии компиляторов СИ. В статье будет использоваться достаточно простой в освоении и удобный в использовании компилятор CodeVisionAVR (рис. 1).

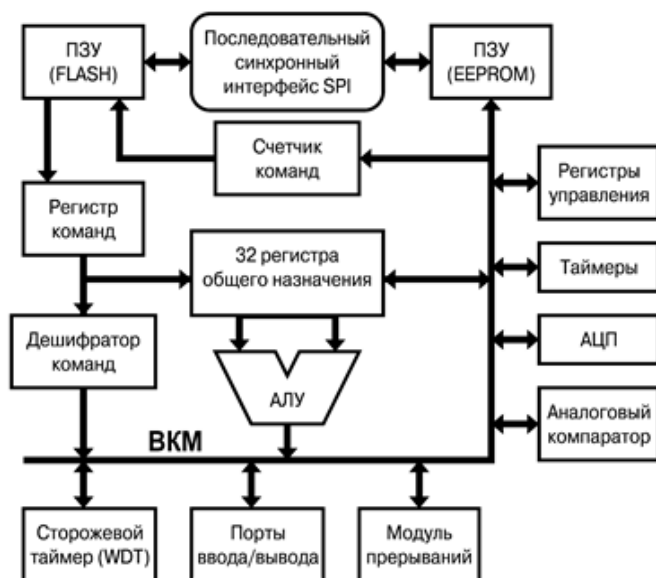


Рисунок 1 – Внутренняя структура AVR микроконтроллера

У микроконтроллера имеются два выхода под внешние прерывания, которые мы и будем использовать в нашей работе, также есть 16-ти разрядный таймер, который также будет использоваться в рамках работы над данной статьей.

Помимо всего выше сказанного микроконтроллер ATmega16 имеет три внешних прерывания, для генерации которых можно использовать различные события. В данном проекте будут использованы лишь два из них: внешнее прерывание одно по фронту, означающее старт импульса с ультразвукового датчика, а другое по срезу импульса, означающее его окончание. С помощью чего можно измерить длительность импульса и потом программно подсчитать расстояние до объекта.

Кроме того, немаловажным фактором, повлиявшим на выбор МК, является то, что для тестирования разработанных устройств имеется в распоряжении отладочная плата EasyAVR5A, укомплектованная микроконтроллером указанного типа (рис. 2).



Рисунок 2 – Отладочная плата EasyAVR5A

Микроконтроллер работает по программе, реализующей измерительный алгоритм и осуществляющий вывод измеренного значения на 4-хразрядный семисегментный индикатор. Программа записана во Flash-памяти программ, для временного хранения промежуточных переменных используется оперативная память МК.

Главный модуль программы (а вернее его бесконечный цикл – фоновая программа) осуществляет вывод массива десятичных цифр, который был получен путём преобразования измеренного расстояния, на семисегментный индикатор в режиме динамической (мультиплексной) индикации.

Второй модуль программы – обработчик первого внешнего прерывания – отвечает за фиксирование старта импульса с датчика и обнуления значения счётчика таймера.



Третий модуль программы – обработчик второго внешнего прерывания по срезу – отвечает за фиксирование окончания импульса с датчика, при этом сам захват осуществляется по срезу импульса, то есть этим модулем фиксируется значение счётного регистра, которое соответствует длительности импульса, а затем за вычисление расстояния до объекта и за его преобразование в массив десятичных цифр для последующего вывода на семисегментный индикатор.

Исходя из сказанного, функциональная схема устройства будет иметь вид, представленный на (рис. 3).

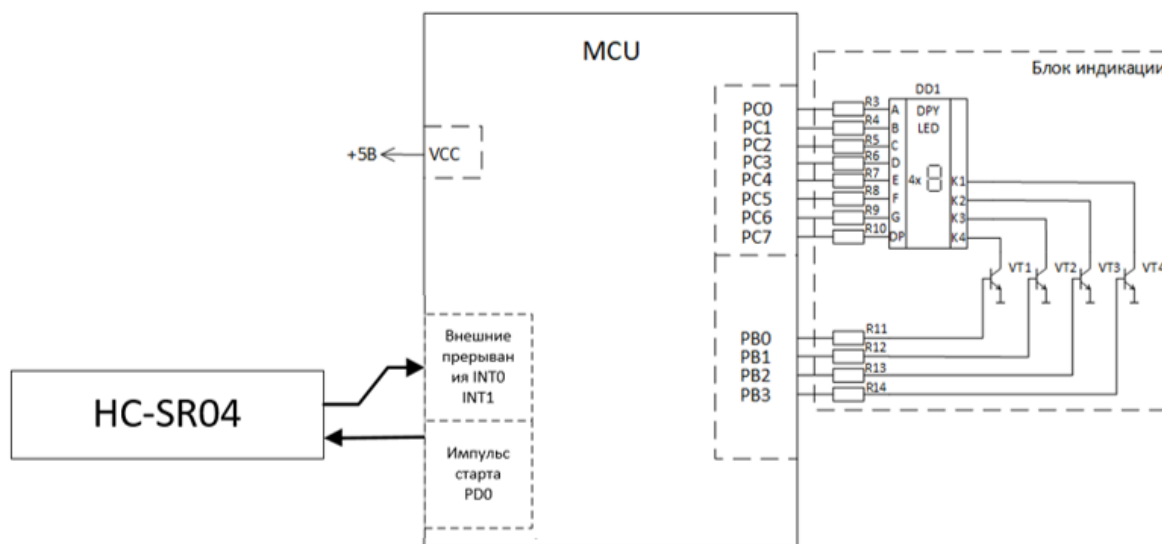


Рисунок 3 – Функциональная схема измерителя расстояния до объекта

Устройство посылает сигнал вперед, который распространяется под определенным углом до тех пор, пока не встретит препятствие, после встречи с которым, сигнал отражается и начинает движение в обратном направлении, как только он приходит обратно к устройству, датчик его улавливает и фиксирует промежуток времени. Далее зная время и скорость движения ультразвуковой волны в воздухе не составляет труда рассчитать расстояние, пройденное телом, однако такие датчики могут давать погрешность или вовсе искажать результаты если поверхность тела имеет глянцевую поверхность, из-за которой ультразвуковая волна будет отражаться не точно. С помощью прерывания INT0 по фронту мы сбрасываем внутренний таймер, а по приходу среза прерывание INT1 измеряет длительность полученного сигнала. Для того, чтобы из длительности полученного сигнала получить расстояние в см. необходимо разделить полученное значение на 58. В результате этого получается расстояние, которое может состоять из 1-3 цифр так как измеряемый диапазон датчика: от 2 до 500см. Затем происходит разделение каждой цифры в разряде десятых и сотых и заполнение этими цифрами массива десятичных цифр, который будет в дальнейшем использован для вывода на семисегментный индикатор.

В бесконечном цикле программы организована динамическая индикация для вывода ранее сформированного массива десятичных цифр на семисегментный индикатор.

Работа по программе процессора происходит под управлением внутренних часов МК – тактового генератора, от него же берутся импульсы для тактирования таймера T1. Импульсы тактового генератора микроконтроллера (частотой 8 МГц) делятся делителем таймера на 8, таким образом получаются импульсы эталонной частоты 1 МГц.

В данном проекте с целью упрощения будем считать, что на разрабатываемое устройство через разъём подается внешнее напряжение питания величиной 5 В.

#### Литература

1. Абраменкова, И. В. Применение языка Си для программирования микроконтроллеров семейства AVR в устройствах промышленной электроники. Учебное пособие по курсу «Основы микропроцессорной техники» / И. В. Абраменкова, Н. С. Семченков, Ю. В. Троицкий. – Смоленск : Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Смоленске, 2007. – 84 с.
2. Амелина М. А. Оформление курсовых и дипломных работ : методические указания для студентов специальности «Промышленная электроника» / М. А. Амелина, С. А. Амелин, Ю. В. Троицкий. – Смоленск : ГОУВПО СФМЭИ(ТУ), 2013. – 82 с.
3. 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 2. – Смоленск : РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2015. – 108 с.
4. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 5-е изд., стер. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 560 с.
5. EasyAVR5A user manual. MikroElektronika. Software and hardware solution for embedded world. V100. URL: <https://www.mikroe.com/easyavr5a> (дата обращения 11.10.2020).

*А.А. Лысенков, маг.; Н.А. Пикулев, маг.; И.В. Якименко, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА

### Метод измерения расстояния до объекта

Сам по себе метод достаточно прост в использовании и соответственно в написании программного кода. Его можно реализовать с помощью прерываний по фронту и срезу, первое прерывание означает начало движения ультразвуковой волны, а второе прерывание по срезу означает обратный приход ультразвуковой волны на датчик. Следовательно, как только срабатывает первое прерывание нам необходимо запустить наш таймер, предварительно его обнулив, и как только срабатывает второе прерывание, нам необходимо сохранить полученное значение в другую переменную с которой будет происходить дальнейшая обработка, а значения таймера будут опять обнуляться для получения новых данных. После сохранения данных в новую переменную, она будет преобразовываться в нужную для пользователя величину, а именно расстояние до объекта. Все мы знаем из курса физики за 7 класс, что скорость находится путем вычисления отношения между участком пути, который был пройденным телом за определенный промежуток времени к этому самому промежутку времени. Таким образом отсюда мы можем выразить формулу для

вычисления пройденного участка пути, при этом нужно не забыть поделить полученный путь на два, так как ультразвуковая волна двигалась в прямом и обратном направлении, а значит ей был пройден путь в два раза больший чем расстояние до тела в действительности. И так, вернемся к прерываниям, с помощью которых фиксируется промежуток времени активного состояния импульса ЕСНО и после чего полученное время преобразуется в расстояние, полученное расстояние нам уже будет необходимо вывести на семисегментном индикаторе.

### Управление динамической индикацией

Для получения частоты развёртки изображения на семисегментном индикаторе  $f_{разв} = 100 \text{ Гц}$  ( $f_{разв} > 50 \text{ Гц}$ ) требуется задать время между переключениями отдельных индикаторов

$$T_{зн} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{f_{разв}} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{100} = 2,5 \text{ мс.}$$

В рамках данной статьи, динамическую индикацию необходимо организовать программно, поэтому для задания  $T_{зн} = 2,5 \text{ мс}$  будем использовать функцию `delay_us(2500)` из библиотеки `delay.h`. Данная функция осуществляет задержку на указанное время в *мкс*.

В бесконечном цикле программы организуется индикация текущего разряда числа на семисегментном индикаторе. Сначала выбирается индицируемое знакоместо путём включения соответствующего катодного ключа (запись логической единицы в соответствующий разряд младшей тетрады порта В). Затем из массива знакогенератора выбирается и выводится в порт С код графики цифры на данном знакоместе. Далее происходит проверка пройденного количества знакомест  $N$  на условие  $N > 3$ , при выполнении которого (цикл развёртки по знакоместам закончен), номеру знакоместа присваивается нулевое значение, то есть индикация вновь начнётся со старшего разряда.

### Блок-схема алгоритма

Блок-схема алгоритма будет иметь вид, изображённый на (рис. 1-3).

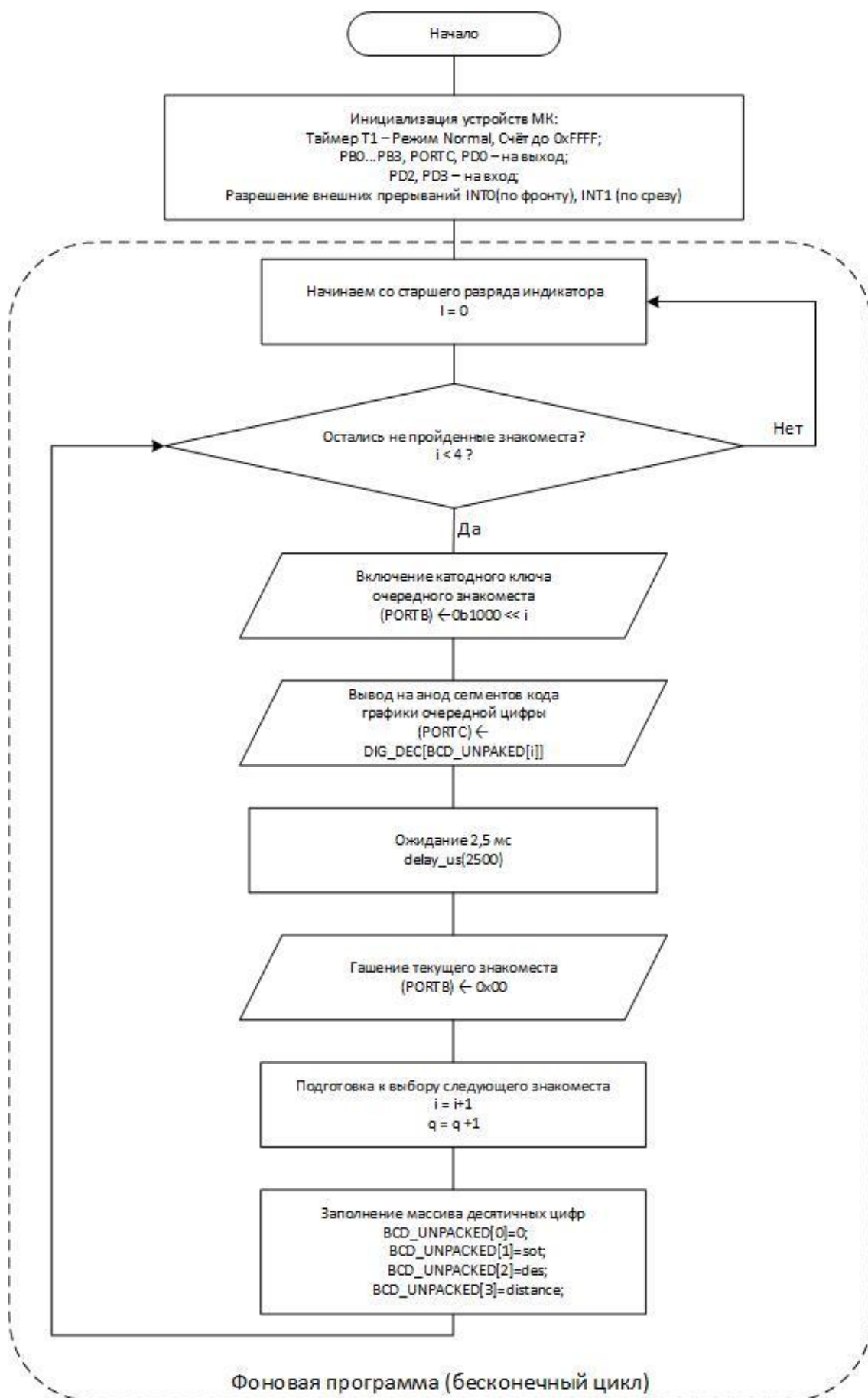


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма измерения расстояния до объекта

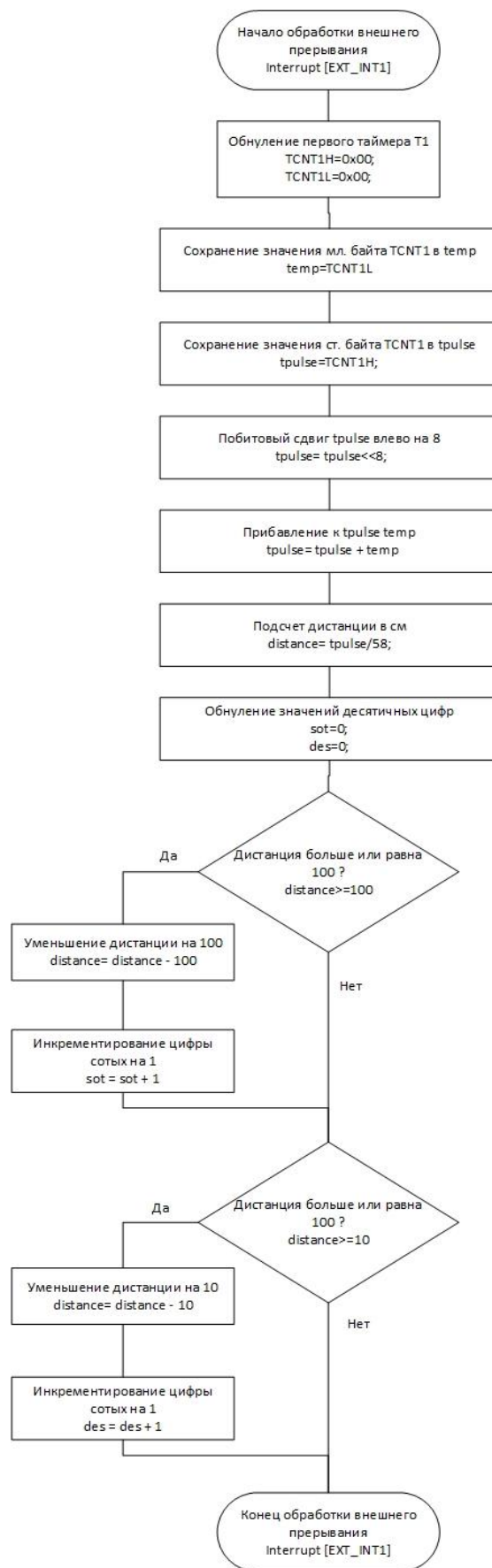


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма измерения расстояния до объекта



Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма измерения расстояния до объекта

Основное время будет выполняться фоновая программа (вывод массива десятичных цифр, который был получен путём преобразования измеренного расстояния, на семисегментный индикатор в режиме динамической (мультиплексной) индикации). Этот бесконечный цикл будет периодически прерываться обработчиком внешних прерываний INT0 и INT1 для фиксации импульса от датчика, подсчета его длительности и расстояния до объекта.

#### Литература

1. Абраменкова, И. В. Применение языка Си для программирования микроконтроллеров семейства AVR в устройствах промышленной электроники. Учебное пособие по курсу «Основы микропроцессорной техники» / И. В. Абраменкова, Н. С. Семченков, Ю. В. Троицкий. – Смоленск : Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Смоленске, 2007. – 84 с.
2. Амелина М. А. Оформление курсовых и дипломных работ : методические указания для студентов специальности «Промышленная электроника» / М. А. Амелина, С. А. Амелин, Ю. В. Троицкий. – Смоленск : ГОУВПО СФМЭИ(ТУ), 2013. – 82 с.
3. 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 2. – Смоленск : РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2015. – 108 с.
4. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 5-е изд., стер. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 560 с.
5. EasyAVR5A user manual. MikroElektronika. Software and hardware solution for embedded world. V100. URL: <https://www.mikroe.com/easyavr5a> (дата обращения 11.10.2020).

## **ПОЛУЧЕНИЕ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА И ПОСТРОЕНИЕ АМПЛИТУДА-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Каждый кто занимается радиоэлектроникой или просто учиться в техническом вузе рано или поздно сталкивается с необходимостью расчёта цифрового фильтра. В этом начинающему инженеру могут помочь специально разработанные приложения, которые на текущий момент, уже фактически полностью могут автоматизировать эту не простую и крайне востребованную задачу во многих сферах электроники.

В статье будет рассмотрен пример расчёта частотной характеристики (ЧХ), в качестве параметров будут использоваться такие же самые исходные данные, какие используются при расчете фильтра на предприятиях.

Импульсная характеристика (ИХ) и ПФ ЦФ связаны z-преобразованием:

$$H(z) = Z\{h(nT)\}; \quad h(nT) = Z^{-1}\{H(z)\}.$$

Тогда

$$h_1(nT) = Z^{-1}\{H_1(z)\}; \quad h_2(nT) = Z^{-1}\{H_2(z)\}.$$

Полученные ИХ:

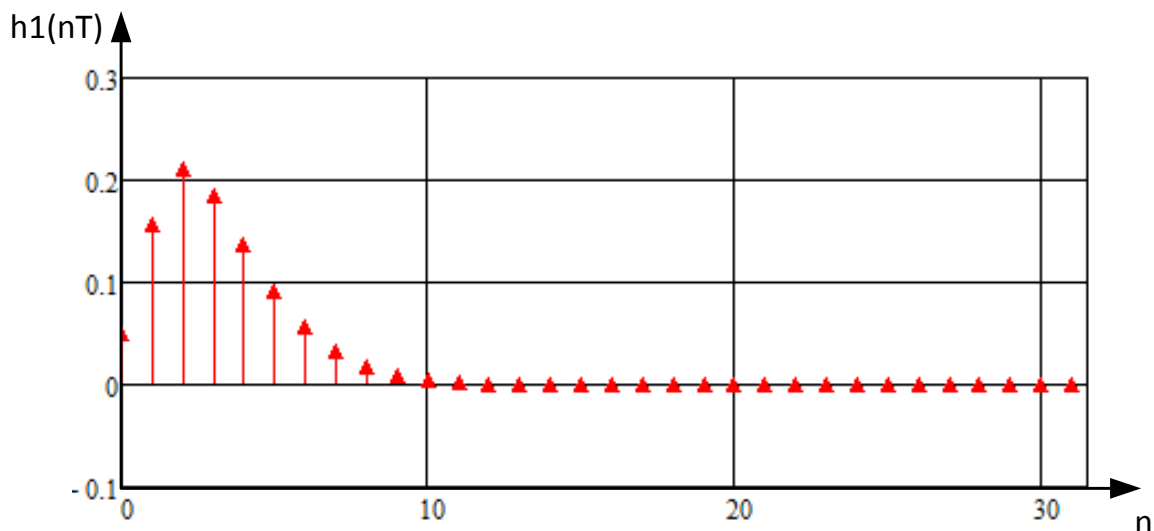


Рисунок 1 — ИХ первого каскада ЦФ

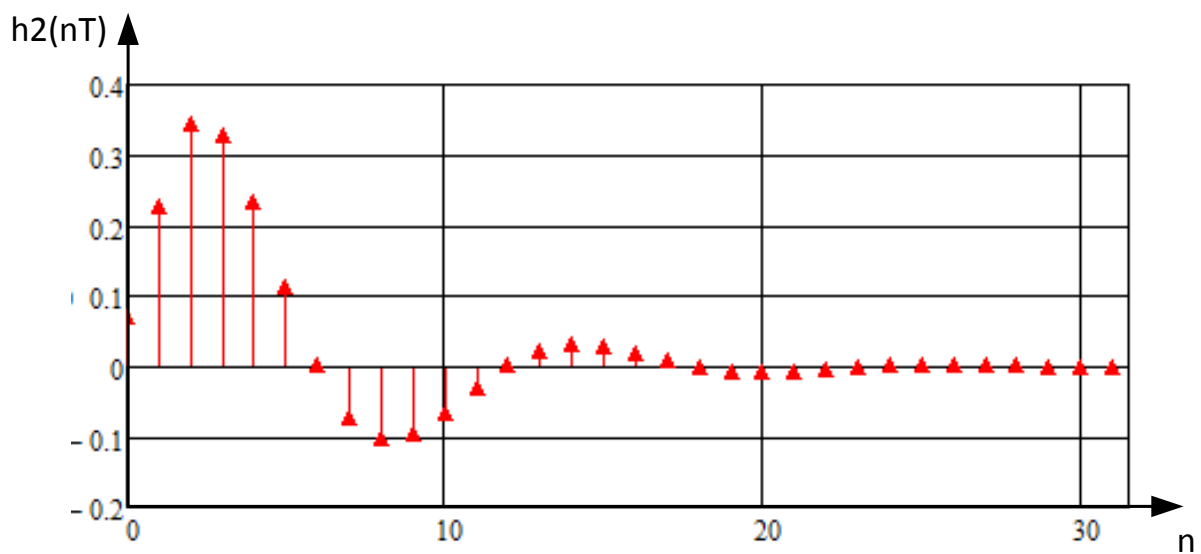


Рисунок 2 — ИХ второго каскада ЦФ

Частотная характеристика (ЧХ) и ИХ ЦФ связаны преобразованием Фурье:

$$H(j\omega) = F\{h(nT)\}; \quad h(nT) = F^{-1}\{H(j\omega)\}.$$

Тогда

$$H_1(j\omega) = F\{h_1(nT)\}; \quad H_2(j\omega) = F\{h_2(nT)\}.$$

Полученные ЧХ:

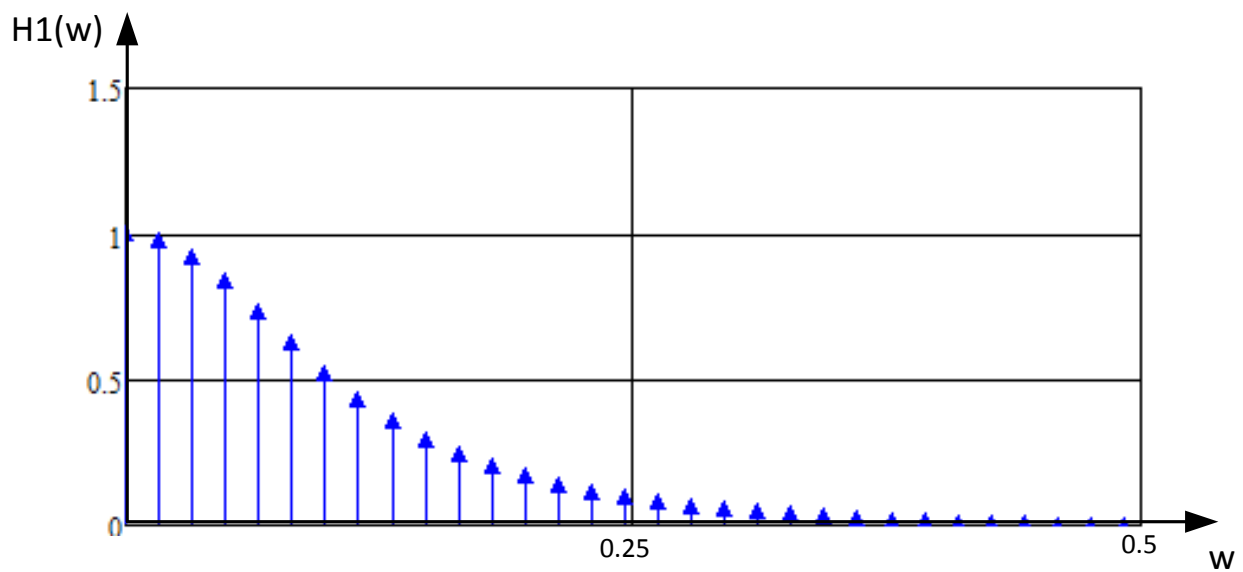


Рисунок 3 — ЧХ первого каскада ЦФ



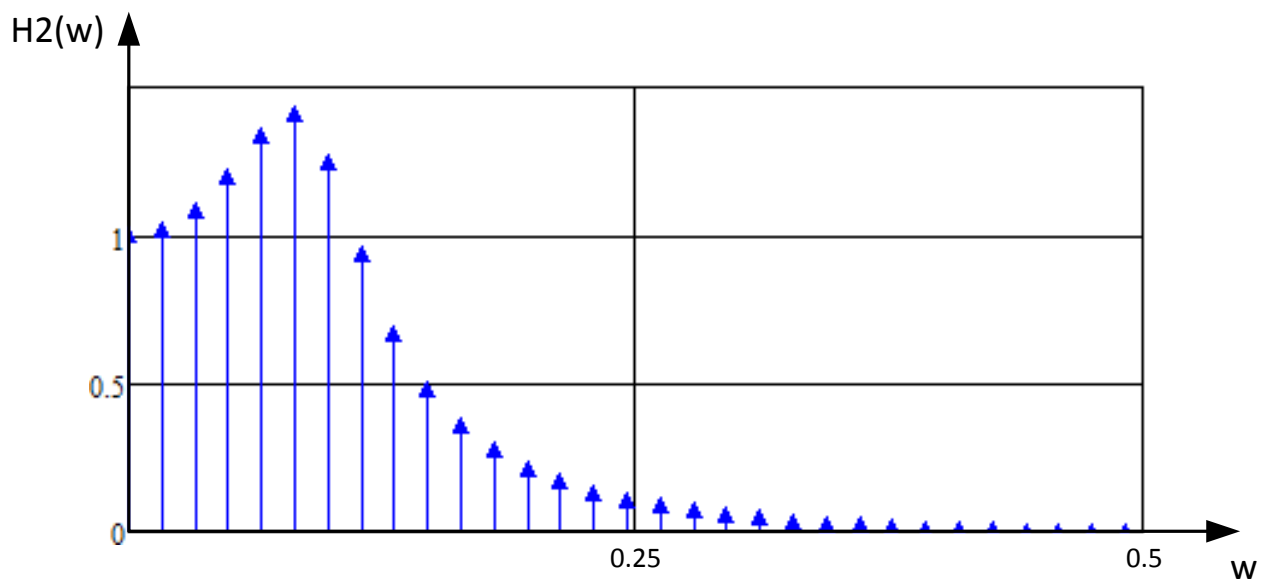


Рисунок 4 — ЧХ второго каскада ЦФ

ИХ и ЧХ для ЦФ:

$$h(nT) = Z^{-1}\{H(z)\}; \quad H(jw) = F\{h(nT)\}.$$

Полученные ИХ и ЧХ для ЦФ:

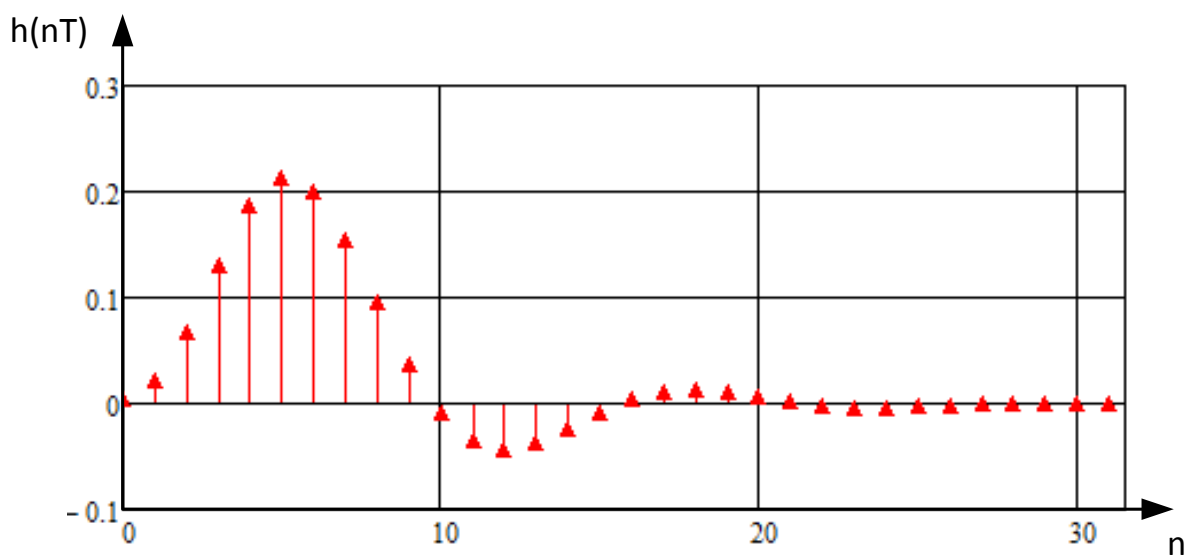


Рисунок 5 — Импульсная характеристика ЦФ

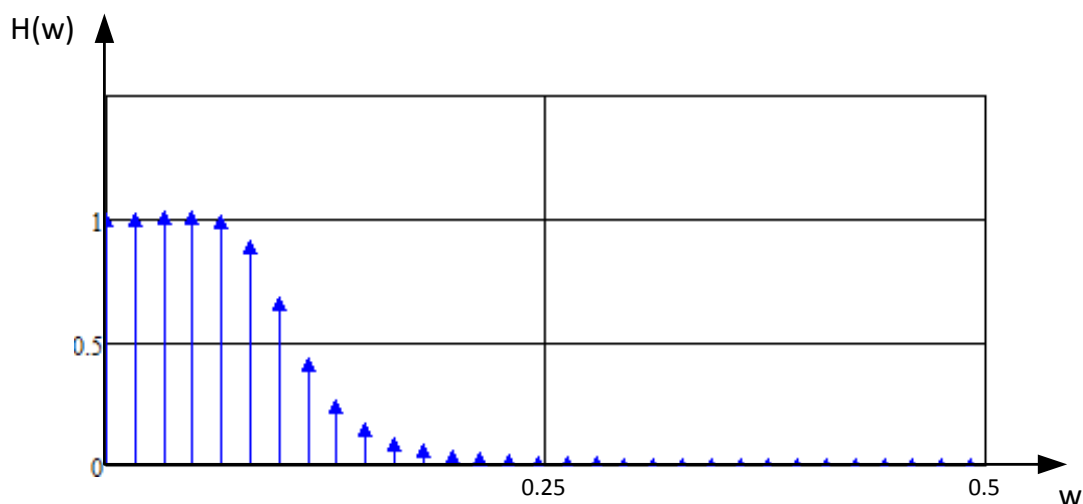


Рисунок 6 — Частотная характеристика ЦФ

Теперь необходимо выполнить проверку соответствия параметров АЧХ рассчитанного ФНЧ Баттерворта требованиям задания в рамках данной статьи. Значения АЧХ фильтра на границах интервалов пропускания и задерживания равны:

$$H\left(\frac{\Omega_p T_d}{2\pi}\right) = H(0,082) = 0,886 > 0,8;$$

$$H\left(\frac{\Omega_z T_d}{2\pi}\right) = H(0,173) = 0,088 < 0,1.$$

Таким образом, АЧХ ЦФ удовлетворяет требованиям задания и может использоваться в дальнейших этапах проектирования фильтра.

#### Литература

1. Амелина М. А. Оформление курсовых и дипломных работ : методические указания для студентов специальности «Промышленная электроника» / М. А. Амелина, С. А. Амелин, Ю. В. Троицкий. – Смоленск : ГОУВПО СФМЭИ(ТУ), 2013. – 82 с.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – 10-е изд. – М. : Гардарики, 2002. – 638 с. : ил.
3. Вадутов О. С. Математические основы обработки сигналов : учеб. пособие / О. С. Вадутов. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 212 с.
4. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебник / А. Б. Сергиенко. – СПб. : Питер, 2002. – 608 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА НИЖНИХ И ВЕРХНИХ ЧАСТОТ

**Аннотация.** В статье было произведено исследование фильтрующих свойств цифрового фильтра нижних и верхних частот.

**Abstract.** In the article, the filtering properties of the digital low- and high-pass filter were investigated.

**Ключевые слова:** коэффициент, цифровой фильтр, амплитуда-частотная характеристика.  
**Keywords:** coefficient, digital filter, amplitude-frequency response.

Входной сигнал  $x(nT)$  для исследования фильтрующих свойств ЦФ представляет собой прямоугольный импульс. Пусть его амплитуда составляет 1, а длительность 10 отсчётов:

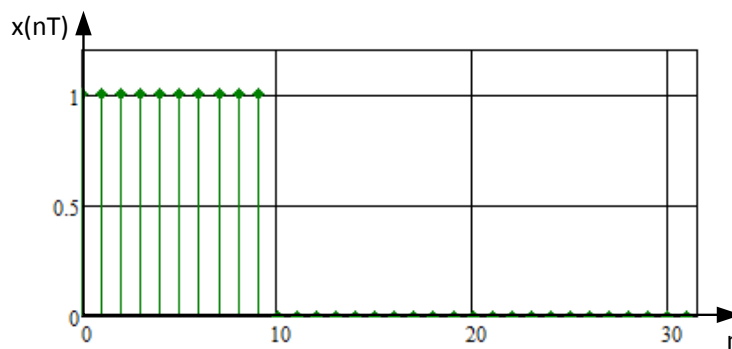


Рисунок 1 — Входной сигнал  $x(nT)$

Тогда выходной сигнал  $y(nT)$  представляет собой дискретную свёртку входного сигнала  $x(nT)$  и импульсной характеристики ЦФ  $h(nT)$ :

$$y_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k h_{n-k} = x_k * h_n.$$

Полученный выходной сигнал  $y(nT)$ :

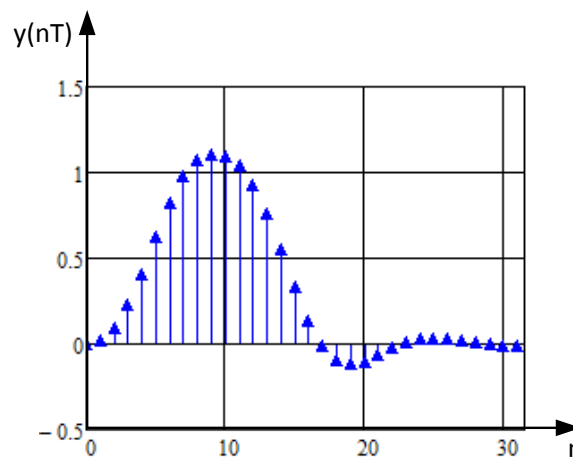


Рисунок 2 — Выходной сигнал  $y(nT)$

Максимальное значение выходного сигнала  $y(nT)$  наблюдается при  $n = 9$  и равно  $y(9T) = 1,109$ . Тогда групповое время задержки

$$\tau = nT = (9 - 5) \cdot 0,0005 = 0,002 \text{ с.}$$

Оценка группового времени задержки по ФЧХ:

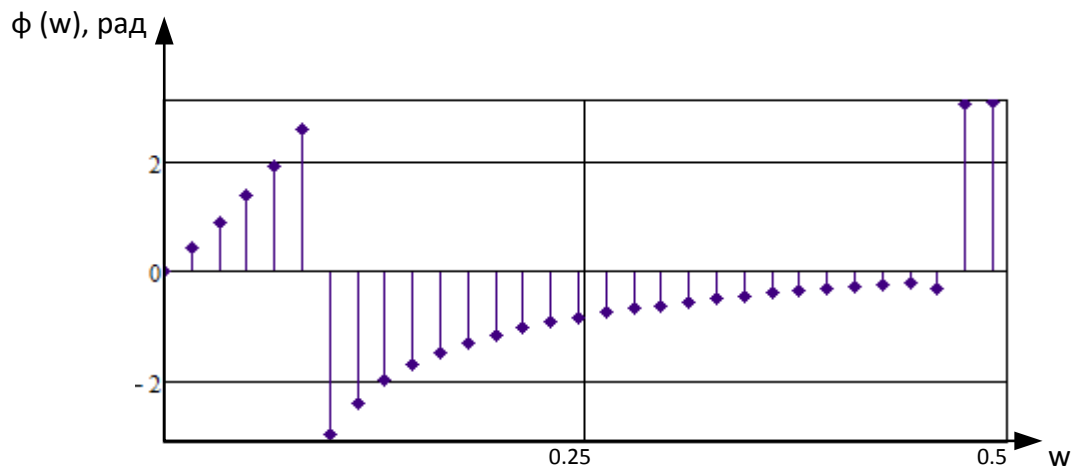


Рисунок 3 — Фазо-частотная характеристика ЦФ

Групповое время задержки

$$\tau(w) = \frac{d\varphi(w)}{dw};$$

$$\tau_{\text{ср}} = 0,002 \text{ с.}$$

Входной сигнал  $x(nT)$  для исследования фильтрующих свойств ЦФ представляет собой прямоугольный импульс. Пусть его амплитуда составляет 1, а длительность 10 отсчётов:

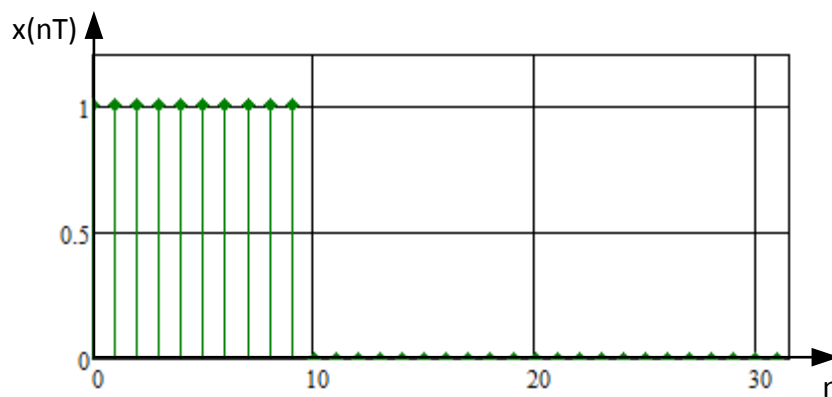


Рисунок 4 — Входной сигнал  $x(nT)$

Тогда выходной сигнал  $y(nT)$  представляет собой дискретную свёртку входного сигнала  $x(nT)$  и импульсной характеристики ЦФ  $h(nT)$ :

$$y_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k h_{n-k} = x_k * h_n.$$

Полученный выходной сигнал  $y(nT)$ :

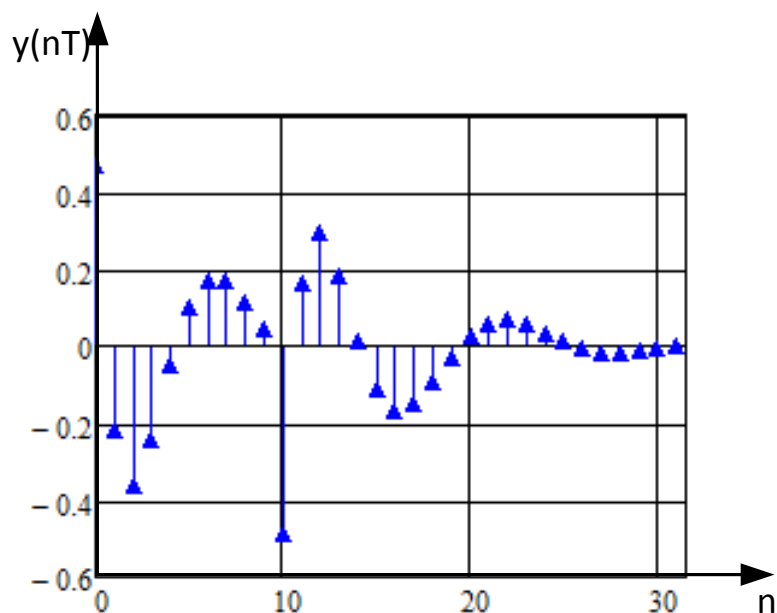


Рисунок 5 — Выходной сигнал  $y(nT)$

Оценка группового времени задержки по ФЧХ:

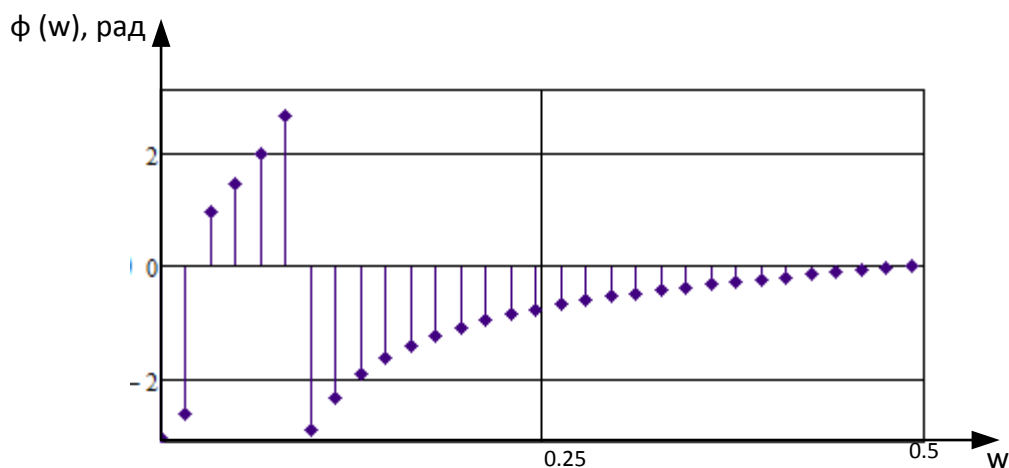


Рисунок 6 — Фазо-частотная характеристика ЦФ

Групповое время задержки

$$\tau(w) = -\frac{d\varphi(w)}{dw};$$

$$\tau_{\text{ср}} = 0,0027 \text{ с.}$$

#### Литература

1. Амелина М. А. Оформление курсовых и дипломных работ : методические указания для студентов специальности «Промышленная электроника» / М. А. Амелина, С. А. Амелин, Ю. В. Троицкий. – Смоленск : ГОУВПО СФМЭИ(ТУ), 2013. – 82 с.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – 10-е изд. – М. : Гардарики, 2002. – 638 с. : ил.
3. Вадутов О. С. Математические основы обработки сигналов : учеб. пособие / О. С. Вадутов. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 212 с.
4. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебник / А. Б. Сергиенко. – СПб. : Питер, 2002. – 608 с.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА**

Процесс разработки новых электронных устройств подразумевает под собой использование различных видов микроконтроллеров, ведь, без их использования уже невозможно представить не одно из устройств, к тому же разве можно назвать устройство новым, если в нем не будут использоваться новые технологии? Раньше инженеру разработчику для создания любых устройств приходилось проектировать схему с огромным количеством микросхем, каждая из которых предназначалась для определенных функций, помимо этого необходимо было использовать однотипную электронную базу, что существенно снижало вариативность и сковывало разработчика. На текущий момент существует множество микроконтроллеров с разной производительностью, чтобы каждый инженер мог выбрать подходящий из них под свои задачи и цели проекта. Благодаря микроконтроллерам инженеру необходимо правильно запрограммировать используемый микроконтроллер и добавить необходимые периферийные устройства.

В мире существует множество производителей микроконтроллеров при этом у каждого из производителей есть свои линейки с различными типами интерфейсов, диапазонами работы и т.д. Для разбития микроконтроллеров на группы используется строгая система.

Для поставленных задач на данную статью будет достаточно микроконтроллера ATMEGA16 семейства AVR от компании Atmel. Микроконтроллеры из этого семейства легкодоступны для каждого программиста, так как их можно купить фактически в любом магазине электроники, так же их ценник достаточно скромный, однако данное семейство микроконтроллеров имеет большое разнообразие в возможностях подключаемой периферии, также микроконтроллеры обладают достаточно большой системой команд. Ну и что является одним из наиболее важных, данный производитель выпускает бесплатные версии компиляторов СИ. В статье будет использоваться достаточно простой в освоении и удобный в использовании компилятор CodeVisionAVR.

После написания программы необходимо проверить, работоспособна ли она. Для этого удобнее всего использовать программу схемотехнического моделирования Proteus VSM, разработанную компанией Labcenter Electronics.

Для проверки работоспособности в «железе» будет использоваться плата EasyAVR5A. Она лучше всего подходит для тестирования измерительных устройств и программ, управляющих ими.

Одним из вариантов построения измерителя расстояния до объекта на основе МК ATmega16 является применение ультразвукового дальномера HC-SR04.

Данный модуль достаточно прост, его работа основана на принципах эхолокации. Устройство посылает сигнал вперед, который распространяется под определенным углом до тех пор, пока не встретит препятствие, после встречи с которым, сигнал отражается и начинает движение в обратном направлении, как только он приходит обратно к устройству, датчик его улавливает и фиксирует промежуток времени. Далее зная время и скорость движения ультразвуковой волны в воздухе не составляет труда рассчитать расстояние, пройденное телом, однако такие датчики могут давать погрешность или вовсе исказить результаты если поверхность тела имеет глянцевую поверхность, из-за которой ультразвуковая волна будет отражаться не точно. Для подключения модуля используются контакты, предназначенные для питания 3,3 вольта и земля, также есть сигнальные контакты, для отправки сигнала о начале работы и приёма сигнала о её завершении. Принцип работы устройства достаточно простой. Для начала необходимо подать высокий сигнал длительностью не менее 10 микросекунд на принимающий вход, после чего датчик установит на выходном пине высокий уровень, что будет означать, что модуль измерителя расстояния отправил волну и ждет ее приёма, как только ультразвуковая волна придет обратно на выходном пине будет установлен низкий уровень, следовательно, микроконтроллеру необходимо замерить промежуток времени, когда входной пин был в высоком уровне. Зная продолжительность высокого сигнала на пине Echo можем вычислить расстояние, умножив время, которое потратил звуковой импульс, прежде чем вернулся к модулю, на скорость распространения звука в воздухе (340 м/с).

Чтобы разрабатываемое устройство могло взаимодействовать с пользователем, нам необходимо каким-либо образом вывести полученные результаты, для этого будет использоваться 4-хразрядный семисегментный индикатор с общим катодом, но чтобы все данные отображались правильно и успевали обновляться необходимо будет реализовать динамическую индексацию во время написания кода на микроконтроллере. Следовательно, дополнительно необходимо будет использовать транзисторные катодные ключи для выбора знакоместа, а также периодически программно организовывать смену индицируемых знакомест.

### **Структурная схема**

Исходя из сказанного выше структурная схема будет иметь вид, представленный на (рис. 1).

Понадобится микроконтроллер, имеющий в своём составе следующую периферию:

- Два внешних прерывания. Необходимых для подсчета времени между фронтом и срезом импульса, который приходит с датчика;
- Порты параллельного ввода-вывода с разрядностью 12 (8 для управления анодами сегментов семисегментного индикатора, 4 – для выбора индицируемого знакоместа с помощью катодных ключей).

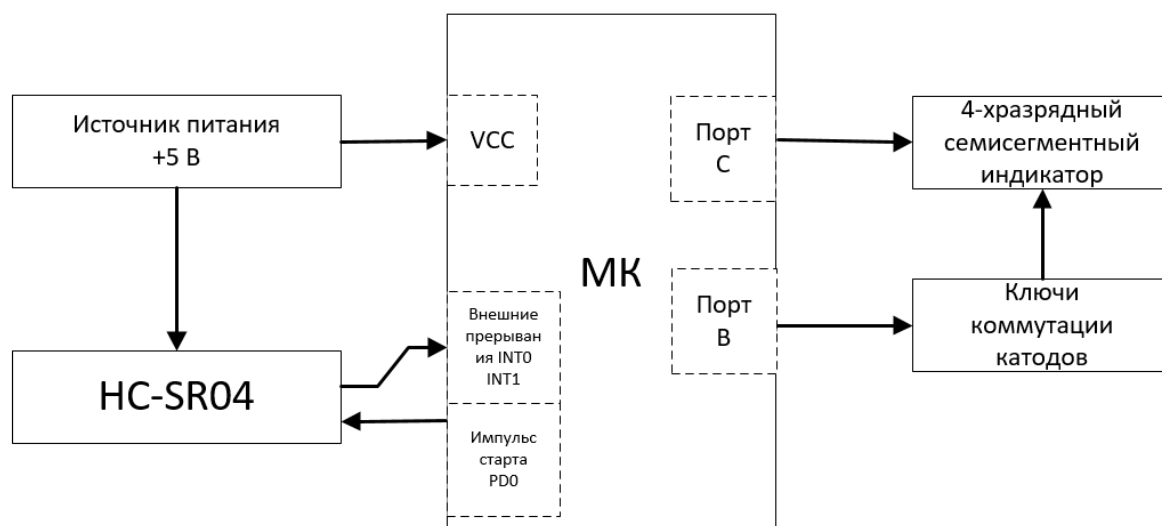


Рисунок 1 – Структурная схема измерителя расстояния до объекта

Для питания составных частей устройства необходим источник питания или внешнее кондиционированное напряжение питания. Напряжением 5 В будет запитываться микроконтроллер.

#### Литература

6. Абраменкова, И. В. Применение языка Си для программирования микроконтроллеров семейства AVR в устройствах промышленной электроники. Учебное пособие по курсу «Основы микропроцессорной техники» / И. В. Абраменкова, Н. С. Семченков, Ю. В. Троицкий. – Смоленск : Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Смоленске, 2007. – 84 с.
7. Амелина М. А. Оформление курсовых и дипломных работ : методические указания для студентов специальности «Промышленная электроника» / М. А. Амелина, С. А. Амелин, Ю. В. Троицкий. – Смоленск : ГОУВПО СФМЭИ(ТУ), 2013. – 82 с.
8. 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 2. – Смоленск : РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2015. – 108 с.
9. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 5-е изд., стер. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 560 с.
10. EasyAVR5A user manual. MikroElectronika. Software and hardware solution for embedded world. V100. URL: <https://www.mikroe.com/easyavr5a> (дата обращения 11.10.2020).

*А.А. Лысенков, маг.; И.В. Якименко, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **АППРОКСИМАЦИЯ АМПЛИТУДА-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА**

В написанной ниже статье необходимые стартовые параметры для проведения расчета фильтров были взяты величины смежных частот и промежуточных интервалов отклонения АЧХ от эталонных значений в полосе пропускания и полосе затухания. На (рис. 1 и рис. 2) представлены графики фильтров нижних частот и верхних частот, все необходимые, для понимания, параметры представлены на рисунках.



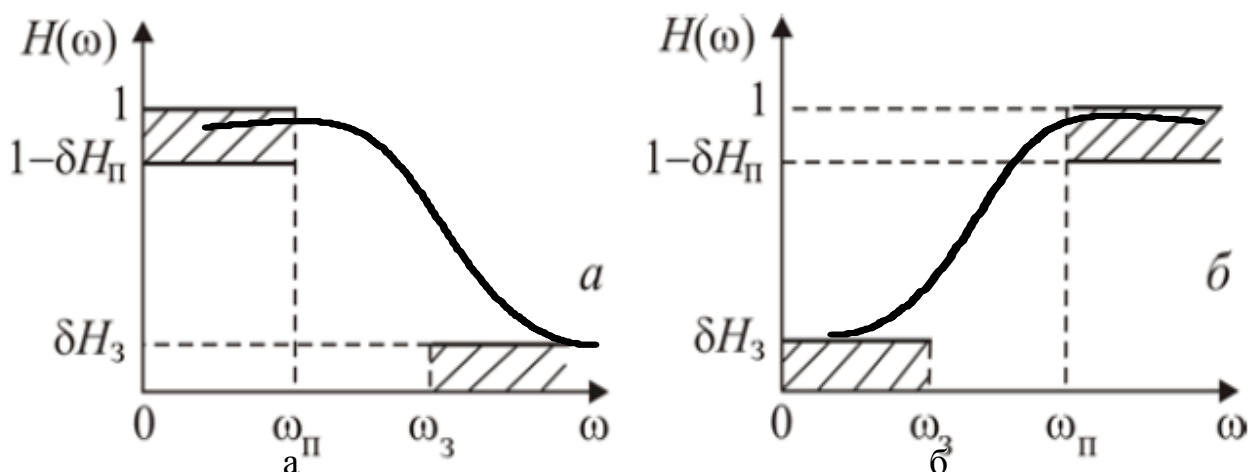


Рисунок 1 – Исходные данные для фильтра нижних частот (а) и фильтра верхних частот (б)

Цель, результатом которой стоит разработка фильтра полностью соответствующему всем требованиям, особенно с соответствующими показателями, частотной характеристики, является не простой и многошаговой задачей. В первую очередь инженеру-конструктору необходимо разобраться с аппроксимацией, для этого потребуется найти передаточную функцию  $H(s)$ , при этом амплитуда частотная характеристика фильтра должна быть приближена к заданным идеальным значениям.

Помимо выше сказанного передаточная функция обязательно должна соответствовать таким требованиям, как:

- количество «0»(нулей) и «+» (полюсов) в полученной передаточной функции не может быть бесконечным, а должно иметь конечное количество;
- количество нулей, всегда должно быть меньше чем количество полюсов;
- все полюса должны располагаться в левой полуплоскости.

Но к сожалению, добиться эталонных параметров у фильтров, соответствующих всем условиям, которые были проведены выше, в реальной жизни получить невозможно. В связи с этим при разработке аналоговых фильтров к ним предъявляются необходимые требования для частотной характеристики, по которым и узнают величину погрешностей в полученных значениях от эталонных значений.

Подводя итог, для начальных параметров при решении различных задач аппроксимации принимают граничные частоты, которые соответствуют частотам полос затухания и пропускания фильтров, помимо этого устанавливаются максимальные погрешности на неравномерности амплитуда частотной характеристики в полосе пропускания фильтра и, соответственно, максимально возможное отклонение АЧХ от нулевого значения уже в полосе затухания.

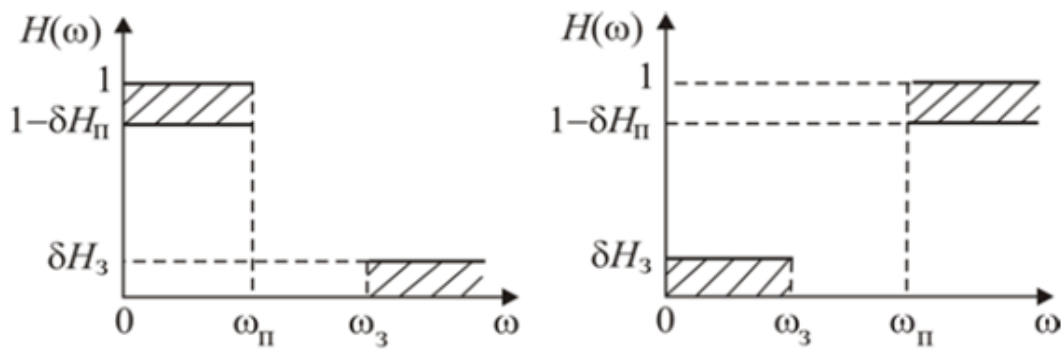


Рисунок 2 — Исходные требования к амплитудно-частотной характеристике фильтров:  
а – ФНЧ, б – ФВЧ

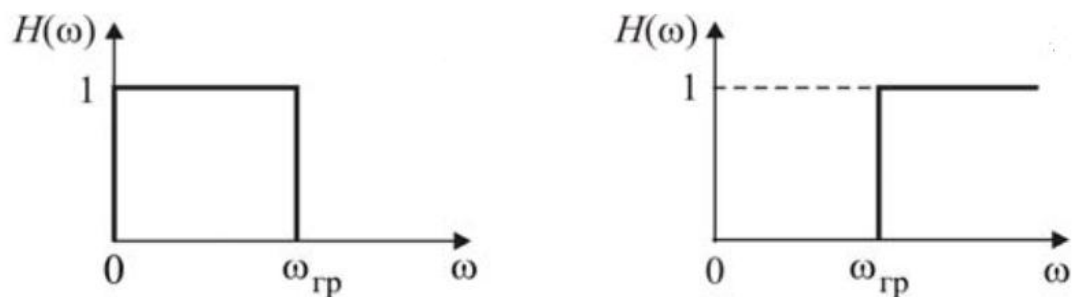


Рисунок 3 — Идеальные амплитудно-частотные характеристики фильтров:  
а – ФНЧ, б – ФВЧ

Определение неравномерности передачи в ПП  $R_{max}$  и минимальное затухание в ПЗ  $R_{min}$ :

$$R_{max} = 20 \lg \frac{1}{1 - \delta H_p} = 20 \lg \frac{1}{1 - 0,2} = 1,938 \text{ дБ};$$

$$R_{min} = 20 \lg \frac{1}{\delta H_z} = 20 \lg \frac{1}{0,1} = 20 \text{ дБ}.$$

Определение порядка  $n$  АФ:

$$n = \frac{\lg \frac{10^{0,1R_{max}} - 1}{10^{0,1R_{min}} - 1}}{2 \lg \frac{\Omega_z}{\Omega_p}} = \frac{\lg \frac{10^{0,1 \cdot 20} - 1}{10^{0,1 \cdot 1,938} - 1}}{2 \lg \frac{2164}{1038}} = 3,52.$$

Обратим внимание, что порядок фильтра может быть только конечным целым числом, поэтому округлим полученное значение в большую сторону  $n=4$ .

Для определения  $\Omega_c$  АФ Баттерворта необходимо решить два неравенства при  $n=4$ :

$$\frac{1}{1 + \left(\frac{\Omega_p}{\Omega_c}\right)^{2n}} \geq (1 - \delta H_p)^2; \quad \frac{1}{1 + \left(\frac{\Omega_z}{\Omega_c}\right)^{2n}} \geq \delta H_z^2;$$

$$\frac{1}{1 + \left(\frac{1038}{\Omega_c}\right)^8} \geq 0,8^2; \quad \frac{1}{1 + \left(\frac{2164}{\Omega_c}\right)^8} \geq 0,1^2.$$

Заменив здесь знаки неравенств на равенства, будут получены два нелинейных уравнения:

$$\frac{1}{1 + \left(\frac{1038}{\Omega_c}\right)^8} = 0,8^2; \quad \frac{1}{1 + \left(\frac{2164}{\Omega_c}\right)^8} = 0,1^2.$$

Решив данные уравнения, получим значения  $\Omega_{c1} = 1115 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  и  $\Omega_{c2} = 1218 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ . Следовательно, при значениях  $\Omega_c$ , лежащих в пределах от 1107 до 1227 рад/с, выполняются требования к АЧХ. Получим  $\Omega_c = \frac{\Omega_{c1} + \Omega_{c2}}{2} = \frac{1115 + 1218}{2} = 1167 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ .

#### Литература

1. Амелина М. А. Оформление курсовых и дипломных работ : методические указания для студентов специальности «Промышленная электроника» / М. А. Амелина, С. А. Амелин, Ю. В. Троицкий. – Смоленск : ГОУВПО СФМЭИ(ТУ), 2013. – 82 с.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – 10-е изд. – М. : Гардарики, 2002. – 638 с. : ил.
3. Вадутов О. С. Математические основы обработки сигналов : учеб. пособие / О. С. Вадутов. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 212 с.

*А.А. Лысенков, маг.; И.В. Якименко, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПФ ЦФ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ БИЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО УСТОЙЧИВОСТИ

Полосовой фильтр нормированного фильтра нижних частот Баттерворта при  $n = 4$  имеет вид:

$$H_H(s) = \frac{1}{(s^2 + 0,765s + 1)(s^2 + 1,848s + 1)}.$$

Для дальнейшего расчета, необходимо произвести денормирование, в результате чего будет получена передаточная функция исследуемого фильтра.

$$H(s) = H_H\left(\frac{s}{1167}\right) = \frac{1}{(7,34 \cdot 10^{-7} \cdot s^2 + 0,0016s + 1)(7,34 \cdot 10^{-7} \cdot s^2 + 0,0007s + 1)}.$$

После чего необходимо произвести все расчеты в отдельных этапах, а именно, для 1 и 2 каскада, после проведенной выше операции будут получены передаточные функции прототипов АФ.

$$H_1(s) = \frac{1}{7,34 \cdot 10^{-7} \cdot s^2 + 0,0016s + 1};$$

$$H_2(s) = \frac{1}{7,34 \cdot 10^{-7} \cdot s^2 + 0,0007s + 1}.$$

Затем воспользуемся билинейным преобразованием Фурье, в результате которого получим:

$$H(z) = H(s) \left|_{s = \frac{2}{T_d} \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}}\right.$$

Далее

$$H_1(z) = \frac{0,05z^2 + 0,1z + 0,05}{z^2 - 1,13z + 0,34};$$

$$H_2(z) = \frac{0,07z^2 + 0,13z + 0,07}{z^2 - 1,4z + 0,66}.$$

Для окончательного исследования устойчивости полученного цифрового фильтра нам потребуется рассчитать полюса передаточной функции:

$$z^2 - 1,13z + 0,34 = 0;$$

$$e_{11} = 0,56 + j0,14; \quad e_{12} = 0,56 - j0,14;$$

$$|e_{11}| = |e_{12}| = |0,56 \pm j0,14| = 0,58 < 1;$$

$$z^2 - 1,4z + 0,66 = 0;$$

$$e_{21} = 0,7 + j0,41; \quad e_{22} = 0,7 - j0,41;$$

$$|e_{21}| = |e_{22}| = |0,7 \pm j0,41| = 0,81 < 1.$$

Все полученные нами полюса находятся внутри единичного круга  $z$  – плоскости, следовательно проектируемый цифровой фильтр является устойчивым.

### Составление блок-схемы ЦФ и запись РУ

Ниже была представлена составленная блок-схема (рис. 1) для первого каскада цифрового фильтра  $H_1(z)$ :

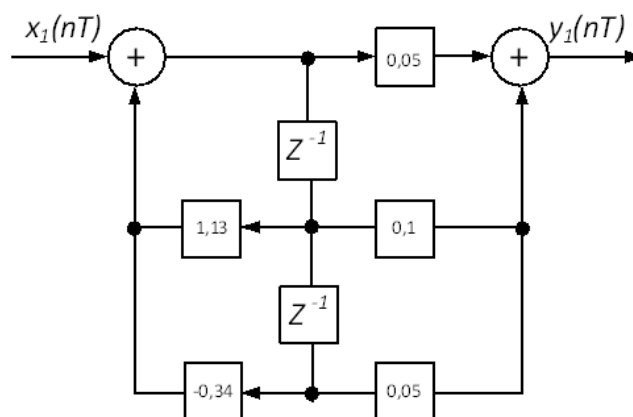


Рисунок 1 — Блок-схема для первого каскада ЦФ

Затем была составлена блок-схема для второго каскада цифрового фильтра (рис. 2)  $H_2(z)$ :

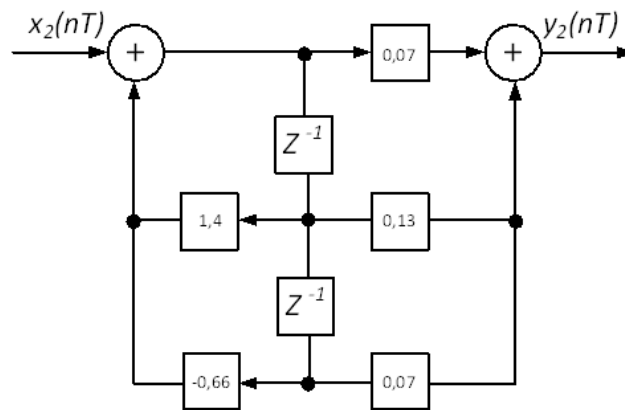


Рисунок 2 — Блок-схема для второго каскада ЦФ

Ну и на конец у нас появляется возможность соединить две выше представленные блок-схемы в одну схему цифрового фильтра:

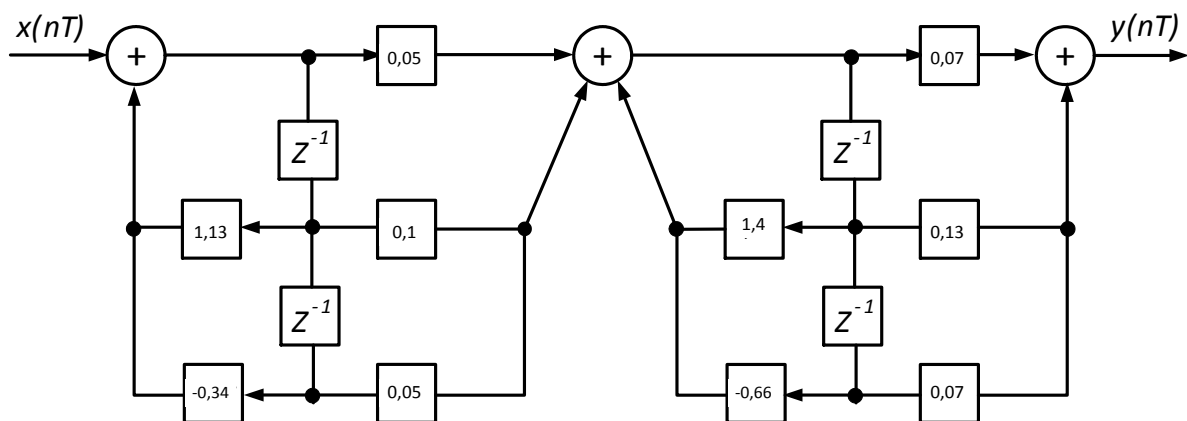


Рисунок 3 — Блок-схема ЦФ

Рассмотрим РУ, для описания алгоритма цифрового фильтра.

Общий вид РУ:

$$y(nT) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k x((n-k)T) + \sum_{m=1}^{M-1} a_m y((n-m)T).$$

РУ для первого каскада:

$$y_1(nT) = 0,05x_1(nT) + 0,1x_1((n-1)T) + 0,05x_1((n-2)T) + 1,13y_1((n-1)T) - 0,34y_1((n-2)T).$$

РУ для второго каскада:

$$y_2(nT) = 0,07x_2(nT) + 0,13x_2((n-1)T) + 0,07x_2((n-2)T) + 1,4y_2((n-1)T) - 0,66y_2((n-2)T).$$

#### Литература

1. Амелина М. А. Оформление курсовых и дипломных работ : методические указания для студентов специальности «Промышленная электроника» / М. А. Амелина, С. А. Амелин, Ю. В. Троицкий. – Смоленск : ГОУВПО СФМЭИ(ТУ), 2013. – 82 с.

2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – 10-е изд. – М. : Гардарики, 2002. – 638 с. : ил.
3. Вадутов О. С. Математические основы обработки сигналов : учеб. пособие / О. С. Вадутов. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 212 с.
4. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебник / А. Б. Сергиенко. – СПб. : Питер, 2002. – 608 с.

*А.А. Лысенков, маг.; И.В. Якименко, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## РАСЧЁТ С ПОСЛЕДУЮЩЕМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ АНАЛОГОВОГО ФИЛЬТРА ВЕРХНИХ ЧАСТОТ

1. Рассмотрим процесс выполнения расчёта аналогового фильтра верхних частот.

Первое с чего следует начать, это получение передаточной функции фильтра верхних частот, для этого произведем денормирование и трансформацию, чтобы это сделать необходимо произвести замену оператора в передаточной функции эталонного нормированного фильтра нижних частот на другой оператор.

$$H(s) = H_H\left(\frac{1109}{s}\right) = \frac{1}{\left(\frac{1109^2}{s^2} + \frac{1109}{0,765s} + 1\right)\left(\frac{1103^2}{s^2} + \frac{1109}{1,848s} + 1\right)}.$$

Проанализировав, полученную передаточную функцию, можно сделать вывод, что она имеет вид поэтапного соединения звена 2-го порядка.

Полученная передаточная функция имеет полюсы в точках с координатами:

$$s_{1,2} = -a_1 \pm jb_1 = -1024,72 \pm j424,20;$$

$$s_{3,4} = -a_2 \pm jb_2 = -424,20 \pm j1024,67.$$

Обратим внимание, что все полюсы передаточной функции находятся в левой полуплоскости, что указывает нам на устойчивость рассчитываемого фильтра.

Исходя из этого, построим принципиальную схему АФ (рис. 1):



Рисунок 2 — Принципиальная схема

Параметры схемы:

$$R_1 = R_2 = 850 \text{ Ом};$$

$$a_1 = \frac{1}{2R_1C_1}; \quad C_1 = \frac{1}{2R_1a_1} = 0,574 \text{ мкФ}; \quad L_1 = \frac{1}{\omega_c^2 C_1} = 1,417 \text{ Гн};$$

$$a_2 = \frac{1}{2R_2C_2}; \quad C_2 = \frac{1}{2R_2a_2} = 1,387 \text{ мкФ}; \quad L_2 = \frac{1}{\omega_c^2 C_2} = 0,587 \text{ Гн}.$$

$$H_1(j\omega) = \frac{\frac{j\omega L_1 R_1}{R_1 + j\omega L_1}}{\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{j\omega L_1 R_1}{R_1 + j\omega L_1}}; \quad H_2(j\omega) = \frac{\frac{j\omega L_2 R_2}{R_2 + j\omega L_2}}{\frac{1}{j\omega C_2} + \frac{j\omega L_2 R_2}{R_2 + j\omega L_2}}.$$

$$H(j\omega) = H_1(j\omega) \times H_2(j\omega).$$

Получим графики (рис. 2 – 4)  $H_1(\omega)$ ,  $H_2(\omega)$  и  $H(\omega)$ :

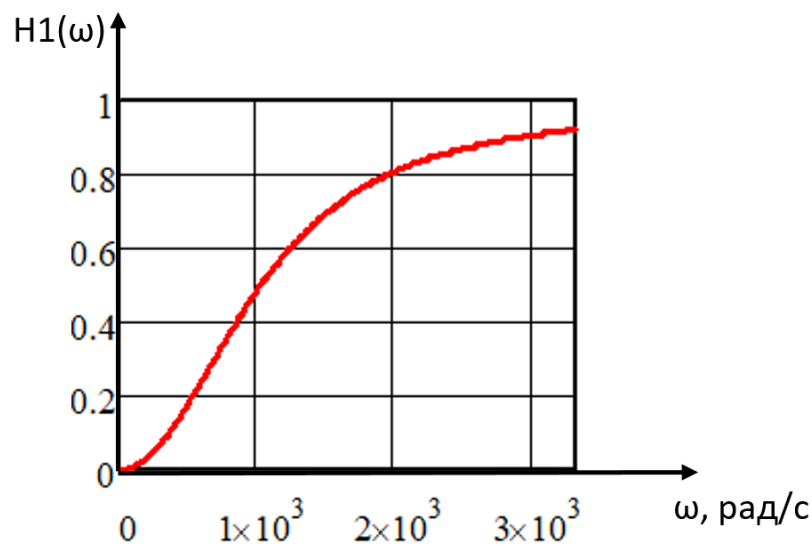


Рисунок 2 — График  $H_1(\omega)$

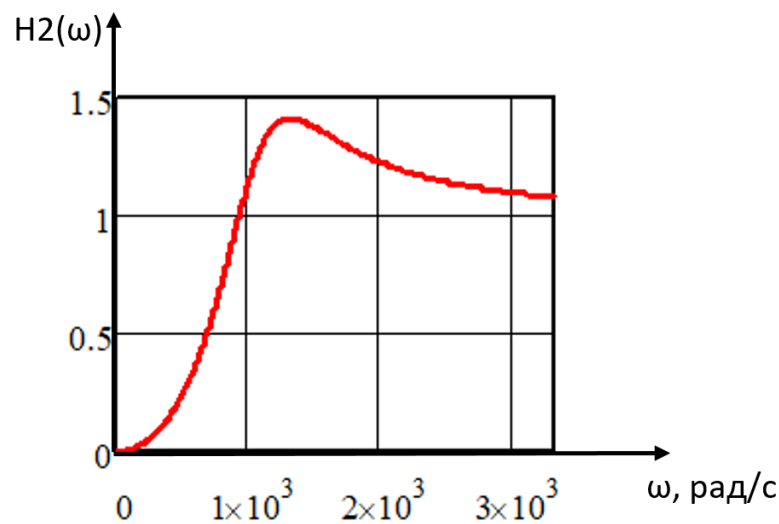


Рисунок 3 — График  $H_2(\omega)$

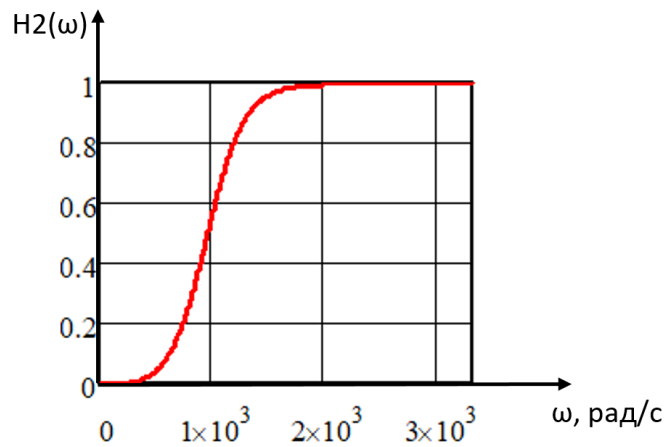


Рисунок 4 — График  $H(\omega)$

$$H(1024) = 0,589 > 0,1; \quad H(1984) = 0,996 > 0,8.$$

По итогу спроектированный фильтр с ограничениями, но удовлетворяет необходимым параметрам.

Проверим спроектированный фильтр в действии. Для этого подадим на вход фильтра одиночный прямоугольный импульс амплитудой 5 В с длительностью 10 мс на выходе фильтра сформировался сигнал (рис. 5):

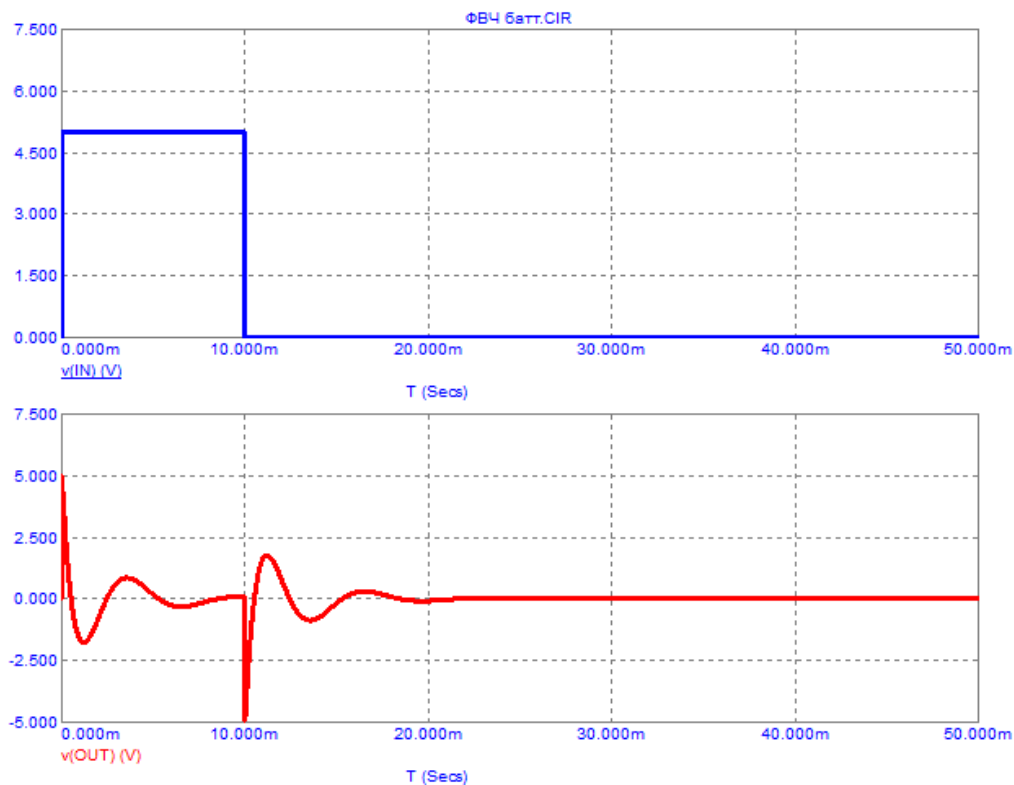


Рисунок 5 — Вид сигнала на выходе из фильтра

По полученному графику можно сделать вывод, что спроектированным фильтром были успешно подавлены низкочастотные составляющие спектра входного сигнала, которые должны отвечать за поддержание амплитуды выходного сигнала на определенном уровне. Помимо этого, в полученном



спектре выходного сигнала практически полностью отсутствуют низкочастотные составляющие.

Так же на графике можно увидеть достаточно резкое увеличение амплитуды поступающего на вход сигнала, которое появилось за счет высокочастотных составляющих, которым удалось пройти через фильтр низких частот без искажений.

#### Литература

4. Зотов В. Моделирование цифровых устройств, проектируемых на основе ПЛИС фирмы Xilinx, средствами ISIM в САПР ISE Design Suite. // КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ. – 2013. – №2. – с. 64-74.
5. Коберниченко В.Г. Основы цифровой обработки сигналов : учебное пособие / В.Г.Коберниченко. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018 – 156 с.
6. Лысенков А.А. Разработка модуля передачи данных по интерфейсу UART на базе программируемой логической интегральной схемы //ВА ВПВО ВС РФ имени маршала советского союза А.М.Василевского. – 2021. – с. 71-74
7. FPGA или микроконтроллер URL: [https://fpga-systems.ru/publ/raznoe/poznavatelnoe/fpga\\_ili\\_mikrokontroller\\_chno\\_zhe\\_vybrat/16-1-0-119](https://fpga-systems.ru/publ/raznoe/poznavatelnoe/fpga_ili_mikrokontroller_chno_zhe_vybrat/16-1-0-119) (дата обращения 07.04.2021).
8. Steven W. Smith Digital Signal Processing : The Scientist and Engineer's Guide / Steven W. Smith. – California Technical Publishing, 1999. – 688 с.

*А.А. Лысенков, маг.; И.В. Якименко, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### РАССМОТРЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ АКСЕЛЕРОМЕТРА

Каждый, кто начинает более подробно изучать электротехнику задаётся вопросом, как фирмам удаётся сделать такие маленькие и компактные акселерометры и другую микроэлектронику? Постепенно, с появлением новых знаний у начинающего инженера появляется понимание, о различных технологиях и способах проектирования устройств.

Одной из таких недавно разработанных технология является средство под названием «MEMs» (рис. 1), на основе которой делается огромное количество датчиков и другой схемотехники, в данной статье технология будет рассмотрена на примере акселерометра.

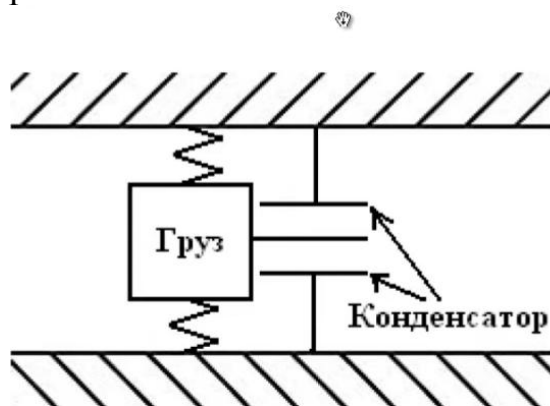


Рисунок 1 – Схема «MEMs» - МикроЭлектроМеханические системы

Первое с чего стоит начать, так это разобраться в том, что такое акселерометр и что он под собой представляет.

Акселерометр — это подвид датчиков, принцип работы которых заключается в постоянном преобразовании ускорения в электрические сигналы (рис. 2). На рисунке один представлен основной принцип работы акселерометра. В котором располагается конденсатор и между его платами помещается еще одна, которая прикреплена к грузику, в своё время, сам грузик прикреплен на пружинах к корпусу, что позволяет грузу свободно передвигаться по одной линии при приложении к нему какого-либо усилия, например наклона тела в любом направлении. Следовательно, при наклоне тела силы, которые действуют на грузик меняют своё направление в результате чего происходит перемещение грузика под действием ускорения и в следствии этого ёмкость конденсатора меняется, за счет чего можно судить об изменении скорости и появлении ускорения.

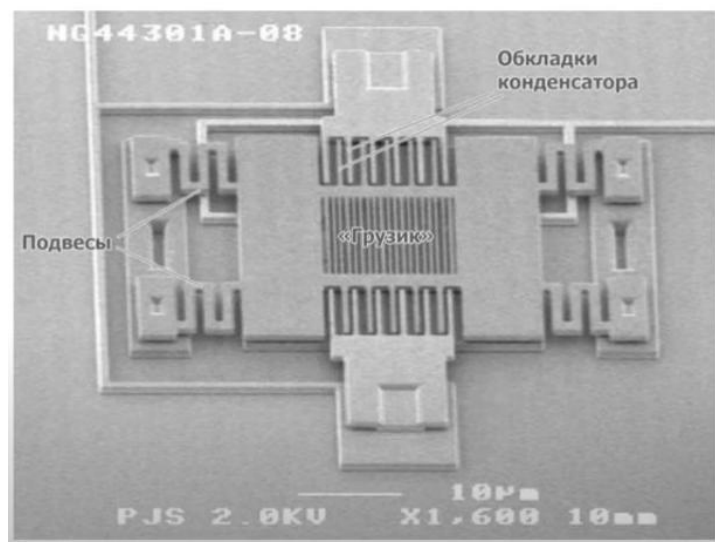


Рисунок 2 – Вид акселерометра

В мире существует множество различных акселерометров, но все из них можно разделить на три типа:

- одноосевые,
- двухосевые,
- трёхосевые.

Рассмотрим структурную схему акселерометра (рис. 3). У нас есть три оси на которых располагаются переменные конденсаторы, с которых постоянно списываются значения, после чего полученные значения поступают на усилитель и уже в усиленном виде приходят на АЦП, затем, уже цифровой сигнал проходит через логическое управление и все необходимые преобразования и поступает на интерфейсный выход, тип которого зависит конструкции устройства и от производителя, но чаще всего это I2C или SPI.

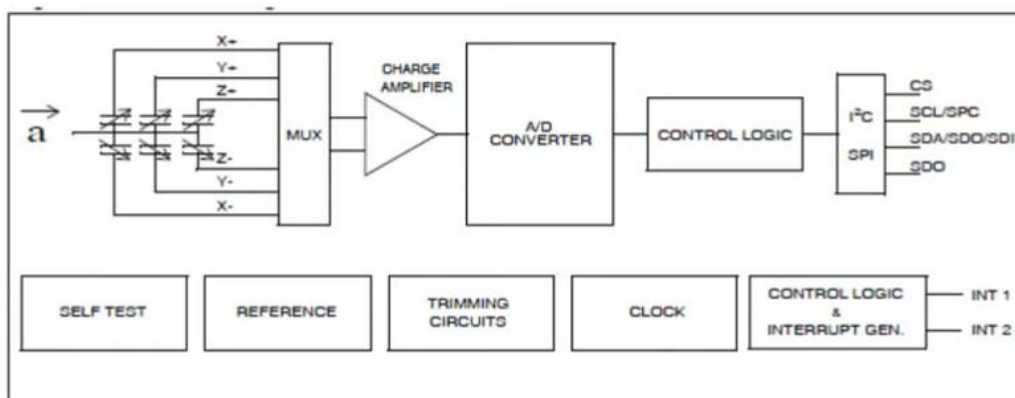


Рисунок 3 – Структурная схема акселерометра LIS302DL

Схему подключения необходимо смотреть в документации на каждую модель акселерометра. На (рис. 3) приведен пример схемы подключения, она не является верной для всех существующих акселерометров в мире, но на не можно увидеть основные входы и выходы, которые нужны большинству акселерометров.

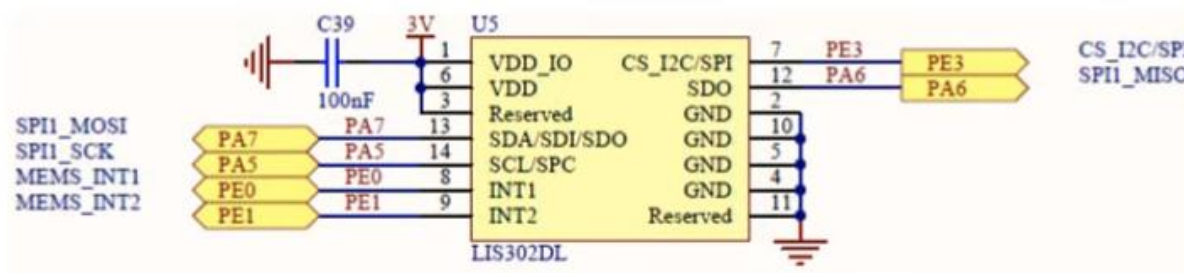


Рисунок 3 – Структурная схема подключения акселерометра LIS302DL

#### Литература

1. Проектирование прямоходового импульсного преобразователя постоянного тока. Библиофонд. URL: [https://www.bibliofond.ru/download\\_list.aspx?id=869122](https://www.bibliofond.ru/download_list.aspx?id=869122) (дата обращения 20.05.2021).
2. Однотактный прямоходовой преобразователь. Алфавит силовой электроники. URL: <https://fresh-web-studio.github.io/artemsdobnikov/math/forward.html> (дата обращения 20.05.2021).
3. Пример прямоходового преобразователя без гальванической развязки. Oz.lib. URL: [https://ozlib.com/812140/tehnika/primer\\_pryamohodovogo\\_preobrazovatelya\\_galvanicheskoy\\_razv\\_yazki](https://ozlib.com/812140/tehnika/primer_pryamohodovogo_preobrazovatelya_galvanicheskoy_razv_yazki) (дата обращения 20.05.2021).
4. Прямоходовой преобразователь. ТЕРРА электроника. URL: <https://www.terraelectronica.ru/news/6024> (дата обращения 20.05.2021).
5. IR2181 High and low side driver. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/300/DOC000300144.pdf> (дата обращения 20.05.2021).

## РАСЧЕТ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОТЛАДКОЙ И МОДЕЛИРОВАНИЕМ АНАЛОГОВОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА

Каждый кто занимается радиоэлектроникой или просто учиться в техническом вузе рано или поздно сталкивается с необходимостью расчёта аналогового фильтра. В этом начинающему инженеру могут помочь специально разработанные приложения, которые на текущий момент, уже фактически полностью могут автоматизировать эту не простую и крайне востребованную задачу во многих сферах электроники.

В статье будет рассмотрен пример расчёта полосового фильтра, в качестве параметров будут использоваться такие же самые исходные данные, какие используются при расчете фильтра нижних частот и фильтра верхних частот, но еще потребуются такие параметры как:

- циклические частоты полосы пропускания  $\omega_{p1} = 1016 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  и  $\omega_{p2} = 1984 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ;
- циклические частоты полос задержания  $\omega_{z1} = 700 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  и  $\omega_{z2} = 2500 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ .

Первое с чего нужно начать, это определить порядок исследуемого фильтра, Вы, наверное, уже знаете, что порядок фильтра должен быть целым, конечным числом.

$$n = \frac{\lg \frac{10^{0,1R_{\text{мин}}} - 1}{10^{0,1R_{\text{макс}}} - 1}}{2 \lg \frac{\omega_{z2} - \omega_{z1}}{\omega_{p2} - \omega_{p1}}} = \frac{\lg \frac{10^{0,1 \cdot 20} - 1}{10^{0,1 \cdot 1,988} - 1}}{2 \lg \frac{2400 - 600}{1996 - 1009}} = 4,168.$$

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что  $n=4$ .

После нахождения порядка фильтра, давайте найдем частота  $\omega_0$ , которую можно найти как среднее геометрическое граничных частот полосы пропускания:

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_{p1} \omega_{p2}} = \sqrt{1009 \cdot 1996} = 1420 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Чтобы получить полосовой фильтр необходимо рассчитать все значения схемы ФНЧ, после чего выполнить преобразование фильтра нижних частот в полосовой фильтр. Для этого необходимо будет произвести операцию денормирования, заменив оператор  $s$  на оператор  $\frac{s}{\omega_0}$ :

$$H(s) = H_H\left(\frac{s}{1420}\right) = \frac{1}{\left(\frac{s^2}{1420^2} + \frac{0,765s}{1420} + 1\right)\left(\frac{s^2}{1420^2} + \frac{1,848s}{1420} + 1\right)}.$$

Внимательно рассмотрев рассчитанную нами передаточную функцию для полосового фильтра, можно сделать вывод, что рассчитываемый фильтр будет принимать вид каскадного соединения звена 2-го порядка, которому отвечают

полюсы  $s_1, s_2$ , развязывающего устройства и звена 2-го порядка с полюсами  $s_3$  и  $s_4$ .

Передаточная функция имеет полюсы в точках с координатами:

$$s_{1,2} = -a_1 \pm jb_1 = -543,15 \pm j1312,02;$$

$$s_{3,4} = -a_2 \pm jb_2 = -1312,08 \pm j543,00.$$

По полученным координатам можно сделать вывод, что рассчитываемый фильтр является устойчивым, так как все полюса передаточной функции расположились в левой полуплоскости.

Рассчитаем все необходимые значения схемы:

$$R_1 = R_2 = 850 \text{ Ом};$$

$$a_1 = \frac{1}{2R_1C_1}; \quad C_1 = \frac{1}{2R_1a_1} = 1,083 \text{ мкФ}; \quad L_1 = \frac{1}{\omega_0^2 C_1} = 0,458 \text{ Гн};$$

$$a_2 = \frac{1}{2R_2C_2}; \quad C_2 = \frac{1}{2R_2a_2} = 0,448 \text{ мкФ}; \quad L_2 = \frac{1}{\omega_0^2 C_2} = 1,106 \text{ Гн}.$$

И так какие же изменения в схему нам потребуется внести, чтобы изменить фильтр на полосовой? Нам потребуется убрать все катушки индуктивности  $L$  и потом на их место поставить последовательно соединенные катушки индуктивности  $L'$  и конденсаторы  $C'$ , которые должны обладать следующими характеристиками:

$$L' = L; \quad C' = \frac{1}{\omega_0^2 L};$$

Помимо этой замены, потребуется убрать все конденсаторы  $C$  и поставить вместо них параллельно соединенные катушки индуктивности  $L'$  и конденсаторы  $C'$ , которые должны обладать следующими характеристиками:

$$C' = C; \quad L' = \frac{1}{\omega_0^2 C}.$$

Также необходимо будет рассчитать все параметры элементов, которые будут заменены:

$$L1' = L1 = 0,458 \text{ Гн}; \quad C1' = \frac{1}{\omega_0^2 L1} = \frac{1}{1418^2 \cdot 0,458} = 1,083 \text{ мкФ};$$

$$L3' = L2 = 1,106 \text{ Гн}; \quad C3' = \frac{1}{\omega_0^2 L2} = \frac{1}{1418^2 \cdot 1,107} = 0,448 \text{ мкФ};$$

$$C2' = C1 = 1,083 \text{ мкФ}; \quad L2' = \frac{1}{\omega_0^2 C1} = \frac{1}{1418^2 \cdot 1,085 \cdot 10^{-6}} = 0,458 \text{ Гн};$$

$$C4' = C2 = 0,448 \text{ мкФ}; \quad L4' = \frac{1}{\omega_0^2 C2} = \frac{1}{1418^2 \cdot 0,449 \cdot 10^{-6}} = 1,106 \text{ Гн}.$$

После проведения всех необходимых замен итоговая принципиальная схема рассчитываемого нами фильтра будет выглядеть следующим образом (рис. 1):

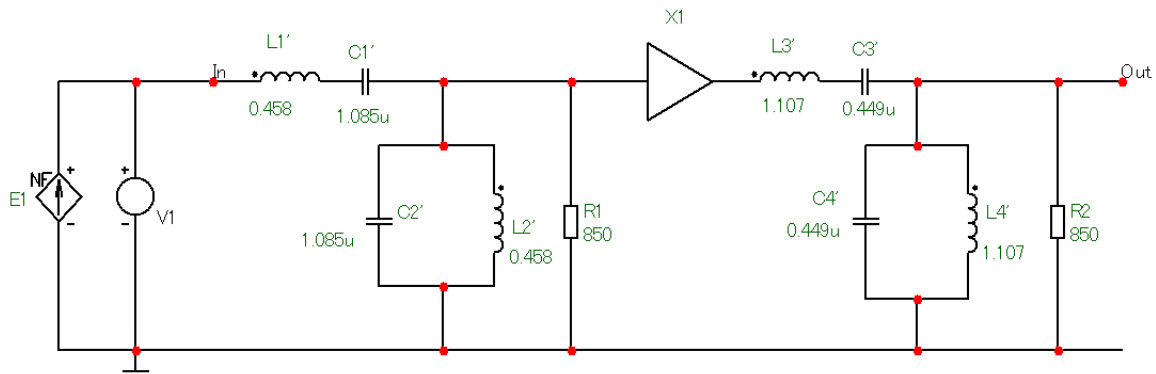


Рисунок 3 — Принципиальная схема

Также нам потребуются комплексные сопротивления ветвей. Которые можно рассчитать по формулам:

$$Z_1' = j\omega L1' + \frac{1}{j\omega C1'}; \quad Z_2' = \frac{j\omega L2' \cdot \frac{1}{j\omega C2'}}{j\omega L2' + \frac{1}{j\omega C2'}};$$

$$Z_3' = j\omega L3' + \frac{1}{j\omega C3'}; \quad Z_4' = \frac{j\omega L4' \cdot \frac{1}{j\omega C4'}}{j\omega L4' + \frac{1}{j\omega C4'}}.$$

В результате проведенных расчетов можно сделать вывод, что полученный фильтр ограниченно удовлетворяет необходимым параметрам.

Промоделируем работу фильтра для этого нам потребуется подать на вход три одиночных радиоимпульса длительностью 15 мс и частотами  $\omega_1 = 500 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ,  $\omega_2 = 1500 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  и  $\omega_3 = 3000 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  и сравним полученные сигналы на выходе фильтра (рис. 2 – 4).

$$\omega_1 = 500 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

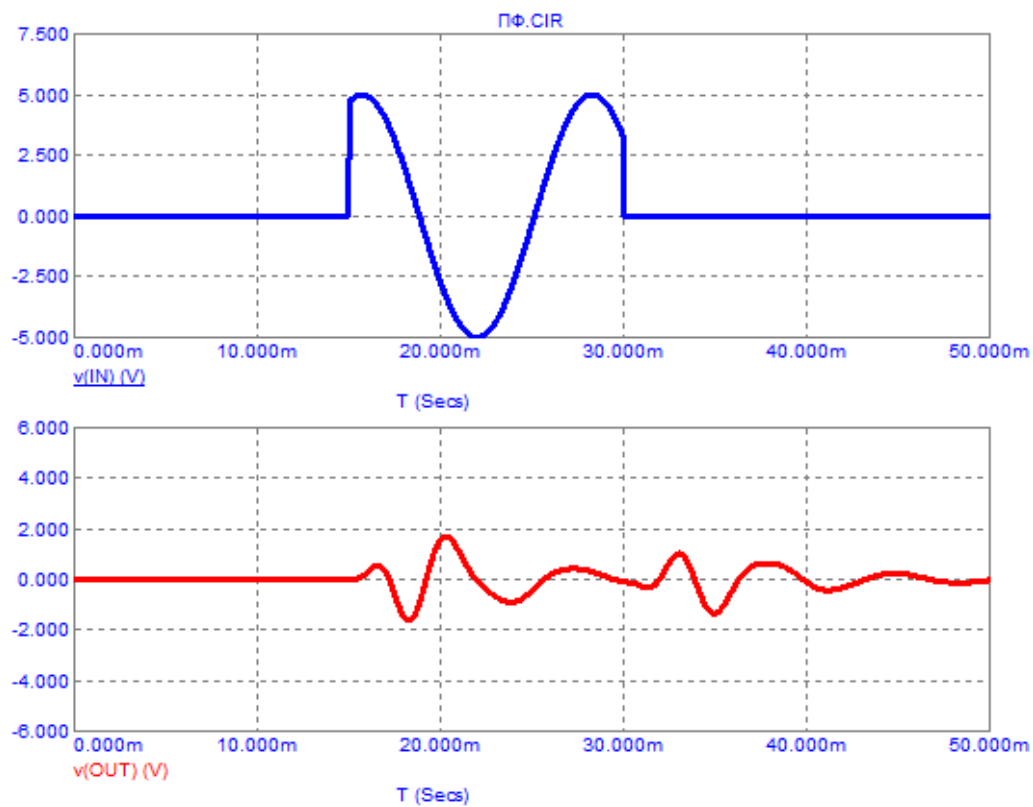


Рисунок 2 — График при  $\omega_1=500$  рад/с

$$\omega_2 = 1500 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

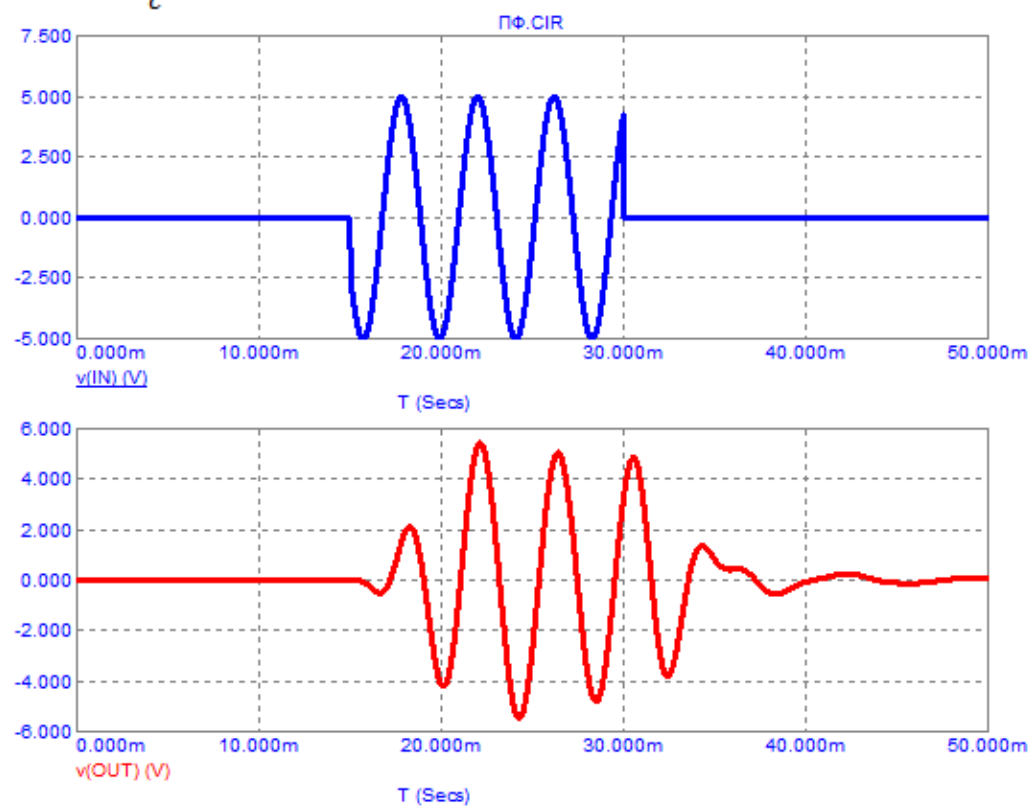


Рисунок 3 — График при  $\omega_1=1500$  рад/с

$$\omega_3 = 3000 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

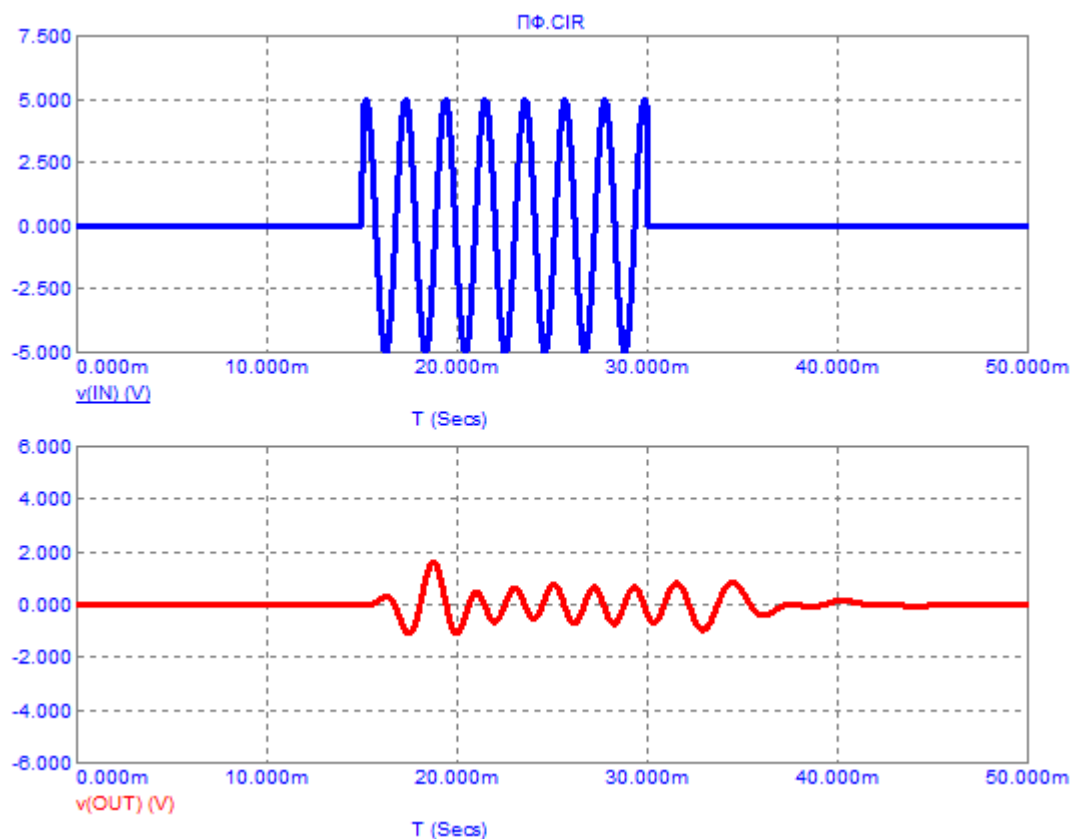


Рисунок 4 — График при  $\omega_1=3000$  рад/с

На графике прекрасно видно, что колебания на частотах  $\omega_1 = 500 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  и  $\omega_3 = 3000 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  подавляются, а колебания с частотой  $\omega_2 = 1500 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  проходят без больших искажений. Из этого можно сделать вывод, что фильтр работает корректно, так как первые и третья частоты попадают в полосу затухания и они должны подавляться, а вот вторая частота находится в полосе пропускания и не подавляется фильтром.

#### Литература

9. Зотов В. Моделирование цифровых устройств, проектируемых на основе ПЛИС фирмы Xilinx, средствами ISIM в САПР ISE Design Suite. // КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ. – 2013. – №2. – с. 64-74.
10. Коберниченко В.Г. Основы цифровой обработки сигналов : учебное пособие / В.Г.Коберниченко. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018 – 156 с.
11. Лысенков А.А. Разработка модуля передачи данных по интерфейсу UART на базе программируемой логической интегральной схемы //ВА ВПВО ВС РФ имени маршала советского союза А.М.Василевского. – 2021. – с. 71-74
12. FPGA или микроконтроллер URL: [https://fpga-systems.ru/publ/raznoe/poznavatelnoe/fpga\\_ili\\_mikrokontroller\\_chno\\_zhe\\_vybrat/16-1-0-119](https://fpga-systems.ru/publ/raznoe/poznavatelnoe/fpga_ili_mikrokontroller_chno_zhe_vybrat/16-1-0-119) (дата обращения 07.04.2021).
13. Steven W. Smith Digital Signal Processing : The Scientist and Engineer's Guide / Steven W. Smith. – California Technical Publishing, 1999. – 688 с.



*А.А. Макеенков зав. лабораторией оптических фильтров  
(ФГУП «СПО «АНАЛИТПРИБОР» г. Смоленск)  
В.И. Бобков, д.т.н.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске),*

## **ВЫБОР И ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННО-ЛУЧЕВОГО МЕТОДА НАПЫЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ СВЕТОФИЛЬТРОВ ДЛЯ ИНФРАКРАСНЫХ СЕНСОРОВ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

Анализ газового состава атмосферы напрямую связан с основными проблемами современной цивилизации: охраной окружающей среды, безопасностью, экономией энергии, сырья, контролем качества, оптимизацией промышленных процессов, и т.д. Основными средствами контроля газового состава атмосферы являются газоаналитические системы и комплексы, разрабатываемые с применением различных физических методов измерения. Главным элементом данных систем является газочувствительные сенсоры, задачей которых является детектирование концентраций целевых компонентов газовой среды.

В последние годы происходит переход от традиционных термокаталитических и электрохимических сенсоров на оптические [1]. Концентрация газа измеряется по величине поглощенного излучения, прошедшего сквозь газовую пробу, так как многие газы имеют характерные полосы поглощения в инфракрасной области спектра. Инфракрасные сенсоры на сегодняшний день по своим метрологическим и эксплуатационным характеристикам превосходят многие другие типы сенсоров и поэтому являются наиболее востребованными на рынке газоаналитического оборудования.

Характеристики инфракрасных сенсоров во многом определяются применяемыми в них системами интерференционных светофильтров [2,3], получаемых с использованием методов вакуумного напыления тонкопленочных покрытий.

Применяемым в настоящее время методам вакуумного напыления (термовакuumный, магнетронный и др.) помимо определённых преимуществ свойственны те или иные недостатки (слабая адгезия, невысокая чистота пленок, низкая управляемость процесса и т.д.), что не позволяют в полной мере выполнить предъявляемый широкий круг требований к эксплуатационным и спектральным характеристикам интерференционных светофильтров. Например, невысокая чистота пленок, в связи с необходимостью поддержания высоких давлений рабочего газа, существенно снижает коэффициент пропускания интерференционного фильтра; слабая адгезия покрытий, возникающая из-за невысоких энергий осаждаемых частиц, не позволяет получать сложные многослойные покрытия с высокими спектральными показателями (полуширины  $\Delta\tau_{0.5}$ , крутизны фронта пропускания фильтра  $K_p$ ) и надежностными характеристиками.

*В последнее время все большее развитие получает ионно-лучевой метод напыления материалов [4] как альтернатива существующим традиционным*

способам напыления, однако, как метод получения тонкопленочных оптических покрытий еще не имеет широкого применения. Ионно-лучевое напыление относят к ионно-плазменным методам, однако данный способ напыления сочетает в себе широкий спектр возможностей и достоинств, свойственный отдельным методам данного класса.

Лабораторией оптических фильтров ФГУП «СПО «Аналитприбор» для реализации возможности применения и внедрения ионно-лучевого метода напыления интерференционных светофильтров для инфракрасных сенсоров газоаналитических приборов было разработано техническое задание на изготовление опытного образца вакуумной установки для нанесения многослойных оптических покрытий в области ИК спектра от 2 до 10 мкм. Среди основных требований в техническом задании были выделены: высокая адгезия и равномерность толщины напыляемых покрытий, широкий спектр напыляемых материалов и типов подложек, повторяемость и долговременная стабильность покрытий.

В результате совместных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с ООО «Изовак» (г. Минск) была спроектирована и изготовлена установка ионно-лучевого напыления оптических покрытий УВН-42, представленная на рисунке 1.

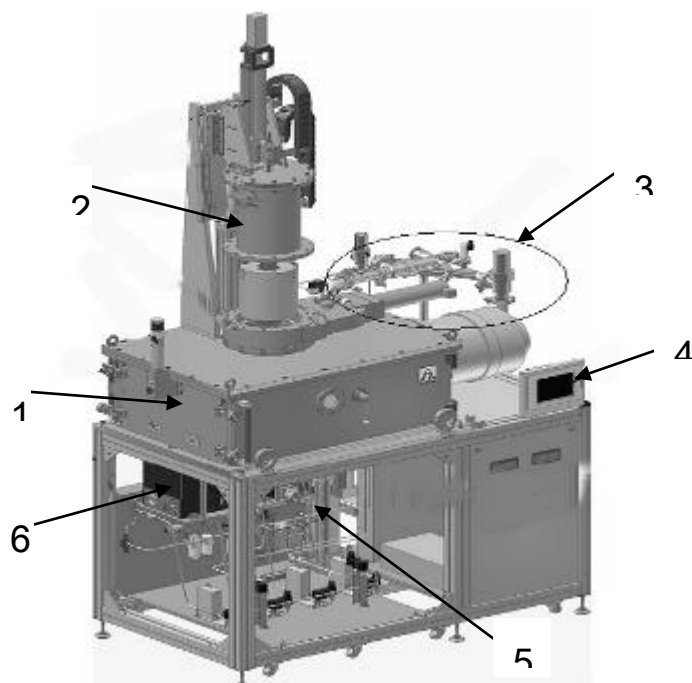


Рисунок 1. Конструкция установки УВН-42

В конструкции установки УВН-42 присутствуют следующие основные функциональные узлы: напылительная камера, шлюзовая камера, система откачки, панель оператора и узел спектрофотометрической аппаратуры.

В напылительной вакуумной камере 1 осуществляются процессы ионно-лучевого напыления материала мишени на подложку (в зависимости от поставленной задачи в камере выставляется соответствующая мишень). С

помощью системы откачки 3 (безмасляный форвакуумный и турбомолекулярный насосы) поддерживается требуемый уровень вакуума ( $10^{-3}$  Па). Посредством пневматических коммуникаций 5 осуществляется напуск рабочих газов в камеру. Шлюзовая камера 2 позволяет без развакуумирования напылительной камеры производить операции загрузки и выгрузки образцов (в шлюзовой камере также находятся устройства нагрева и вращения подложек). При помощи панели оператора 4 производится управление всеми технологическими процессами, а также их контроль. Контроль спектральных характеристик оптических покрытий осуществляют при помощи спектрофотометрической аппаратуры 6 в режиме реального времени.

Главной особенностью метода ионно-лучевого напыления является наличие автономного ионного источника, в котором формируется пучок ускоренных ионов для бомбардировки мишени (рисунок 2).

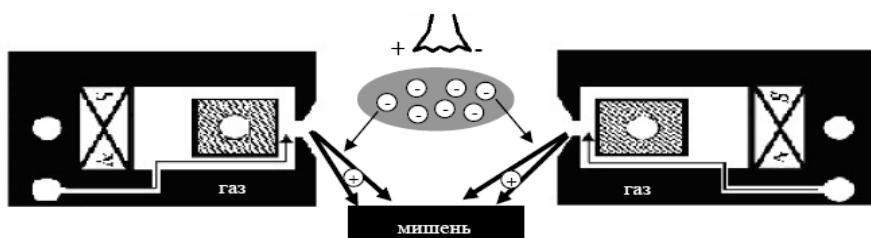


Рисунок 2. Источник ионного напыления.

Среди основных характеристик ионного источника можно выделить следующие:

- тип источника: ускоритель с анодным слоем;
- энергия ионов: 400 эВ - 1500 эВ;
- максимальное анодное напряжение: 3,0 кВ;
- рабочие газы: любые газы и смеси газов, не вступающие в химическую реакцию с элементами конструкции;
- тип нейтрализатора (компенсатора) заряда: термоэмиссионный;
- габаритные размеры: 336x336x68 мм.

Источник ионов представляет собой ускоритель ионов с замкнутым дрейфом электронов. Принцип работы источника ионов основан на локализации газового разряда в разрядной области посредством скрещенных электрического и магнитного полей. Разрядная область конструктивно отделена от объекта обработки. Электрическое поле создается подачей на анод напряжения, а магнитное поле создается магнитной системой на основе постоянных магнитов. Рабочий газ поступает непосредственно в разрядную область через газораспределительную систему. Такая компоновка позволяет создать значительный градиент давлений между разрядной областью, где образуются ионы, и объемом вакуумной камеры и минимизирует влияние внешних процессов на генерацию и ускорение ионов. Повышенное давление в разрядной области ионного источника позволяет формировать ионный пучок относительно высокой плотности при незначительном давлении в вакуумной камере.

Положительные ионы, образовавшиеся в разрядном промежутке, ускоряются электрическим полем и выталкиваются из разрядного промежутка в сторону обрабатываемых образцов, образуя ионный пучок. Изменением высокого напряжения, подаваемого на анод, можно изменять энергию ионов, а изменением расхода рабочего газа - величину ионного тока.

В данной конструкции источника ионов используется компенсатор, который представляет собой вольфрамовую нить накала, для компенсации (нейтрализации) ионного пучка источника ионов. Компенсатор установлен непосредственно на верхнем катоде источника ионов. При подаче напряжения на нить накала происходит эмиссия электронов, образовавшихся на поверхности нити, в сторону положительно заряженного ионного пучка источника ионов, тем самым происходит компенсация (нейтрализация) ионного пучка.

В ходе исследования ионно-лучевого метода на установке УВН-42 проводились напыления систем оптических слоев интерференционного узкополосного фильтра и высокоотражающего зеркального металлического покрытия. Полученные покрытия, наряду с покрытиями, изготавливаемые традиционными метода (термовакuumным, магнетронным) подвергались испытаниям согласно установленной методике: проверка механической стойкости, стойкость к воздействию повышенных (+80 °С) и пониженных (-60°С) температур, термоудару, ультразвуковому воздействию, повышенной влажности. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1.

№ п/п	Наименование испытания	Метод напыления		
		Ионно-лучевой	Термовакuumный	Магнетронный
1.	Механическая стойкость	+	-	-
2.	Химическая стойкость	+	-	+
3.	Повышенная/ пониженная температура	+ / +	- / +	+ / +
4.	Воздействие термоудара	+	-	-
5.	Ультразвуковое воздействие	+	+	+
6.	Повышенная влажность	+	-	+
Примечание - Знак «+» означает, что покрытие выдержало испытания; «-» - испытание не пройдено.				

Проведенные испытания, результаты которых указаны в таблице 1, и дополнительные исследования полученных оптических покрытий позволяют выделить основные преимущества ионно-лучевого метода напыления:

1. Более высокие энергии осаждаемых частиц в сравнении с магнетронным напылением обеспечивают лучшую адгезию покрытий.

2. Высокая направленность воздействий ионного пучка, обеспечивающая высокую прецизионность характеристик покрытий.

3. Малые рабочие давление в технологической камере ( $10^{-3}$ - $10^{-2}$  Па), ограниченные лишь быстротой откачки вакуумной системы, а не условиями поддержания разряда, позволяют получать более чистые от загрязнений слои.

4. Напыляемые покрытия характеризуются высокой плотностью и низкой шероховатостью.

5. Равномерность наносимых слоев на диаметре 150 мм составляет 2%, что превосходит аналогичный показатель для других применяемых методов напыления.

6. Высокая прочность слоев, отсутствие дрейфа характеристик при изменении температурных и климатических условий по сравнению с покрытиями, полученными методами термовакuumного и магнетронного напыления.

7. Высокая воспроизводимость характеристик покрытий.

8. Возможность формирования пучков ионов как инертных, так и химически активных газов, а также управления энергией этих ионов в широких пределах.

9. Наличие термоэмиссионного нейтронизатора позволяет выполнять напыление диэлектрических материалов.

**Исследованные преимущества и возможности ионно-лучевого метода напыления, реализованные на установке УВН-42, существенно отличают данный метод от широко распространенных термовакuumного и магнетронного методов напыления и позволяют надеяться на достижение высоких результатов при разработке интерференционных фильтров для инфракрасных сенсоров газоаналитических приборов.**

#### Литература

1. А.А. Макеев. Инфракрасный сенсор для контроля дозврывоопасных концентраций горючих газов и паров горючих жидкостей. // Датчики и системы. - 2014. - № 7. - С. 33-38 : ил. - Библиогр.: ISSN 1992-7185.
2. А.А. Макеев, А. М. Баранов. Разработка, синтез и изготовление многослойных тонкопленочных фильтров для инфракрасных сенсоров горючих газов и паров горючих жидкостей. //Вакуумная техника и технология т.29, №4, стр. 40-43, 2019.
3. Н. А. Борисевич, В. Г. Верещагин, М. А. Валидов. Инфракрасные фильтры. //Минск, Наука и техника, 1971.
4. А.С. Кабанов. Прогрессивные методы расчета и нанесения сложных покрытий. //Фотоника. 2018. Т. 12. № 8 (76). С. 788-792

*И.Э. Мачулин, А.И. Чулков, магистранты.; М.А. Амелина, к.т.н., доцент  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ИМИТАЦИИ ПРИСУТСТВИЯ**

Системы домашней автоматизации на данный момент являются достаточно актуальным, хорошо изученным с точки зрения теоретического знания, имеющим целое множество схемотехнических решений направлением. В свою

очередь сами полноценная система состоит из отдельных устройств и подсистем, каждая из которых выполняют некоторый спектр функций, например, охранно-защитного характера [1]. Автоматизированные охранно-защитные комплексы представляют особый интерес у конечных потребителей устройств, поскольку случаи ограбления жилища являются не новой тенденцией, но постепенно набирающей обороты, чем подтверждается актуальность проводимого исследования. При этом длительный отпуск или частые командировки могут обернуться для хозяина жилища разграблением его имущества.

Как известно, наличие охранной системы (защита от проникновения) не всегда является гарантией того, что вору, например, не хватит времени на совершение преступления. Поэтому с развитием передовых технологий и микропроцессорной техники в системах охранно-защитного характера появляются системы предупреждения преступлений. Зачастую они могут оказаться наиболее эффективными, поскольку создают некоторый эффект присутствия в жилище в тот момент, когда фактически жильцов нет дома. Устройства имитации присутствия могут быть полноценно завершенными, а могут быть предназначенными для работы в комплексе с системой домашней автоматизации, так или иначе для устройств данного класса необходимо предоставление контроля над домашними процессами: освещения, теплоснабжения, водоснабжения, пожаробезопасности и т.п.

Примем за основу структурную схему устройства имитации присутствия [2], в которой было предложено использование микропроцессорного устройства, замаскированного под часы и имеющего в своем составе модуль часов реального времени, мощные светодиодные индикаторы (для имитации работающего телевизора) и электромагнитные реле для управления лампами освещения, работающими от сети 230 В. Данный комплекс модулей позволяет создать устройство, которое в случайные моменты времени и на случайный по длительности промежуток времени имитирует работу телевизора и включение/выключение освещения. Непредсказуемость моментов включения устройств индикации практически исключает риск распознавания системы имитации присутствия. Кроме того, к устройству могут быть подключены датчик движения (в результате срабатывания которого начинается непосредственная имитация присутствия) и датчик проникновения (при получении сигнала от которого регистрируется время попытки проникновения в жилище. Для моделирования был произведен выбор основной электронной-компонентной базы и составлена электрическая принципиальная схема (рисунок 1) в среде моделирования *Proteus 8.9*, которая позволяет качественно оценить алгоритм работы того или иного микропроцессорного устройства.



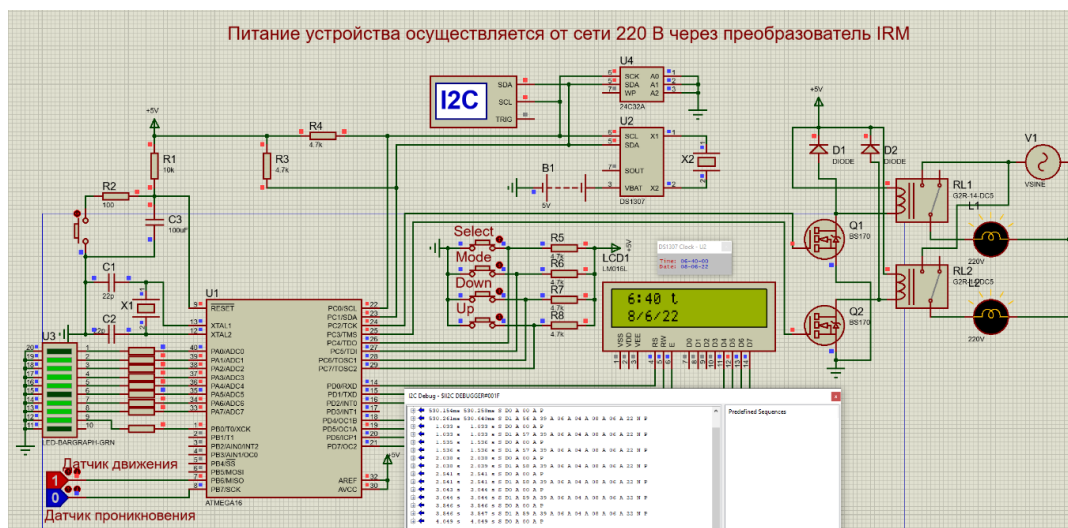


Рисунок 2 — Моделирование работы устройства имитации присутствия в среде *Proteus 8.9*

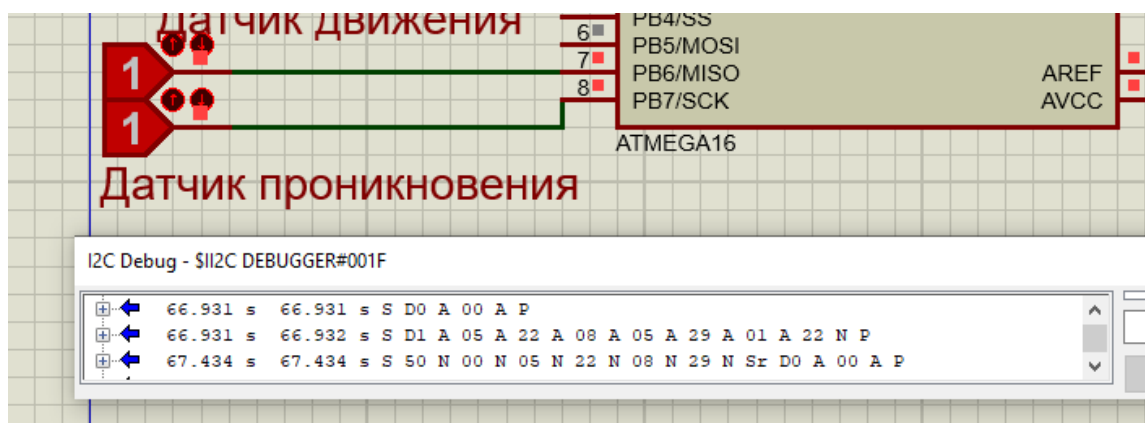


Рисунок 3 — Моделирование работы устройства имитации присутствия в среде *Proteus 8.9*

Таким образом, была произведена проверка алгоритмов функционирования устройства имитации присутствия. Для моделирования был произведен выбор основной электронной-компонентной базы и составлена электрическая принципиальная схема в среде имитационного моделирования *Proteus 8.9*. По результатам моделирования можно судить об адекватности предлагаемого технического решения в рамках применения в системах домашней автоматизации.

### Литература

1. Батюшев В.А. Электронные приборы. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.
2. И.Э. Мачулин, рук. М.А. Амелина. Разработка структурной схемы устройства имитации присутствия // Сборник XIX Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика» 28-29 апреля 2022 – Смоленск Издательство «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, т.1. – 2022. 400-403 с.
3. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632с., ил.



## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕЖИМОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УХОДА ЗА РАССАДОЙ ПРИ СТЕЛЛАЖНОЙ КОМПОНОВКЕ**

Автоматическая система полива - это современный подход к рациональному и эффективному использованию природных ресурсов, а так же это инженерно-техническая система которая обеспечивает бесперебойное и автономное орошение заданных площадей. Для удобства автоматического полива необходим водозабор. Предлагаемое в данной выпускной квалификационной работе оборудование экономично расходует воду, меньше потребляет электроэнергию и не требует человеческого контроля. Цель работы состоит в разработке нового оборудования, который позволит нам автоматически управлять поливом и водозабором. В выпускной квалификационной работе будет использоваться различные датчики температуры и влажности окружающей среды, уровня воды, влажности почвы, насосы для забора воды и капельного полива, для управления и контроля системы автоматического полива.

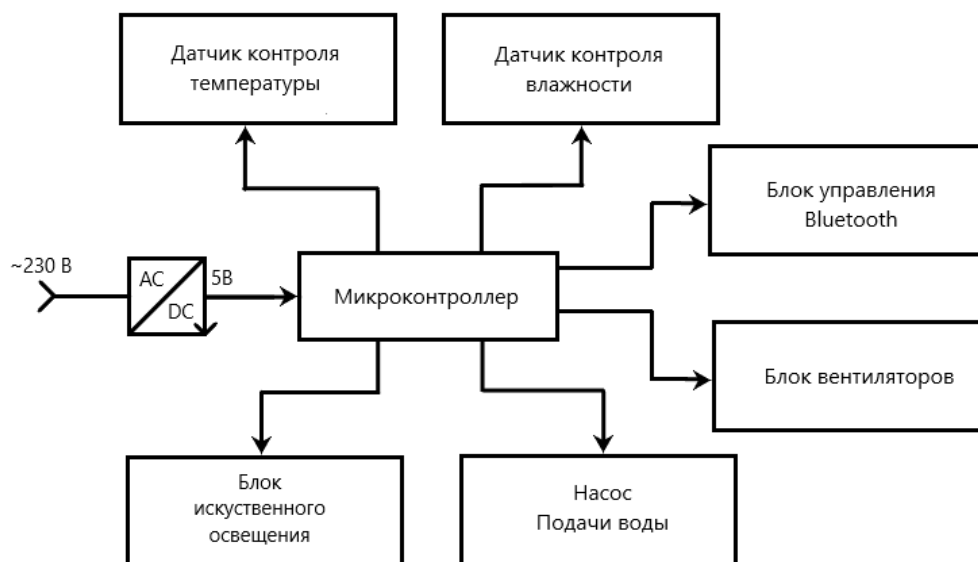


Рисунок 1 – Структурная схема устройства для обеспечения режимов автоматизированного ухода за рассадой при стеллажной компоновке.

Устройства для обеспечения режимов автоматизированного ухода за рассадой при стеллажной компоновке состоит из следующих основных частей

- Стеллажа на котором будет установлено устройство ;
- микроконтроллера;
- блока управления;
- блока подачи/остановки водного напора;
- блока контроля влажности грунта;
- блока искусственного освещения;
- блока контроля температуры;

Разрабатываемое устройство служит для автоматического полива рассады и других мелких культурных растений.

Программное управление реализуется с помощью микроконтроллера. В данной разработке микроконтроллер должен иметь следующие характеристики:

- *Flash* памятью 256 Кб;
- Встроенный *DC/DC* преобразователь;
- 8 цифровых входов;
- 10 аналоговых входов;
- Максимальный выходной ток пина 5 В: 800 мА.

Вывод информации осуществляется при помощи:

- телефона;
- кнопок управления на стеллаже.

В данной разработки есть кнопки управления, предназначенные для:

- включения и выключения устройства;
- включение и выключение освещения;
- включения и выключения вентиляции / охлаждения;
- выбора режима для полива;

Что бы раскрыть структурную схему (рис. 1) детальнее, была разработана функциональная схема устройства (рис. 2).

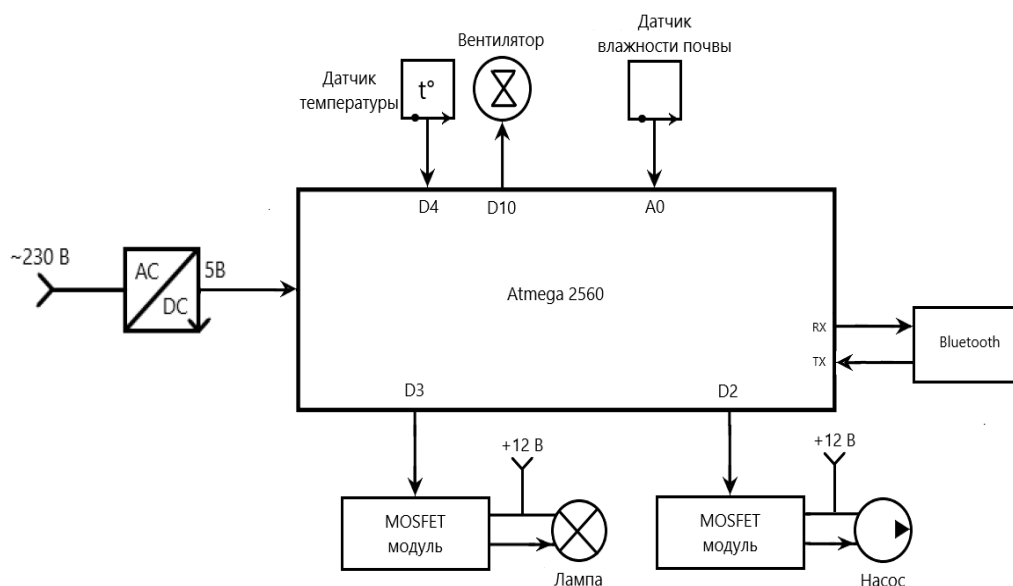


Рисунок 2 – Функциональная схема устройства для обеспечения режимов автоматизированного ухода за рассадой при стеллажной компоновке

Питание устройства осуществляется от сети переменного напряжения 230 В. Так как в сети переменное напряжение, а для питания основных элементов стенда требуется постоянное напряжение 5В, то в разработке будет использоваться АС/DC понижающий преобразователь. С помощью встроенного DC/DC преобразователя микроконтроллер имеет на своих выводах 5 В и 3.3 В.

Управление стендом осуществляется через приложение на телефоне, для соединения смартфона и устройства используется *Bluetooth* модуль. У пользователя на экране будут разделы с информацией, полученной с датчиков. Для работы *Bluetooth* модуль и МК используются пины *RX* и *TX*. Что бы устройство получало команды, а так же для отправки данных с датчиков и работы на устройство пользователя.

За счёт датчика температуры, подключаемого к *D4*, можно задавать и измерять температуру, которая необходима сельскохозяйственных культур, а если температура будет подниматься, можно включить обдув, как ручную, так и сделать его автоматическим, при достижении определённых градусов.

За контроль температуры и вентиляцию отвечает вентилятор, который подключается к МК через цифровой пин *D10*. Так как комфортная температура для многих сельскохозяйственных культур примерно 18 градусов, вентилятор будет работать часто.

За счёт датчиков влажности почвы, подключаемого к аналоговому выходу *A0*, можно контролировать влажность в почве, поскольку некоторые сельскохозяйственные культуры потребляют намного больше воды, чем другие, а также сохранить грунт от засыхания. Если требуется полив из-за низкой влажности, можно включить его ручную или сделать автоматическим.

За полив отвечает насос, подключаемый через *MOSFET* модуль к цифровому пину *D2*. При получении сигнала от МК, о том, что влажность почвы понижена, начнется полив растений.

Так же в блоке управления светом отсутствует датчик света, так как растениям, как и людям, нужен отдых, в светлое время суток энергия идёт на рост стеблей и плодов, в ночное наоборот, корневой системы. Лучший вариант использования света, это по обычному распорядку дня, но через смартфон можно задать свечение по таймеру, 16 часов свет будет включен, а 8 выключен, такой график идеален почти для всех культур.

#### Литература

1. Аверченков О. Е. Схемотехника: аппаратура и программы/ О.Е. Аверченков — С.: ДМК пресс, 2012. — 587 с.
2. Амелина, М.А. Оформление курсовых и дипломных работ: методические указания для студентов специальности «Промышленная электроника» / Сост. : М.А. Амелина, С.А. Амелин, Ю.В. Троицкий. — Смоленск : ГОУВПО СФМЭИ(ТУ), 2007. — 78 с.
3. Амелина, М.А. Основные правила работы в WORD / Сост. : М.А. Амелина, С.А. Амелин. — Смоленск : ГОУВПО СФМЭИ(ТУ), 2007. — 32 с.
4. Бартон Д., Вард Г. Справочник по радиолокационным измерениям. Пер. с англ. под ред. М. М. Вейсбенна — М.: Сов. радио, 1976. — 392 с.
5. Гришин Ю. П., Ипатов В. П., Казаринов Ю. М. Радиотехнические системы — 1990. — 496 с.
6. Саврушев Э.Ц. Руководство схемотехника, администратора библиотек, конструктора — М.: Бином-пресс, 2007. — 768 с.
7. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 2-х т. 1-е изд. [Пер. с англ.] М.: Мир, 1984. Т. 1. 598с.

## **АЛГОРИТМ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ**

Одной из важных задач проектирования является создание алгоритма работы устройства [1]. Благодаря четкому представлению этапов работы алгоритма разрабатываемого устройства, можно рассуждать о том, какие основные рабочие узлы ему необходимы и каким требованиям они должны отвечать.

Электронное устройство способно корректно функционировать только в том случае, если учтены все детали на каждом последовательном шагу выполнения задач. Составление алгоритма работы устройства позволяет не только продумать каждую итерацию программного кода, но и при соблюдении всех правил составления позволяет избежать непредвиденных ошибок. Разбив каждую задачу на части, проще проектировать устройство и следовать за каждым этапом выполнения его задач.

Разрабатываемое устройство предназначено для тестирования печатных плат на термоустойчивость. Поместив в специальную камеру плату, пользователь имеет возможность поддерживать температуру внутри камеры с помощью элемента Пельтье в диапазоне от  $+10$  до  $+115$  градусов по Цельсию [2]. Напряжение питания устройства — 230 В (сетевое напряжение).

В ходе подготовки проекта был составлен алгоритм работы устройства (рис. 1).

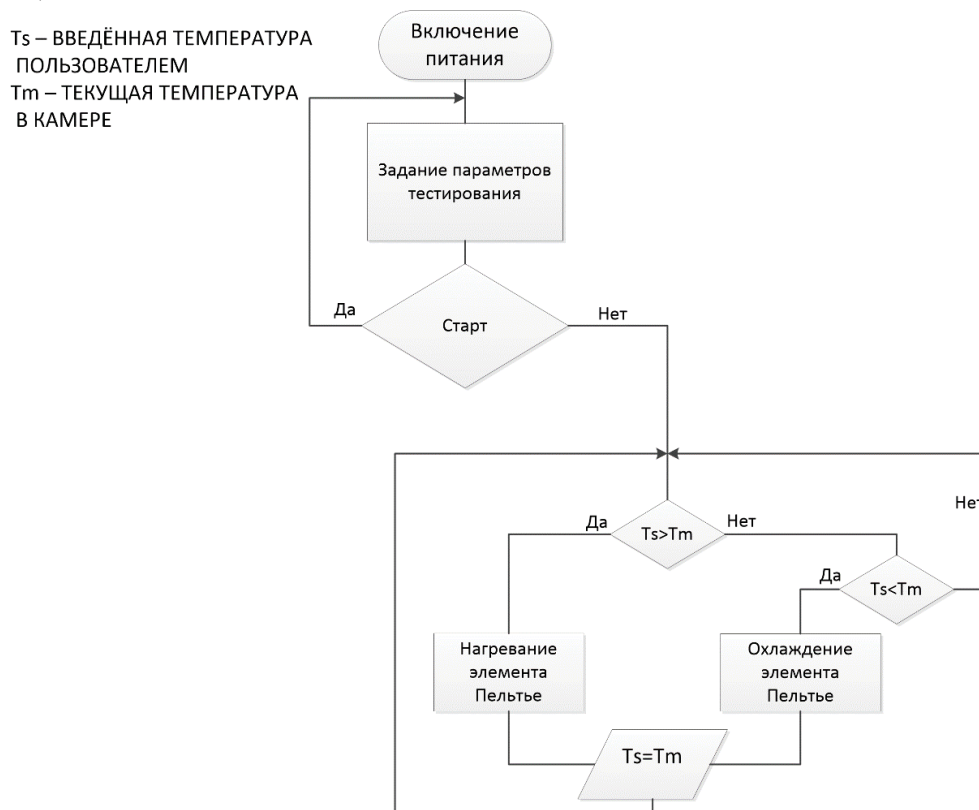


Рисунок 1 — Алгоритм работы устройства

После включения в сеть питания на текстовом дисплее выводится меню, которое позволяет управлять устройством. Первый пункт меню — установка температуры (рис. 2).

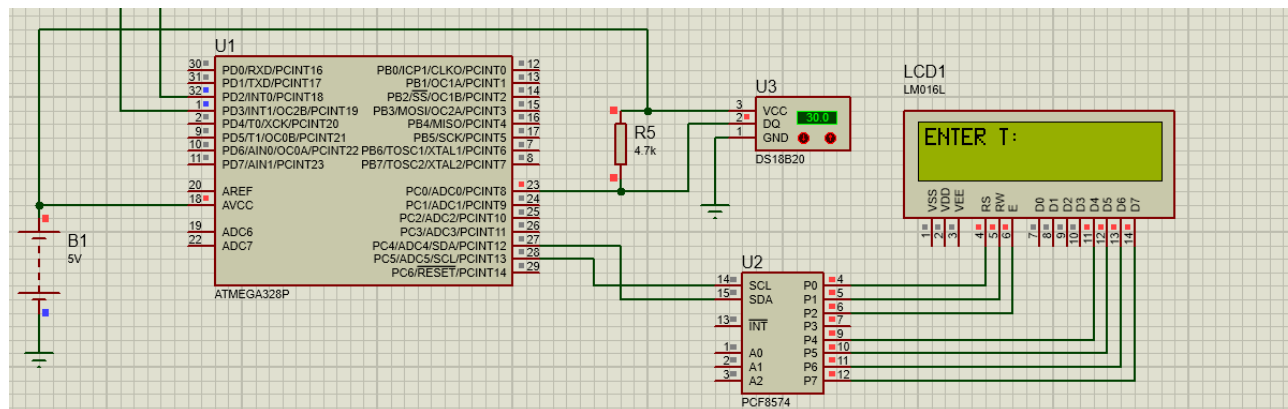


Рисунок 2 — Установка температуры

С помощью цифровой клавиатуры можно ввести рабочее значение температуры. В случае выхода температуры из диапазона допустимых величин автоматически устанавливается крайнее максимальное или минимальное значение.

Второй пункт меню — конвекция. Пользователь имеет возможность включения конвекции, если ему это необходимо, управляя при этом скоростью вращения вентилятора (в процентах от максимально возможной) (рис. 3). Таким образом, можно существенно ускорить процессы изменения температуры.

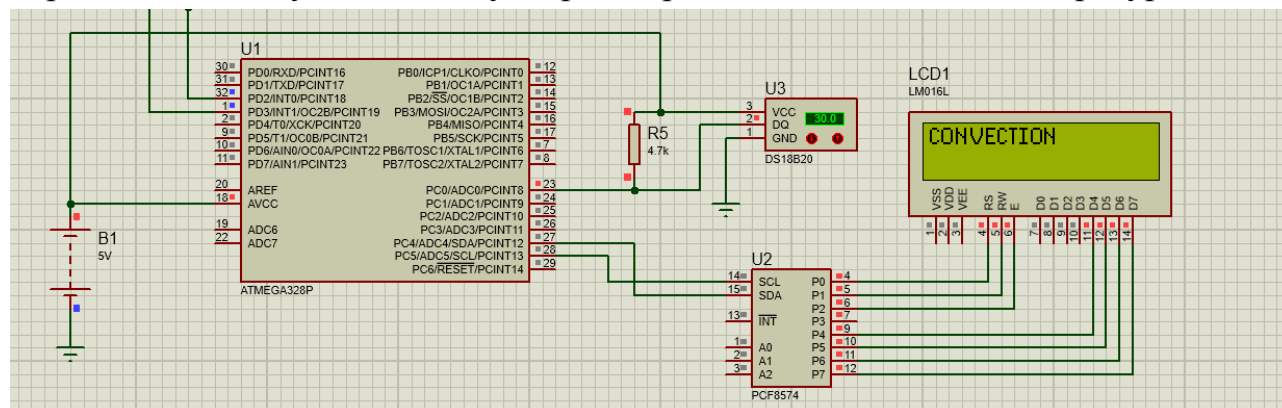


Рисунок 3 — Режим конвекции

Также, можно сохранить установленный режим работы в память устройства или загрузить уже сохраненный ранее [3].

После задания параметров тестирования и нажатия кнопки «Старт» происходит опрос температурных датчиков, а затем вычисляется среднее значение температуры. На основе обработанных данных происходит регулировка температуры, понижая или повышая температуру с помощью элемента Пельтье. Опрос данных происходит с периодичностью в 5 секунд. Выключить устройство можно принудительно, отключив питание от сети.

Алгоритм работы устройства при моделировании показал себя работоспособным, что в последствии было подтверждено созданием макета устройства, исправно выполняющего все заявленные функции.

Дальнейшее развитие проекта предусматривает изменение относительной влажности внутри камеры. В таком случае, к устройству добавится ещё один важный узел, показатели которого нужно будет отслеживать, обрабатывать и выводить пользователю. В таком случае алгоритм также придется дорабатывать, а меню устройства дополнять новыми возможностями. Для измерения влажности планируется использовать датчик DHT22 (рис. 4).



Рисунок 4 — Датчик влажности DHT22

В будущем будут также внесены изменения в порядок работы пользователя с устройством. Корпус будет модифицирован, в него добавится специальное окно, которое позволит изучать влияние вредных факторов непосредственно во время процесса. Возможна установка вращающихся ручек-потенциометров для более плавной и удобной регулировки скорости вращения вентиляторов, управляющих конвекции в испытательной среде. Также, допустимо добавление кнопки управления светом внутри камеры. Источником освещения может послужить светодиодная лента с силиконовой изоляцией от влаги.

#### Литература

1. Разработка алгоритмов работы устройства [Электронный ресурс] URL: [https://studwood.ru/2163128/tehnika/razrabotka\\_algoritmov\\_raboty\\_ustroystva](https://studwood.ru/2163128/tehnika/razrabotka_algoritmov_raboty_ustroystva)
2. Элемент Пельтье [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Элемент\\_Пельтье](https://ru.wikipedia.org/wiki/Элемент_Пельтье)
3. Ковжаров Е.А., Николаев В.О., Рассказа Д.С. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ТЕСТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ

Любые разрабатываемые печатные платы должны проходить специальные тестирования после производства. Такая мера позволяет не допустить на рынок бракованный или не соответствующий нормам и требованиям продукт. Одним из важных показателей печатных плат является термоустойчивость.

Для проверки разработок на термоустойчивость разработана специальная камера (рис. 1), внутри которой будет происходить нагревание. Платы располагаются таким образом, чтобы не находиться вблизи нагревающих элементов. Таким образом, температура будет более усредненной и равномерной. Габариты корпуса позволяют тестировать сразу несколько печатных плат.

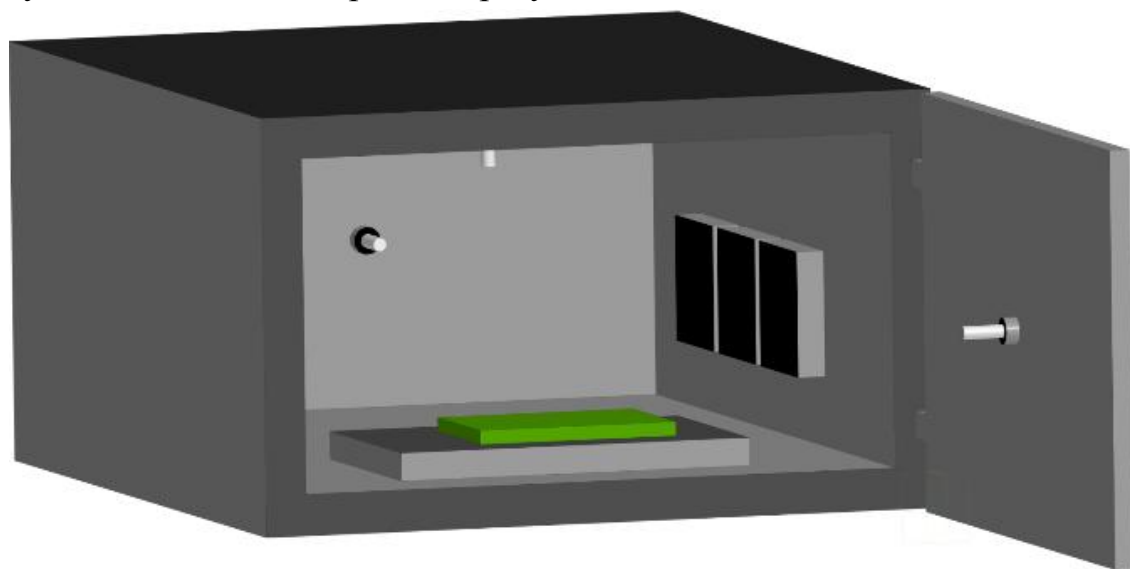


Рисунок 1 — Модель камеры

Контроль за температурой осуществляется четырьмя цифровыми температурными датчиками, расположенными на четырех стенках камеры. Полученные значения обрабатываются микроконтроллером с целью выявления среднего значения температуры в камере. Такое количество измерений необходимо, так как воздух циркулирует, поэтому температура в разных пространственных позициях будет отличаться. Погрешность измерения датчиков не больше 0,5 С (для температур от -10С до +85С), что позволяет точно определить значение температуры. Не требуется дополнительная калибровка.

Для нагрева используются элементы Пельтье. Для обеспечения требуемого диапазона температур будут использованы три параллельно соединенных элемента [1].

Для наглядности при моделировании в среде *PROTEUS* вместо элементов Пельтье используются моторы. Направление движения моторов имитирует нагрев или охлаждение элементов (рис.2).

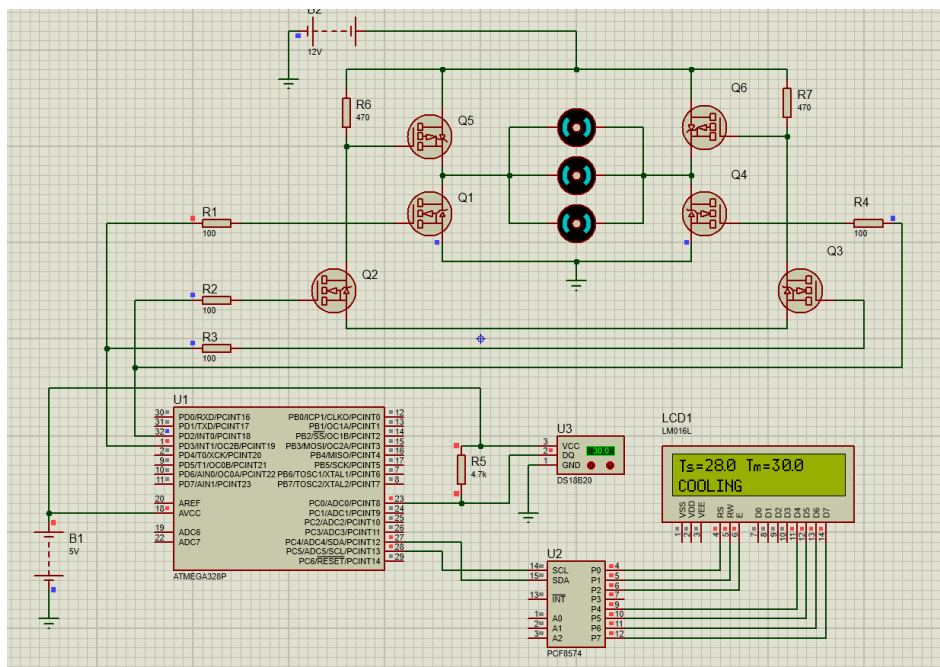


Рисунок 2 — Моделирование в PROTEUS

Силовые транзисторы позволяют обеспечить управление моторами (рис. 3). Внешний радиатор установлен для вспомогательного охлаждения. Значения, полученные с датчиков, обрабатываются микроконтроллером и вычисляется среднее значение температуры.

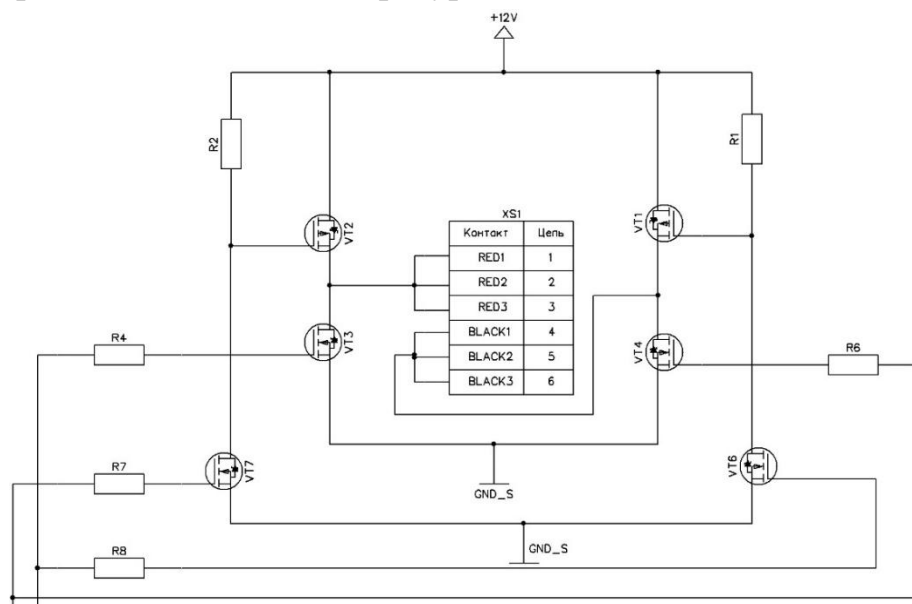


Рисунок 3 — Схема управления моторами

С помощью типовых методов включения, приведенных в нормативной документации, осуществлено подключение цифровой клавиатуры и дисплея, который связан с микроконтроллером через I2C интерфейс (рис. 4) [2].



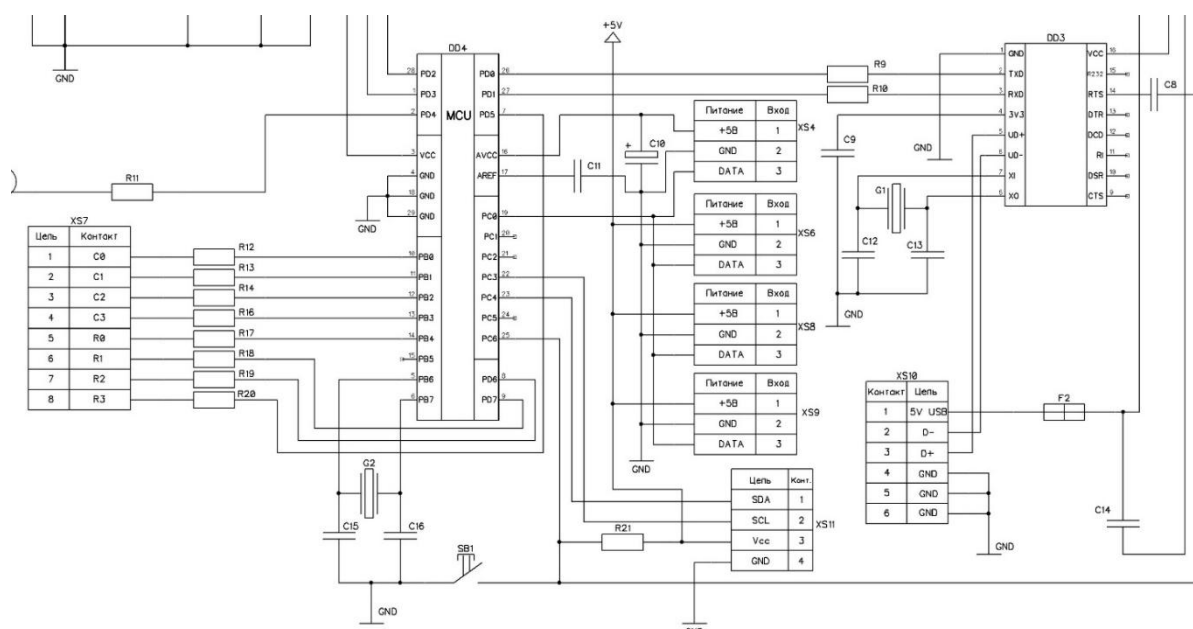


Рисунок 4 — Схема подключения периферийных устройств

Микросхема CH340G предназначена для преобразования интерфейса USB в UART (рис.5). Позволяет создать на компьютере дополнительный UART порт. CH340G требует минимум внешних компонентов, только кварцевый резонатор и 4 конденсатора [3].

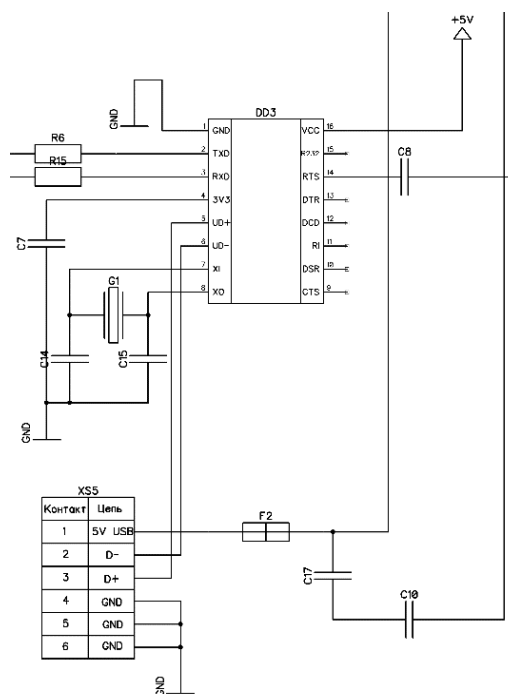


Рисунок 5 — Схема подключения USB

Принципиальная схема разработана с учетом всех требований, по результатам проектирования собран рабочий макет устройства (рис. 6), исправно выполняющий все функции.



Рисунок 6 — Макет устройства

В ходе дальнейших работ по модернизации устройства планируется добавить функцию изменения относительной влажности воздуха для тестирования печатных плат на влагоустойчивость.

#### Литература

1. Элемент Пельтье [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Элемент\\_Пельтье](https://ru.wikipedia.org/wiki/Элемент_Пельтье)
2. Интерфейсная шина ИС (I2C) [Электронный ресурс] URL: <http://easyelectronics.ru/interface-bus-iic-i2c.html>
3. Ковжаров Е.А., Николаев В.О., Рассказа Д.С. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ

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

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

В рамках образовательного курса «Средства передачи информации» был разработан учебный стенд, позволяющий студентам изучать физические принципы работы интерфейса передачи данных RS-232 [1]. В ходе проведения пробных лабораторных работ было выяснено, что существует необходимость расширить функционал устройства, добавив возможность исследовать различные интерфейсы передачи данных.

Учебный стенд позволяет с помощью кнопок и дисплея управлять настройками передачи данных, а также осуществлять непосредственную отправку информации. Также, для изучения физических уровней сигналов предусмотрены разъемы для подключения осциллографа. В процессе реализации проекта была разработана функциональная схема (рис. 1), отображающая все перечисленные функции.

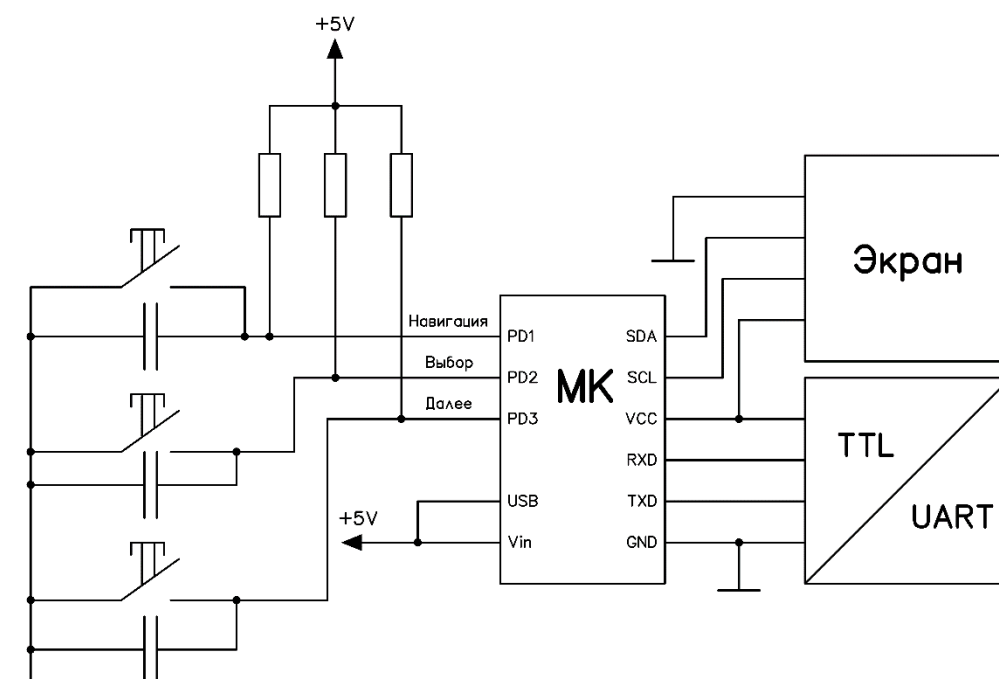


Рисунок 1 — Функциональная схема устройства

Для расширения функциональности стенда было принято решение добавить два дополнительных интерфейса передачи данных: *Ethernet* и *Bluetooth*.

*Ethernet* протокол подразумевает пакетную передачу данных [2]. Данный способ передачи данных на сегодняшний день является одним из самых используемых. Стандарты *Ethernet* реализуется на физическом уровне в проводной среде, а принцип передачи заключается в том, что данные, переданные одним устройством, принимаются одновременно всеми. Благодаря особенностям данного интерфейса, студенты получают возможность глубже ознакомиться с пакетной передачей данных и сетевой моделью *TCP/IP*, что является существенным отличием от *RS-232*, который реализует только *UART*.

*Bluetooth* — это беспроводная персональная сеть. Огромную популярность данный протокол получил благодаря возможности беспроводной связи различных устройств (телефон, наушники, персональный компьютер и др.) [3]. Добавление данного интерфейса в функционал учебного стенда позволит студентам приобрести возможность познакомиться с принципами беспроводной передачи данных.

Для подключения *Ethernet*-протокола будет использован модуль *ENC28J60* [4], связанный с микроконтроллером через *SPI* интерфейс. Модуль *HC-06* позволит связывать разработанное устройство с персональным компьютером через *Bluetooth*. В процессе проектирования модифицированного учебного стенда была разработана обновленная функциональная схема (рис. 2).

В дополненной схеме к микроконтроллеру подключаются модули, согласовывающие интерфейсы МК с исследуемыми. Схема подключения кнопок и дисплея остаётся неизменной.

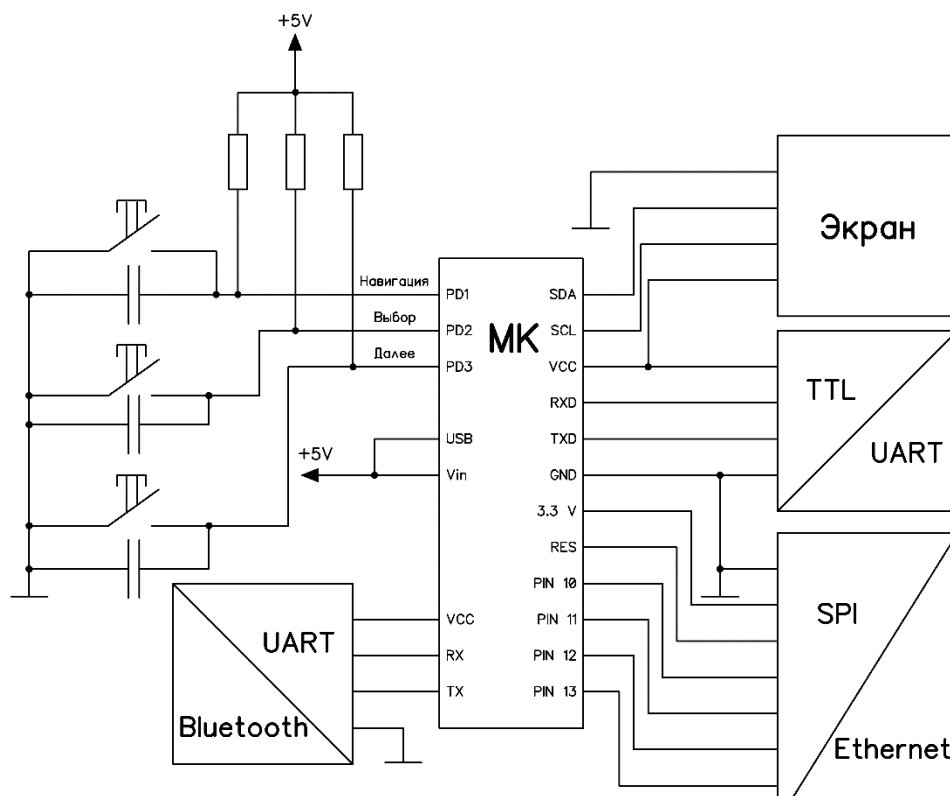


Рисунок 2 — Функциональная схема модифицированного устройства

Дальнейшим этапом работы в данном направлении является создание алгоритма работы устройства. Необходимо продумать каким образом пользователь получит возможность выбирать исследуемый интерфейс; написать обновленный программный код, позволяющий передавать одни и те же данные на ПК с помощью разных интерфейсов; предусмотреть наличие программного обеспечения для приема и обработки данных на персональном компьютере.

Необходимо оптимизировать старое меню управления устройством (рис. 3) под новые задачи.



Рисунок 3 — Меню управления учебным стендом

Прежде чем пользователь попадёт в окно выбора сообщения, он должен будет выбрать интерфейс, с которым собирается работать. Для этого будет предложено три строки с соответствующим названиям интерфейсов наполнением. После выбор интерфейса студенту нужно будет произвести настройку передачи данных, а уже затем будет предложено выбрать сообщение для отправки.

В ходе дополнительных работ требуется провести моделирование и макетирование с целью выбора оптимальных схемотехнических решений, а также спроектировать обновленный корпус устройства, позволяющий вместить в себя все нововведения.

#### Литература

1. П. Б. Новиков, студ., А. Д. Андреев, студ., рук. А. А. Каткова, ст. пр. (Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске) УЧЕБНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ ИНТЕРФЕЙСА RS-232, с. 175-179
2. Ethernet [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
3. Bluetooth [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
4. Модуль ENC28J60 [Электронный ресурс] URL: <http://mypractic.ru/urok-63-lokalnaya-set-ethernet-modul-enc28j60-ego-podklyuchenie-k-plate-arduino.html>

*П.Б. Новиков, маг.; В.А. Смолин, доц., к. т. н.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РОБОТ-УБОРЩИК ОСЕННЕЙ ЛИСТВЫ**

Урбанистика с каждым годом развивается и движется в сторону создания умных, технологичных городов. В нашей стране существует такой город, например, Иннополис [1], по улицам которого ездят роботы-доставщики, всюду установлены камеры, и почти каждое устройство является частью интернета вещей.

Роботы всё чаще помогают человеку решать различные задачи. Благодаря этому окружающая нас среда становится только лучше, а люди могут позволить себе сконцентрировать внимание на более важных вещах. Одной из отраслей, где роботы могут изменить мир к лучшему, является уборочная техника.

Каждую осень, на улицах опадает огромное количество листвы, которую чаще всего убирают лишь на автомобильных дорогах. Тротуарам выделяется меньше уборочной техники, а рабочий персонал не всегда справляется в условиях интенсивных листопадов.

В связи с существующей проблемой поставлена цель разработать устройство, собирающее осеннюю листву, а также прессующее её. После уборки листва компостируется и используется в качестве удобрения.

Разработана структурная схема, отражающая в себе основные рабочие узлы устройства и связи между ними (рис. 1).

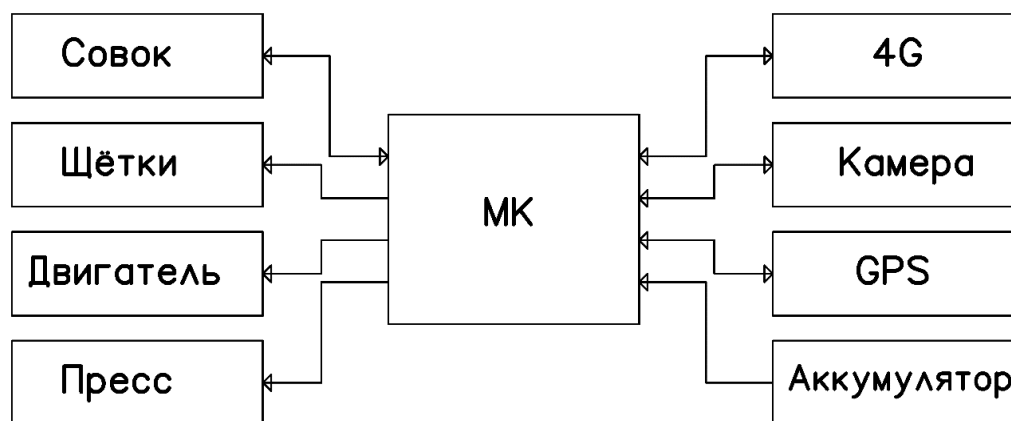


Рисунок 1 — Структурная схема проекта

Выполнять заданный алгоритм, а также принимать и обрабатывать данные с различных источников будет микроконтроллер.

Для того, чтобы у робота была связь с центром управления, будет установлен модуль 4G. Таким образом, устройство будет всегда под контролем, а также им можно будет управлять, отправляя информацию по сети.

Для того чтобы осуществить перемещение по тротуарам, будет использован маломощный бензиновый двигатель. Например: бензиновый двигатель «Ставмаш 170F» [2] мощностью 7 л.с. (рис. 2).



Рисунок 2 — Бензиновый двигатель «Ставмаш 170F»

Питание устройства будет осуществлено с помощью аккумулятора, который будет подзаряжаться от работы двигателя.

Для ориентации в пространстве будет установлен *GPS*-модуль, а также «умные» камеры. Чтобы робот смог «изучать» обстановку перед собой и получать информацию о наличии листьев будут использоваться нейросети.

Опытный образец, для начала, будет собирать листву только под ручным управлением для того, чтобы обучить нейронную сеть отличать чистый тротуар от тротуара, засыпанного листьями.

Уже сейчас нейросеть способна не только определять наличие объектов по фото, но и выяснять чем эти объекты являются. К примеру, существуют нейросети, которые способны рисовать картину по текстовому запросу [3]. Они уже сейчас без труда понимают отличие «чистой дороги осенью» (рис. 3а) от «дороги усыпанной листьями» (рис. 3б).



а)

б)

Рисунок 3 — Картина, созданная нейросетью по запросам а) «чистая дорога осенью» и б) «дорога усыпанная листьями»



Основная задача робота — собирать листву вращающимися щётками и загружать её в совок. С помощью совка робот сможет складывать листья в прессовочную камеру. Использование пресса позволит увеличить вместимость бака для листьев. Датчик, установленный в бак, будет сигнализировать о его заполняемости.

Собранную листву можно использовать в качестве материала для компоста. Как известно, не во всех регионах страны почва достаточно богата полезными веществами, способствующими быстрому и активному росту цветочных или злаковых культур, поэтому создание удобрений из собранной листвы позволит улучшить плодородные показатели почвы.

В первую очередь необходимо создать устройство, способное эффективно убирать листву под управлением человека, а затем наращивать функционал, постепенно переводить устройство в автоматический режим и обучать нейросеть как можно большему количеству сценариев с благоприятными для поставленной цели исходами.

#### Литература

1. Город будущего на примере Иннополиса [Электронный ресурс] URL: <https://www.tssonline.ru/articles/gorod-budushchego-na-primere-innopolisa>
2. Бензиновый двигатель Ставмаш 170F [Электронный ресурс] URL: <https://clck.ru/328QSo>
3. Нейросеть dream.ai [Электронный ресурс] URL: <https://www.dream.ai/>

*П.Б. Новиков, маг.; С.П. Астахов, доц, к. т. н.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **СРАВНЕНИЕ И АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ РОСТОМЕРОВ**

Цифровой ростомер — это устройство, которое способно найти применение в различных отраслях жизнедеятельности человека. Чаще всего потребность в быстром и точном измерении роста возникает в медицинских учреждениях, военных объектах и спортивных комплексах.

На основе анализа потребности рынка, был разработан цифровой ростомер, выполняющий измерение с помощью ультразвукового датчика расстояния.

Центром управления схемы является микроконтроллер. К нему подключен ультразвуковой датчик *HC-SR04* [1] и символьный *LCD*-дисплей, на котором отображаются рассчитанные микропроцессором данные. Контроллер, также управляет ключами, которые коммутируют светодиодную ленту. Таким образом, если питание подано, а измерений не производится, то светятся красные светодиоды. В случае, если включается тумблер и устройство начинает измерения, светятся зеленые светодиоды.

Согласно алгоритму, после подключения устройства в сеть, происходит инициализация программы и проверка положения тумблера. Затем, в случае переключения устройства в режим измерения, ультразвуковой датчик, находящийся на расстоянии 200 см от нижней горизонтальной поверхности, измеряет расстояние до головы испытуемого. В ходе расчётов, происходящих в микро-



процессоре, получается значение высоты человека, измеренное в сантиметрах, которое отображается на дисплее (рис. 1).



Рисунок 1 — Макет готового устройства

Для сравнения ростомеров были выбраны такие критерии, как точность измерений, максимальный предел измерения и цена.



Рисунок 2 — Ростомер медицинский электронный «Напольный» РЭП

Разработанное устройство имеет максимальный предел измерений — 200 см. Измерения происходят с точностью до 1 сантиметра, а цена не превышает 5000 тысяч рублей.

В результате исследования рыночных аналогов устройства было найдено два электронных ростомера.

Ростомер медицинский электронный «Напольный» РЭП (рис. 2) стоимостью 26 тыс. рублей имеет наибольший предел измерения роста 2 метра 20 сантиметров [2]. Класс точности «Средний» (III), измерения производятся с точностью до сантиметра, имеется резервный источник питания в виде трёх элементов типа АА.

Точность измерений у данного ростомера совпадает с точностью разработанного, но при этом максимальный рост измеряемого может быть на 20 см больше. Цена данного ростомера больше более чем в 5 раз.

Между тем, модель *SECA 763* (рис. 3) стоимостью 104 тыс. рублей имеет также функцию измерения веса человека [3]. Диапазон измерения (ростомера): 110 – 200 см. Дискретность данной модели равна 1 мм, а питается она от сети. Отличительной особенностью устройства является возможность не только измерять и выводить сразу рост и вес человека, но и рассчитывать и отображать его индекс массы тела (ИМТ).

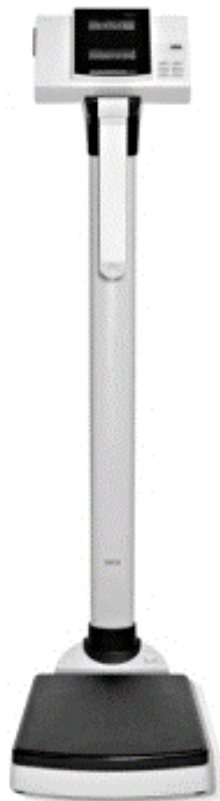


Рисунок 3 — Ростомер *SECA 763*

Точность измерений данного ростомера в 10 раз больше, чем у разработанного, предел измерений равный, а цена ростомера *SECA 763* больше почти в 21 раз.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработанное устройство уступает, либо равно по количественным показателям своим аналогам, не считая цены, которая является выигрышным признаком данного устройства.

На основе данного вывода планируется провести работы по расширению функциональности проекта, а также повышению точности и надежности измерений.

#### Литература

1. Ультразвуковой дальномер HC-SR04 [Электронный ресурс] URL: <https://clck.ru/yTyAZ>
2. Ростомер медицинский электронный «Напольный» РЭП [Электронный ресурс] URL: <https://clck.ru/yTyGs>
3. Ростомер SECA 763 [Электронный ресурс] URL: [https://www.secascales.ru/pages/SECA\\_763/](https://www.secascales.ru/pages/SECA_763/)

*С.А. Образцов, к.т.н., доц.; А.Л. Самулышко, асс.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ЭДС ТРАНСФОРМАТОРНОГО ДАТЧИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ**

Трансформаторные датчики широко используются в измерительной технике в качестве первичных измерительных преобразователей неэлектрических величин в электрические величины, например, датчик перемещения в виде линейного дифференциального трансформатора [1]. Как правило, трансформаторные датчики работают в режиме трансформатора напряжения (ТН). Традиционная схема включения ТН подразумевает работу в режиме, близком к холостому ходу, с измерением напряжения на вторичной обмотке вольтметром с высоким входным сопротивлением (рис. 1). При этом относительная погрешность измерения напряжения не превышает, как правило, 0,5%.

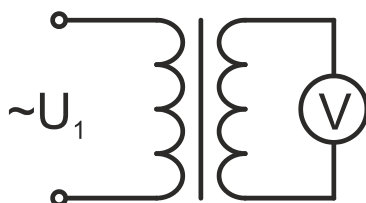


Рисунок 1 — Традиционная схема включения ТН

Однако при работе с переменным напряжением повышенной частоты (от 1000 Гц и выше), а также при наличии линий связи от ТН до измерителя напряжения длиной до 100 м, дополнительная относительная погрешность измерения напряжения может достигать значения 5%. Данная погрешность обусловлена протеканием емкостного тока кабеля линии связи  $I_C$  по вторичной обмотке ТН с выходным сопротивлением  $r + jx_L$  (рис. 2).

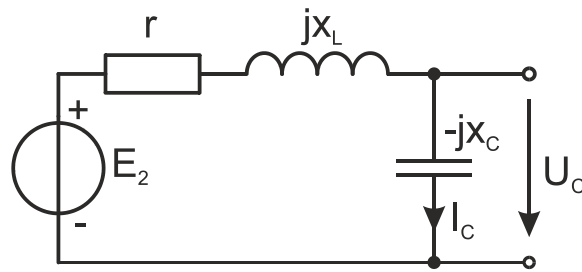


Рисунок 2 — Эквивалентная схема вторичной цепи ТН

Действительно, при частоте напряжения 1000 Гц, выходных параметрах вторичной обмотки ТН  $r = 400 \text{ Ом}$ ,  $x_L = 600 \text{ Ом}$ , линии связи, выполненной кабелем СТПЭГ 5х1 с погонной емкостью 100 пФ/м [2], длиной 100 м дополнительная относительная погрешность измерения составит

$$\varepsilon_{\text{доп}} = \frac{\sqrt{r^2 + x_L^2}}{\sqrt{r^2 + x_L^2 - x_C^2}} \approx \frac{\sqrt{r^2 + x_L^2}}{x_C} = \frac{\sqrt{400^2 + 600^2}}{16000} = 4,5\% .$$

Авторы предлагают следующий способ компенсации выявленной погрешности. Рассмотрим топографическую диаграмму напряжений в цепи вторичной обмотки ТН (рис. 3). Задаваясь известным соотношением реактивной и активной составляющих сопротивления вторичной обмотки ТН  $\text{tg } \alpha = \frac{x_L}{r}$ , получим выражение для ЭДС вторичной обмотки

$$E_2 = \frac{U_C}{\cos \varphi + \sin \varphi \text{tg } \alpha} ,$$

где  $\varphi$  — угол сдвига фазы между напряжениями  $E_2$  и  $U_C$ .

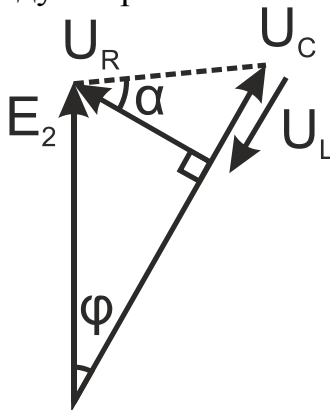


Рисунок 3 — Топографическая диаграмма напряжений во вторичной цепи ТН

Активная составляющая сопротивления вторичной обмотки трансформатора  $r$  имеет ТКС меди, т.е.  $0,428\%/^{\circ}\text{C}$ , что соответствует изменению сопротивления на 53,5% в диапазоне рабочих температур от минус 40 до  $+85^{\circ}\text{C}$ . Поскольку для рассматриваемого ТН составляющие сопротивления  $r$  и  $x_L$  имеют сопоставимые значения, величину  $r$  необходимо дополнительно контролировать с целью определения текущего значения  $\text{tg } \alpha$ , что и реализовано в измерительной схеме, представленной на рис. 4.

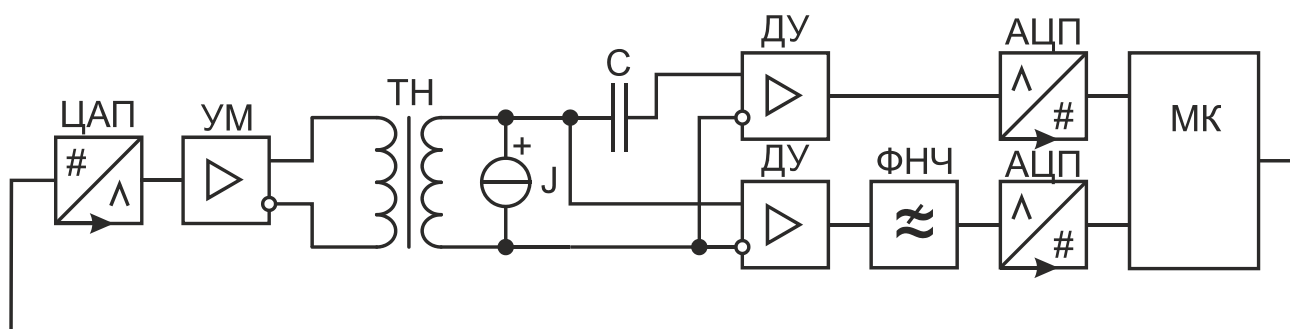


Рисунок 4 — Измерительная схема

Схема работает следующим образом. Микроконтроллер МК с помощью ЦАП формирует задающее синусоидальное напряжение, которое через усилитель мощности подается на первичную обмотку трансформатора напряжения ТН. Через вторичную обмотку ТН протекает постоянный ток, задаваемый источником тока  $J$ . Напряжение со вторичной обмотки подается на два дифференциальных усилителя ДУ, один из которых имеет закрытый вход, а второй — фильтр нижних частот ФНЧ. Далее напряжения оцифровываются с помощью АЦП и обрабатываются в МК. Таким образом, один измерительный канал служит для измерения переменного напряжения вторичной обмотки  $U_c$ , а второй — постоянного напряжения, пропорционального сопротивлению  $r$ .

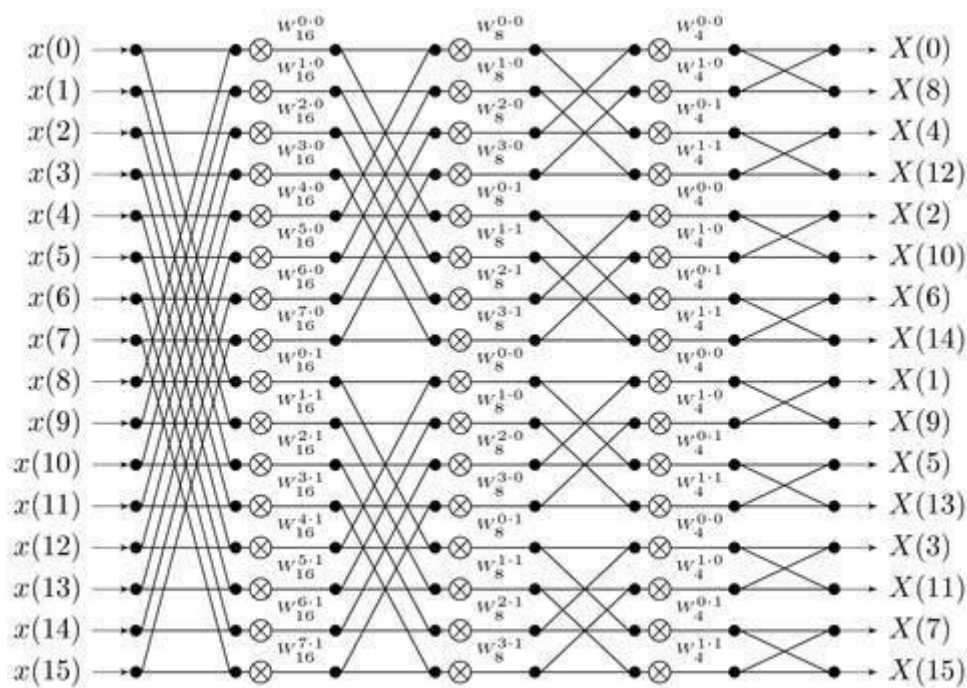


Рисунок 5 — Структура алгоритма БПФ

Для измерения значения ЭДС на вторичной обмотке трансформатора необходимо измерить действующее напряжение на вторичной обмотке и его фазовый сдвиг относительно задающего сигнала, причем на основной гармонике.

Наиболее просто это может быть реализовано с помощью дискретного преобразования Фурье или его алгоритмической реализации в виде быстрого

преобразования Фурье (БПФ). Однако классический алгоритм БПФ для входного сигнала с  $4^N$  отсчетами вычисляет  $4^N$  отсчетов спектра, из которых требуется только лишь один.

Для упрощения вычислительной сложности алгоритма БПФ рассмотрим его структуру (рис. 5), состоящую из элементарных двухточечных БПФ в виде так называемой «бабочки» [3]. В данной схеме необходимо оставить только выражения для получения отсчета спектра  $X(1)$ .

Для этого на первой стадии необходимо вычислить промежуточные значения БПФ с использованием выражений

$$X(k) = x(k) + N/2 \cdot e^{j\frac{2\pi k}{N}}, k = 0 \dots N/2 - 1.$$

Далее вычисления проводятся по рекуррентным соотношениям

$$X(k) = \sum_{m=0}^{k/2} X(m) + X(m + k/2), k = N/2; N/4; \dots; 2$$

до получения значения  $X(1)$ .

Для упрощения вычислений целесообразно разделить вычисления отдельно для действительной и мнимой частей  $X(k)$ , а также составить таблицу значений функции синуса.

Действующее значение  $E_2$  и угол сдвига фаз определяются по формулам

$$E_2 = \frac{2}{N} \sqrt{\text{Re}^2 \{X(k)\} + \text{Im}^2 \{X(k)\}}$$

$$\varphi = \arctg \left( \frac{\text{Im} \{X(k)\}}{\text{Re} \{X(k)\}} \right)$$

Представленный способ реализован в датчике давления на базе первичного преобразователя в виде линейного дифференциального трансформатора с основной приведенной погрешностью измерения давления, не превышающей 0,6%.

#### Литература

1. Радев, Х. Метрология и измерительная техника : книга-справочник : в 3 т. — Челябинск: Издательский центр Южно-Уральского государственного университета, 2014.
2. ТУ16-505.540-82. Кабели судовые термостойкие герметизированные экранированные.
3. Нуссбаумер, Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления сверток. — М.: Радио и связь, 1985.

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

### **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СВЕРХМИНИАТЮРНОЙ ЛАМПЫ СМН-6-80 В СРЕДЕ MICRO-CAP 11**

Под лампой накаливания принято понимать некоторый электронный прибор для искусственной генерации света (электромагнитной волны видимого диапазона), в котором генерация осуществляется за счёт испускания света телом накала, которое нагревается посредством протекания электрического тока до высоких температур [1]. Большую группу ламп накаливания составляют миниатюрные и сверхминиатюрные лампы накаливания, применяемые в

различных приборах радио- и электронной техники, в авиации, ракетной техники, медицинских и электробытовых приборах.

Несмотря на многие возможные сферы применения миниатюрных и сверхминиатюрных ламп накаливания данный класс электронных приборов не обеспечен технической документацией, адекватно описывающей нелинейные и инерционные характеристики этих ламп. А такие характеристики необходимо знать, например, при использовании сверхминиатюрных ламп накаливания в цепях обратных связей генераторов синусоидальных колебаний. В этом случае лампа выполняет функцию нелинейного элемента, стабилизирующего амплитуду выходного сигнала. Кроме того, в программах имитационного и схемотехнического моделирования отсутствуют модели сверхминиатюрных ламп накаливания, что делает невозможным анализ режимов работы устройств, в состав которых входят системы управления, использующие нелинейные свойства сверхминиатюрных ламп накаливания. Данный фактор обеспечивает актуальность разработки модели сверхминиатюрных ламп.

В качестве исследуемого образца использовалась сверхминиатюрная лампа СМН-6-80-2 с номинальным напряжением питания 6 В и током потребления 80 мА. В результате измерений были получены следующие данные (табл. 1) вольт-амперной характеристики, а также время тепловой инерционности – 10 мс.

**Таблица 1 — Измеренные отсчеты ВАХ**

№ отсчета	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА	№ отсчета	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА
1	0,2	13,4	17	3,4	50,6
2	0,4	18,2	18	3,6	52,7
3	0,6	21,1	19	3,8	54
4	0,8	24,6	20	4	55,6
5	1	27,2	21	4,2	56,8
6	1,2	29,5	22	4,4	58,7
7	1,4	31,7	23	4,6	60,2
8	1,6	33,8	24	4,8	61,7
9	1,8	35,5	25	5	63,2
10	2	37,6	26	5,2	64,3
11	2,2	39,9	27	5,4	65,4
12	2,4	41,4	28	5,6	67,3
13	2,6	43,8	29	5,8	68,4
14	2,8	45,5	30	6	69,4
15	3	47,3	31	6,2	71
16	3,2	48,9	32	0,2	13,4

После проведения аппроксимации методом регрессионного анализа было установлено, что наименьшая средняя ошибка аппроксимации (2,2 %) и наиболее точный ход регрессионной кривой, соответствующей реальной ВАХ, наблюдаются в степенной регрессии  $y = 27.648 \cdot x^{0.5} \cdot 10^{-3}$  (рис. 1).



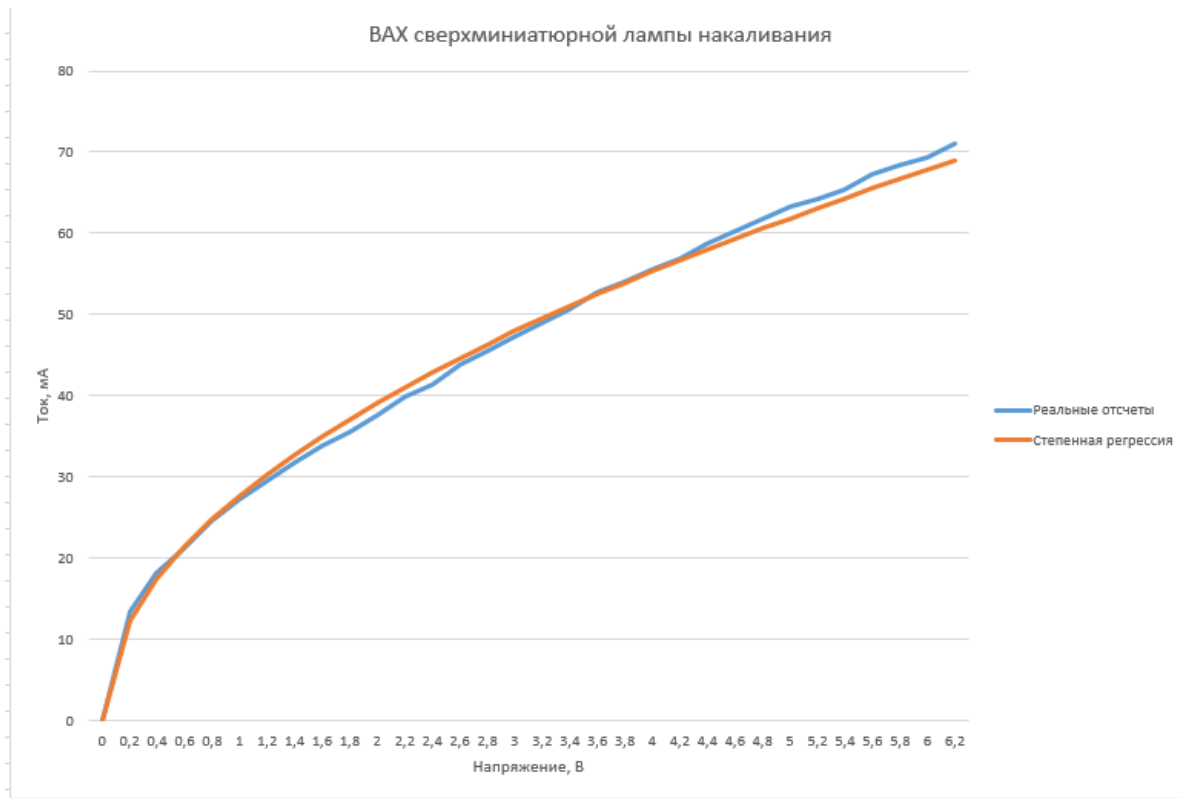


Рисунок 1 — График степенной и реальной функций

Построение математической модели исследуемой лампы следует начать с математического описания нелинейного сопротивления лампы накаливания:

$$\begin{cases} I_Z = 27.648 \cdot U_{ax}^{0.5} \cdot 10^{-3} \\ Z(U_{ax}) = \frac{U_{ax}}{I_Z} \end{cases} \Rightarrow Z(U_{ax}) = \frac{U_{ax}}{27.648 \cdot U_{ax}^{0.5} \cdot 10^{-3}} = 36.17 \cdot \sqrt{U_{ax}} \quad (1)$$

Математическая модель исследуемой лампы накаливания, учитывающая переходный процесс и ВАХ лампы, будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} Z(U_{ax}) &= 36.17 \cdot \sqrt{U_c}, \\ U_c &= U_{ax} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \end{aligned} \quad (2)$$

Построим схемотехническую реализацию данной математической модели (рисунок 2).

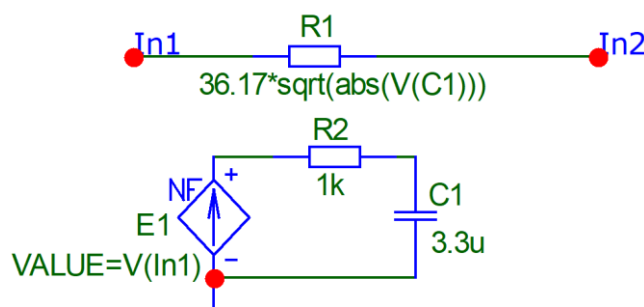


Рисунок 2 — Схемотехническая модель сверхминиатюрной лампы в среде *Micro-Cap 11*

Тепловая инерционность при включении лампы представлена  $RC$ -цепочкой с параметрами, соответствующими математической модели (2). Сопротивление  $R_2$  и емкость конденсатора  $C_1$  подобраны таким образом, чтобы заряд



конденсатора  $C_1$  произошел за время  $3 \cdot \tau = 10 \text{ мс}$ . Источник напряжения представляет собой входное напряжение лампы  $U_{\text{вх}}$ . Сопротивление  $R_1$  изменяется нелинейно согласно математической модели, только напряжение конденсатора берётся по модулю. Недостатком данной модели является неучтенное сопротивление холодной спирали, которое фактически ограничивает стартовый выброс тока. Согласно измерения активного сопротивления сверхминиатюрной лампы накаливания в выключенном состоянии (сопротивление холодной нити накала  $\approx 32,5 \text{ Ом}$ ) в модель было добавлено уточнение характеристики сопротивления лампы (рисунок 3).

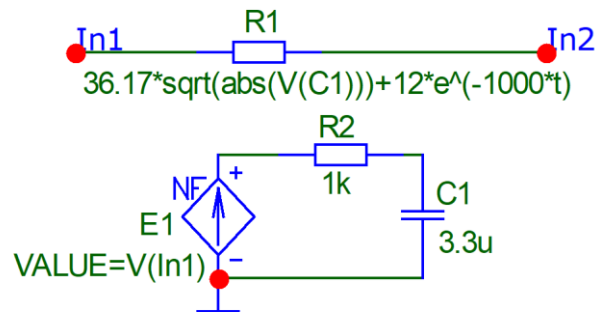


Рисунок 3 — Уточненная модель сверхминиатюрной лампы в среде *Micro-Cap 11*

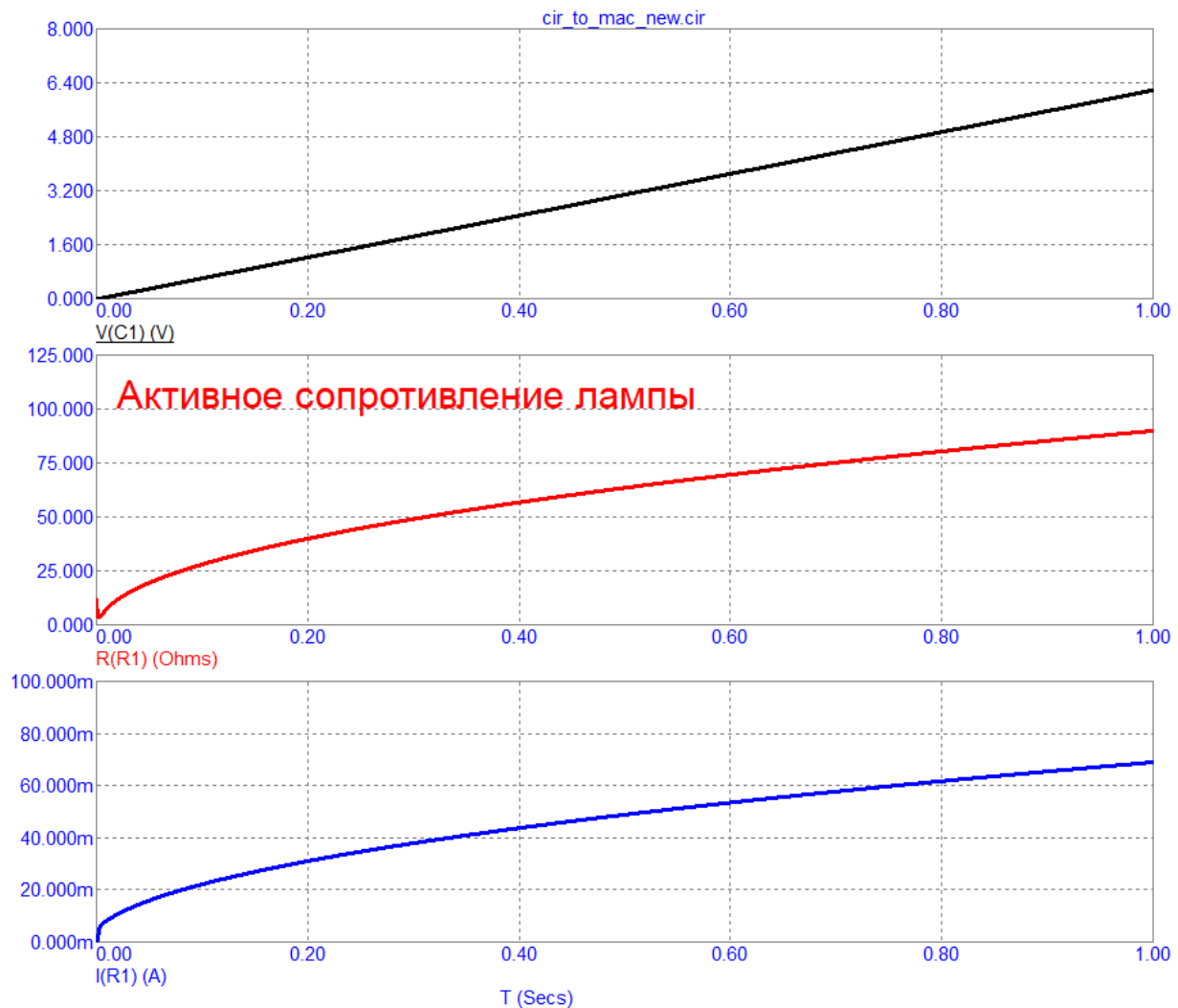


Рисунок 4 — Моделирование модели сверхминиатюрной лампы в среде *Micro-Cap 11*

В уточненной модели активное сопротивление лампы в начальный момент времени 32,5 Ом. За время переходного процесса (10 мс) активное сопротивление холодной нити накала станет пренебрежительно мало (0,00054 Ом). Проведем моделирование разработанной модели (рис. 4 – 5).

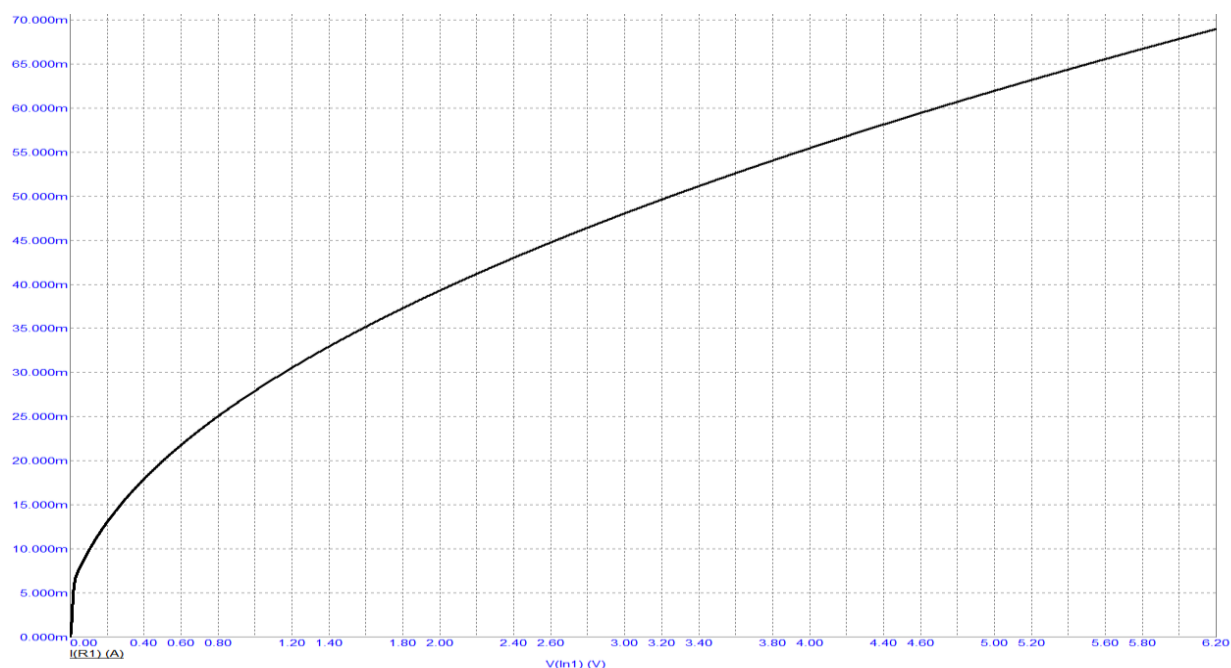


Рисунок 5 — ВАХ модели сверхминиатюрной лампы в среде *Micro-Cap 11*

Как видно из результатов моделирования, характеристики схемотехнической модели соответствуют полученным экспериментальным путём характеристикам реальной лампы накаливания СМН-6-80. В завершение разработки был выполнен синтез Макро-модели в среду *Micro-Cap 11* для возможности быстрого и упрощенного пользования моделью (рис. 6).

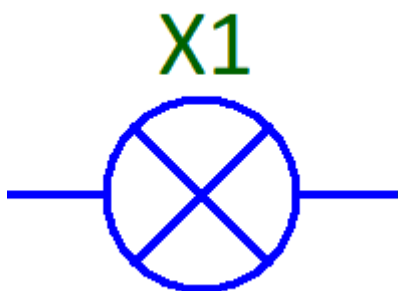


Рисунок 6 — УГО модели сверхминиатюрной лампы в среде *Micro-Cap 11*

Таким образом, была разработана модель сверхминиатюрной лампы накаливания СМН-6-80 в среде *Micro-Cap 11*. Полученная модель может быть полезна при моделировании устройств и отдельных узлов схем, содержащих сверхминиатюрные лампы накаливания.

#### Литература

1. Батюшев В.А. Электронные приборы. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. — М.: Техносфера, 2005. — 632с., ил.

## **МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА**

В последние годы получившие популярность в сферах пищевой, химической и обрабатывающей промышленности индукционные парогенераторы получают всё большую востребованность. Промышленные установки, предназначенные для преобразования воды в насыщенный пар, начинают активно применяться в сферах утилизации трудносжигаемого мусора и радиоактивных остатков, а также в качестве области альтернативной энергетики. Этому способствует получение более стойких к температурному режиму работы «змеевиков», которые под воздействием внешнего мощного магнитного поля разогреваются до такой степени, что за время протекания через них вода успевает превращаться в пар. Получение толерантных к температурам порядка 500 – 700 °С проводников позволяет получать на выходе промышленной установки высокотемпературный (перегретый, сухой) пар, который в присутствие внешнего магнитного поля может разлагаться на составляющие воду ионы, которые, как известно, имеют способность к горению с выделением значительного уровня энергии. Существенным преимуществом при этом является близкий к единице КПД преобразования электрической энергии в энергию перегретого пара, в результате чего пароперегреватели становятся актуальной темой для обсуждения в инженерно-научных сообществах.

Фактически разогревающийся проводник воды является вторичной короткозамкнутой обмоткой трехфазного трансформатора. Материал проводника подбирается таким образом, чтобы обеспечить максимально возможную магнитную связь и наибольшую электропроводность, что обеспечит быстрое раскаление поверхности проводника с минимальными реактивными потерями мощности. Вода, выступающая при этом в качестве охладителя, разогревается до состояния пара.

Несложно заметить, что данный вид электромагнитного нагревателя имеет преимущественно индуктивную электрическую природу, что формирует для разработчиков автоматизированной системы управления ряд задач:

1. Борьба с индуктивными токами включения, которые при высокой мощности (порядка 70 кВт и выше) могут достигать величины 140 А и выше в каждой из фаз [1], что уже может являться достаточно ресурсной нагрузкой для большинства питающих подстанций. При использовании более мощных индуктивных парогенераторов питающая сеть может не справиться с бросками тока.

2. Регулирование уровня передаваемой мощности, которое опять же является достаточно затруднительным при достаточно высоких расчетных мощностях парогенераторов.

Данные задачи решаются правильным выбором метода регулирования передаваемой мощности, который будет являться основой функционирования

системы управления индуктивного парогенератора. Целью данного исследования является рассмотрение основных методов регулирования мощности и выбор наиболее предпочтительного для использования в системах управления индуктивных парогенераторов.

Существует 5 основных методов регулирования мощности в промышленных установках [2]. Они исключительно применимы для сетей переменного тока (в том числе трехфазных), в качестве коммутирующего устройства традиционно рассматривается блок тиристоров для коммутации положительного и отрицательного полупериодов питающей сети переменного тока.

### 1. Управление фазовым углом открывания тиристора.

Данный метод заключается в регулировании мощности путем изменения времени открытия тиристора внутри периода. Моменты включения при этом необходимо синхронизировать с моментом перехода через ноль питающего напряжения, чтобы не допустить значительных бросков тока и формирования помех в питающей сети. Визуально принцип регулирования демонстрируется следующими диаграммами (рисунок 1 – а).

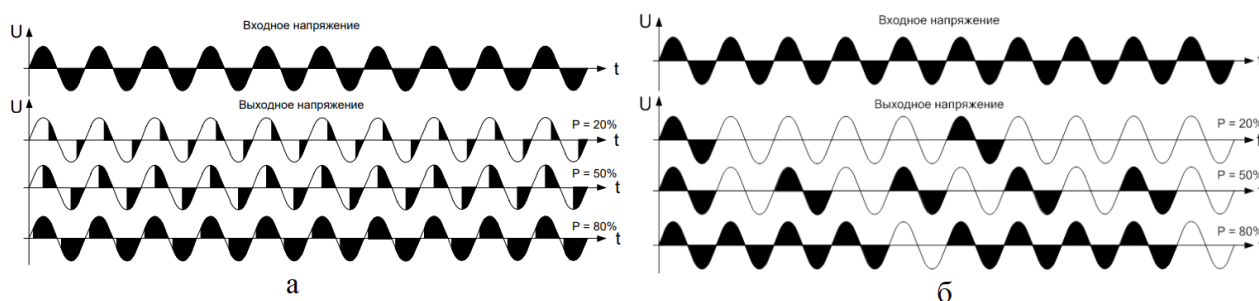


Рисунок 1 — Временные диаграммы фазового и числоимпульсного управления

### 2. Числоимпульсное управление.

При данном методе регулирования тиристор открывается в момент перехода через ноль питающего напряжения и остаётся в таком состоянии в течение всего периода коммутации. Передаваемая мощность определяется соотношением количества периодов во включенном и выключенном состояниях. Глубина регулирования задается выбором общего количества данных периодов (как правило выбирается индивидуально исходя из частотных характеристик объекта управления). Визуально принцип регулирования демонстрируется следующими диаграммами (рисунок 1 – б).

### 3. Способ пакетного управления.

Данный метод заключается в открытии тиристора с заданной задержкой включения (заданное количество периодов). Соотношение количества периодов питающей сети с открытым состоянием к общему количеству периодов определяет уровень передаваемой мощности, глубина регулирования определяется аналогично методу числоимпульсного управления. Визуально принцип регулирования демонстрируется следующими диаграммами (рисунок

2). Основное преимущество пакетного способа управления заключается в компенсации бросков тока при коммутации индуктивных нагрузок (рисунок 2).

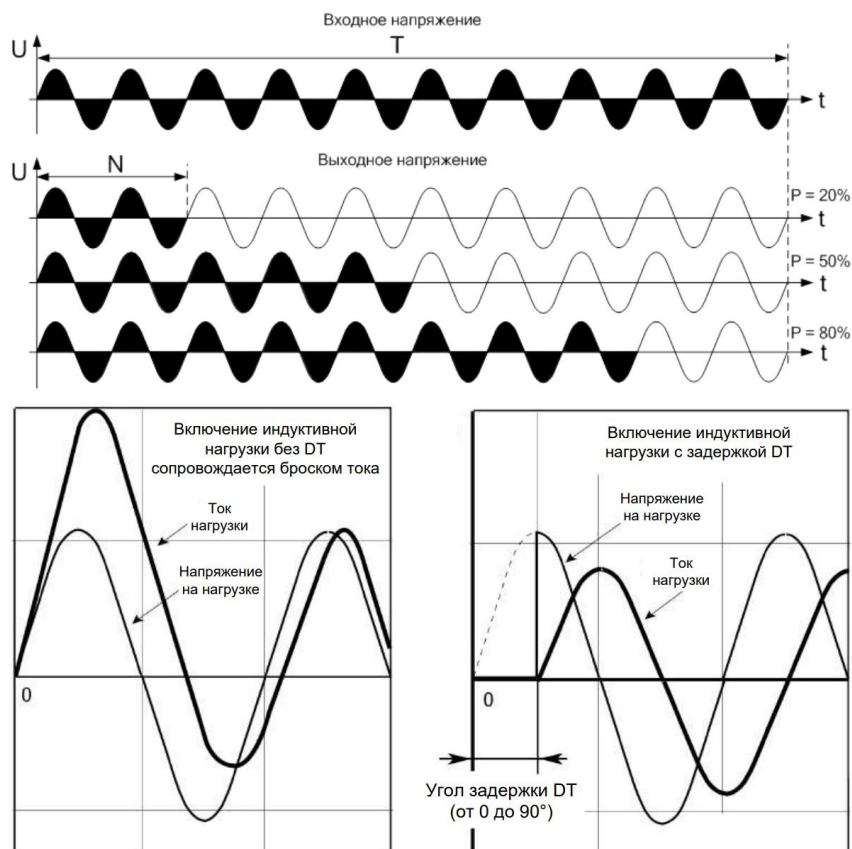


Рисунок 2 — Временные диаграммы пакетного метода управления

4. Способы пакетного управления с режимами однократного и многократного плавного пуска.

Плавный пуск заключается в том, что пачка периодов начинается в плавного нарастания мощности методом фазового регулирования (то есть от периода к периоду количество передаваемой мощности увеличивается путем увеличения фазового угла открытого состояния тиристора внутри каждого из тиристоров), после чего энергия передается в полном объеме в течение заданного количества периодов пачки. Различия методов заключается в том, что в режиме многократного плавного пуска (рисунок 3 – а) каждая пачка периодов начинается с плавного нарастания мощности методом фазного регулирования, в случае же однократного плавного пуска (рисунок 3 – б) фазное регулирование используется лишь для первой пачки периодов.

При использовании данных принципов регулирования в системах автоматического регулирования, в которых в качестве объекта регулирования выступает некоторая тепловая машина с высокой степенью температурной инерционности, особой разницы между данными методами не существует, поэтому предпочтительнее в данном случае использование пакетного управления с режимом однократного плавного пуска, поскольку данный метод регулирования обладает меньшей сложностью.

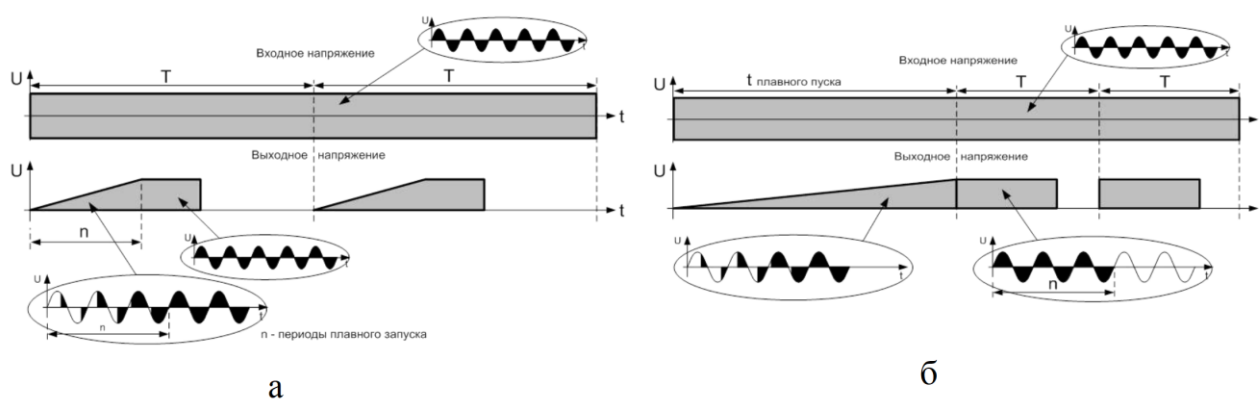


Рисунок 3 — Временные диаграммы пакетного метода управления с многократным и однократным плавным пуском

Как можно заметить, методы пакетного регулирования наиболее предпочтительны для нагрузок индуктивного типа. При чем метод пакетного управления с однократным плавным пуском обеспечивает наиболее плавный старт работы (разогрев змеевика), что является предпочтительным для случаев, когда проводник не успевает наполниться водой, что может привести к его перегреву и разрушению. Многократный плавный пуск в данном случае не нужен, так как парогенераторы являются достаточно инерционными с точки зрения температуры объектами регулирования.

Таким образом, были изучены основные методы регулирования передаваемой мощности в системах автоматического регулирования. Для управления индуктивными парогенераторами (пароперегревателями) наиболее предпочтительным является метод пакетного управления с однократным плавным пуском.

#### Литература

1. Батюшев В.А. Электронные приборы. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. — М.: Техносфера, 2005. — 632с., ил.

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

### ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТОВ ГОРОДСКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Процесс урбанизации, который начался еще во время становления первых государств, продолжается по сей день и в процентном соотношении продолжает расти. Причин у данного явления достаточно много, но в большинстве случаев они заключается в желании населения пользоваться всеми теми же современными возможностями городов, какими пользуются городские жители. При этом приток населения для самих городов во многом является нехорошей тенденцией, поскольку большая плотность населения и многочисленность неизбежно приводят к городским коллапсам [1]: автотранспортные заторы,



большой информационный поток, перегружающий службы местного самоуправления, энергетические ресурсы потребляются во много больших количествах, чем рассчитаны линии городского электроснабжения, ухудшение экологической обстановки и т.п.

Обозначенные коллапсы лишь часть тех проблем, которые обрушиваются на большие города, что подводит к вопросу о разработке систем и проектов городской автоматизации. Вопрос автоматизации на данный момент ставится не впервые, как и обозначенные проблемы становятся наиболее острыми не только лишь в последние годы. Во многих крупных городах системы и проекты городской автоматизации уже тестируются, а где-то имеют полноценное внедрение: например, город Сан-Франциско, в который был интегрирован проект автоматизированного доступа к парковочным местам во всем городе [2], в результате чего в городе значительно уменьшились транспортные коллапсы и, как следствие, общий уровень загрязнённости воздуха.

Однако за долгие годы разработок, развития и попыток внедрения систем городской автоматизации ситуация кардинально не была улучшена, так как отдельно взятые системы так и остались на уровне инновационных проектов и стартапов, которые трудно связать в общую систему. Каждая из подсистем решала вопросы своего назначения и не могла быть применена для обмена данными с другой для более эффективной работы обеих из них (рисунок 1).



Рисунок 1 — Сферы применения систем городской автоматизации

Целью данного исследования является выявление основных принципов разработки систем городской автоматизации, которые могли бы лечь в основу

полноценной глобальной системы городской автоматизации.

1. Принцип расширяемости и довольно простой интеграции глобальной системы городской автоматизации.

Ни для кого не секрет, что полноценная система практически никогда не может заработать с первого раза, учитывая целое множество мешающих факторов. При разработке полноценной глобальной системы необходимо быть готовым к тому, что любая из функционирующих ранее систем может быть в любой момент заменена на другую систему, способную решать спектр задач предыдущей системы и имеющей намного больше перспектив для долголетнего использования в глобальной системе городской автоматизации (рисунок 1). Поэтому необходимо, чтобы подключение каждой из подсистемы имело унифицированную форму (интерфейс, протокол, точка доступа).

2. Принцип бесперебойного функционирования системы.

Количество возможных подсистем в глобальной системе городской автоматизации может быть достаточно большим, каждая из подсистем осуществляет периодическую передачу больших объемов данных. Существующие сети 3G и 4G на данный момент технически устарели, для адекватной работы глобальной системы городской автоматизации требуется высокоскоростная и надёжная сеть следующего поколения 5G, скорость передачи данных в которой порядка нескольких Гбит/с.

3. Принцип максимально возможного исключения человеческого фактора.

Данный принцип предполагает использование нейросетей и искусственного интеллекта [3]. Предполагаемый поток данных в глобальной системе городской автоматизации будет настолько большим, что в режиме реального времени человек не будет в состоянии вовремя принимать решения. Благодаря использованию нейросетей система городской автоматизации будет способна маршрутизировать автономный публичный транспорт, интеллектуально управлять автомобильными трафиками и электросетями, выполнять почтовые доставки с помощью дронов, анализировать социальное, экономическое и экологическое благополучие, принимать решения при возникновении аварийных ситуаций и т.п.

В частности, искусственный интеллект необходим для проведения видеоаналитики, в том числе в рамках реализации проекта «безопасный город». Данный проект реализуется уже во многих мегаполисах, но без централизованной аналитики из-за чего снижается эффективность и возрастает время реагирования на какое-либо чрезвычайное происшествие. При этом будет также возможно наиболее эффективно отслеживать передвижения транспорта, загруженность дорог, обнаруживать нарушения, адаптивно изменять время проезда перекрестка для его наиболее скорой разгрузки. Городским службам при этом остается лишь отслеживать структурированные результаты анализа данных от видеокамер.

4. Принцип роботизации городских служб и т.д.

Роботизация заключается не только в решении некоторых типовых задач (охранные системы, парковочные, противопожарные и т.п.), но и в решении



задач городских служб, таких как: возможности ремонта дорог, уборки мусора и его сортировки, уборки улиц без непосредственного участия людей, оценивать состояние коммуникаций. В качестве примера можно также привести роботизацию касс в супермаркетах, что позволит в любое время максимально быстро обслуживать конечных потребителей реализуемой продукции. Большая востребованность уже сейчас наблюдается в сфере почтовых отправок, которые большей части населения хочется заменить на роботизированную доставку в виду меньшей эффективности людей данной профессии.

#### 5. Принцип интеграции виртуальной и дополненной реальности.

Использование виртуальной и дополненной реальности является ключевым элементом четвертой промышленной революции. Они могут быть прекрасно применяемы для обучения человека профессиональным компетенциям, предоставления услуг развлекательного характера и многого другого.

Таким образом, были выявлены основные принципы разработки систем городской автоматизации, которые могли бы лечь в основу полноценной глобальной системы городской автоматизации.

#### Литература

1. Евтушенко, С.И. Автоматизация и роботизация строительства: Учебное пособие / С.И. Евтушенко, А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев, Д.Я. Паршин. — М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2017. — 452 с.
2. Кременец, Ю.А. «Технические средства регулирования дорожного движения» / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский - М.: Транспорт, 2011г. 255 с.
3. Барский, А.Б. Логические нейронные сети: Учебное пособие / А.Б. Барский. - М.: Бином. ЛЗ, ИНТУИТ.РУ, 2012. - 352 с.

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

### **РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА МОНИТОРИНГА СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

Одним из актуальных направлений развития электроники является разработка систем мониторинга и контроля для транспортных средств [1], которые способны предупредить и в некоторых случаях предотвратить или свести к минимуму получаемый ущерб от аварийной ситуации. Такие системы имеют различный эффект: какие-то оперируют тормозной системой, ориентируясь при этом на результаты анализа потенциального возникновения аварийной ситуации, другие предупреждают водителя о вероятности возникновения опасности в результате его утомленного состояния, условий плохой видимости или опасных климатических условий.

Существует также класс вспомогательных систем транспортных средств, которые анализируют стиль вождения водителя и дают ему рекомендации по корректировке навыков, чтобы снизить расход топлива или уровень аварийной опасности. Однако большинство людей пренебрегает данными рекомендациями,

в результате чего попадают в ДТП, а ценой их пренебрежительного отношения нередко становятся их собственные и чужие жизни. Целью данного исследования является разработка устройства мониторинга скоростного режима транспортного средства, ожидаемый результат исследования заключается в разработке структурной схемы, на основе которой можно реализовать предлагаемое устройство.

Предлагаемое техническое решение в отличие от аналогичных систем будет побуждать водителей соблюдать скоростной режим методом финансового стимулирования, а именно – получения штрафа в случае несоблюдения скоростного режима. Суть устройства состоит в использовании технологии спутникового ориентирования «ГЛОНАСС» (или её американского аналога – GPS) для определения местоположения автомобиля в конкретные моменты времени.

Алгоритм работы устройств спутникового мониторинга согласно данным технологиям следующий: терминал (некоторое приемо-передающее устройство) выполняет запрос (отправляет модулированный сигнал) на определение позиции для системы спутников; терминал в ответ получает отклик от спутников, из сопоставления временных задержек каждого из спутников вытекает информация о точных координатах терминала.

При использовании данного алгоритма в непрерывном режиме появляется возможность определения не только координат объекта в текущий момент времени, но и его скорости относительно последнего полученного отсчета и времени между отсчетами [2]. Стоит отметить, что при движении объекта, точность определения координат несколько ниже, тем не менее данной точности хватает, чтобы судить о скорости с точностью не менее 1-2 км/ч.

Сервер, на который перенаправляются данные посредством всё той же спутниковой связи, анализирует скорость перемещения транспортного средства и сопоставляет со скоростным режимом участка дороги, по которому в данный момент движется транспортное средство. В случае фиксации нарушения подробные данные (время, координаты, рассчитанная скорость, участок дороги и т.п.) отправляются в ГИБДД, где штраф может обжаловаться (например, если на участке дороги находился временный знак о скоростном режиме, данные о котором не были внесены в реестр системы анализа движения транспортного средства).

Структурная схема предлагаемого устройства будет иметь следующий вид (рисунок 1). Основными элементами в данной схеме являются микроконтроллер (программируемая микросхема, основное предназначение которой состоит в управлении электронными и микропроцессорными устройствами) и GPS-модуль (микропроцессорный модуль с антенной, принимающий сигналы со спутников для осуществления навигационных функций в электронном устройстве [3]).

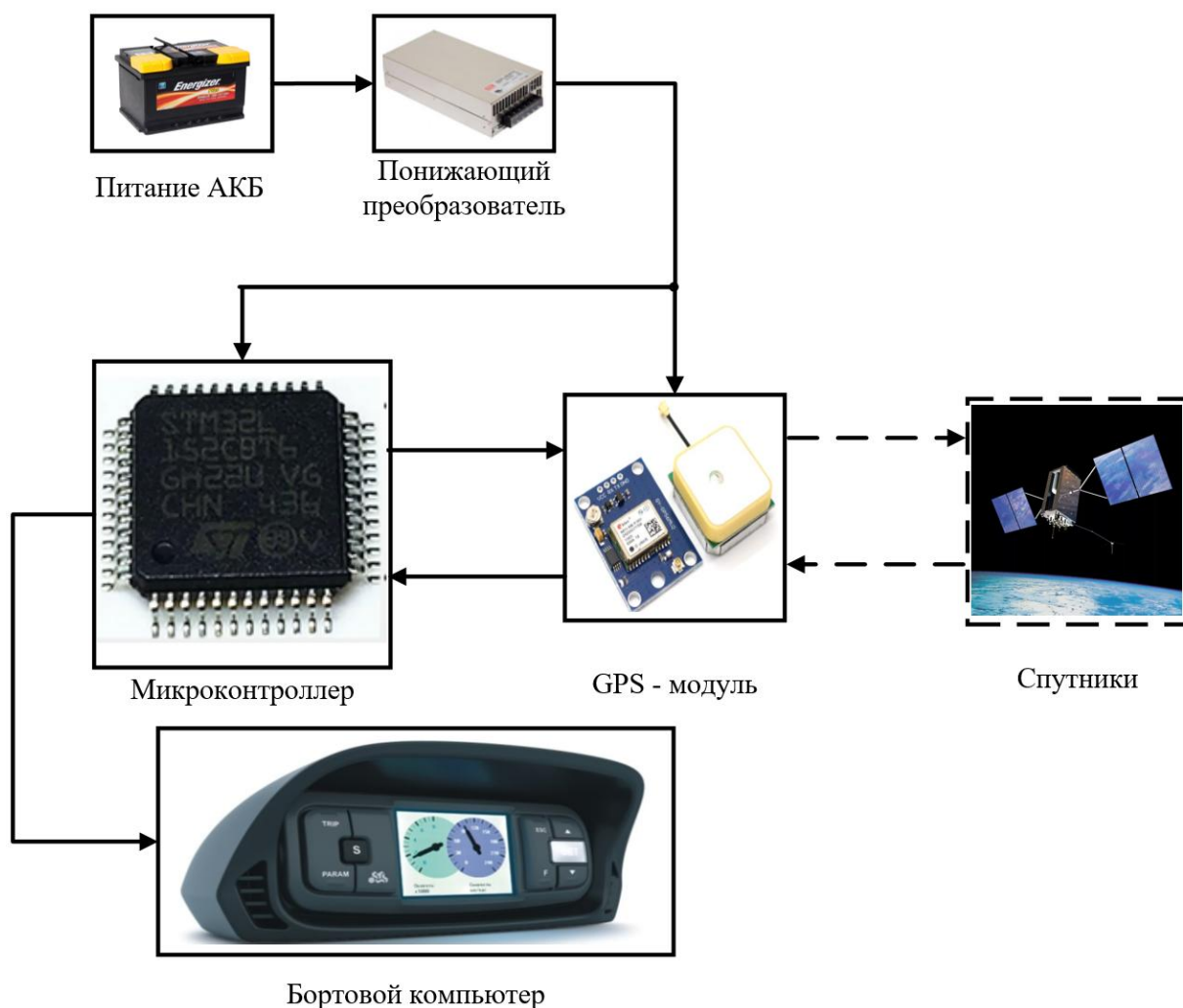


Рисунок 1 — Структурная схема устройства мониторинга скоростного режима

Алгоритм работы микроконтроллера состоит в следующем: через каждый определенный промежуток времени МК делает запрос через GPS-модуль спутникам. После чего получает в ответе координаты и время запроса. После этого данные отправляются через GPS-модуль на сервер обработки данных. Обмен заключается получением микроконтроллером отклика от сервера, в сообщении от которого при фиксации сервером нарушения или приближения скоростного режима к пороговому отражается информация, по которой центральный узел обработки делает соответствующие выводы. Далее информация может быть перенаправлена на бортовой компьютер для предупреждения водителя о возможном нарушении скоростного режима или о сигнализации его о фиксировании нарушения скоростного режима на участке дороги.

Питание устройства осуществляется от автономного источника питания (аккумулятора транспортного средства). Поскольку питание АКБ является много большим стандартного напряжения питания микроконтроллеров, то в устройстве требуется использование понижающего преобразователя напряжений (который также будет являться стабилизатором напряжения питания устройства).

Отличительной особенностью устройства является то, что его можно будет в дальнейшем (при составлении подробных карт России с разметками и т.п.) использовать не только для мониторинга скоростного режима, но и для контроля движения по полосам, анализа пересечения сплошных полос, разворота в неположенном месте и прочих административных нарушений, за которые также полагается штраф. Вычислительных возможностей микроконтроллера и пропускной способности беспроводного канала связи будет достаточно для полноценной передачи данных между спутниками, предлагаемым устройством и сервером, чтобы устройство работало в режиме реального времени, а, следовательно, и своевременно уведомляло бы водителя о возможном нарушении скоростного режима.

Таким образом, была разработана структурная схема устройства мониторинга скоростного режима транспортного средства. Данное устройство способно существенно снизить риск дорожно-транспортных происшествий, обусловленных несоблюдением водителями правил дорожного движения. Отличительной особенностью устройства является то, что его можно будет в дальнейшем использовать не только для мониторинга скоростного режима, но и для контроля движения по полосам, анализа пересечения сплошных полос, разворота в неположенном месте и прочих административных нарушений.

#### Литература

1. Палагута К.А., Микроконтроллеры в системах управления современных автомобилей.- М.: Московский государственный индустриальный университет, 2007, 218 с.
2. Мартин Т. Микроконтроллеры Atmega. Семейство микроконтроллеров AVR. Вводный курс. – М.: изд. Додэка-XXI, 2010. – 296 с.
3. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Беспроводные сети. 5-е изд. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.

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

### **ПРОЕКТ РАСШИРЕНИЯ ЗОНЫ ПОКРЫТИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ ГОРОДСКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ**

В результате неуклонного роста темпов урбанизации в городах с развитой инфраструктурой городские службы повседневно сталкиваются с различными проблемами, связанными с перенаселенностью города. Для решения сопутствующих проблем (таких как автотранспортные заторы, большой информационный поток, перегружающий службы местного самоуправления, энергетические ресурсы потребляются во много больших количествах, чем рассчитаны линии городского электроснабжения, ухудшение экологической обстановки и т.п. [1]) в крупнейших городах повсеместно интегрируются проекты и системы городской автоматизации, которые бы значительно способствуют решению городских коллапсов.

Именно поэтому значительная часть изобретений, проектных решений, стартапов и прочей научно-инженерной деятельности в настоящее время

направлены на разработку систем городов будущего. На основании данного факта можно сделать вывод об актуальности изучения перспективных технологий и разработки методов их внедрения в системы городской автоматизации.

При изучении систем городской автоматизации инженеры довольно часто используют термин «умный город» (*smart city*), среди ключевых качеств которого выделяются: оснащённость, объединённость и интеллектуальность. В европейском обществе преобладает мнение, что ключевой особенностью умных городов является стремление решать общественно-социальные проблемы при использовании телекоммуникационных и цифровых средств и методов. Определение умных городов в нашей стране во много схоже, а ключевым фактором является решение вопросов благоприятного течения жизнедеятельности людей и окружающей среды.

Для понимания того, какие проектные решения и системы городской автоматизации будут наиболее востребованы в городах будущего, необходимо понимать некоторые базовые принципы построения умного города:

- 1) город должен быть ориентированным на человека (житель, бизнес, рабочий персонал, туризм);
- 2) составляющие подсистемы умного города должны быть хорошо управляемыми;
- 3) доступность и открытость для новых инновационных идей и реализаций;
- 4) информативность, цели и результаты деятельности должны быть максимально открыты (данный принцип является некоторым продолжением концепции открытости городских служб и муниципальных образований);
- 5) защите персональных данных должно уделяться особое внимание;
- 6) умный город с точки зрения глобальной системы городской автоматизации должен быть коммуникабельным по отношению к каждой из подсистем, интегрированной службе и инфраструктуре;
- 7) город должен быть максимально вовлечённым в обучение и развитие граждан.

Одной из наиболее трендовых технологий в сфере разработок систем городской автоматизации является технология движущихся беспроводных сетей (рисунок 1), которая решает целый ряд задач:

- значительно расширяет зону покрытия беспроводных сетей, к которым у горожан имеется бесплатный доступ (как, например, практикуется в вагонах метро и общественных местах), обеспечивает связь в «мёртвых зонах»;
- предоставление данных с бортовых датчиков средств перемещения беспроводной сети, что может значительно упростить мониторинг и логистику в городе. К тому же анализ скорости передвижения средства перемещения может дать объективную, своевременную и достоверную информацию о движении транспортных потоков в городе [2];
- снижение затрат на обслуживание;
- повышение пропускной способности сети и её надёжности;
- уменьшение потерь и задержек;

– и др.;



Рисунок 1 — Принцип самоорганизации движущихся беспроводных сетей

Монтаж беспроводных точек осуществляется на различных транспортных средствах, в частности на городском общественном транспорте, в машинах коммунальных служб, такси, беспилотниках и т.д. Данный подход имеет два существенных преимущества:

- во-первых, каждое транспортное средство оснащено бортовым источником питания, то есть приемо-передающее устройство всегда будет оснащено стабильным питанием, что в свою очередь позволит использовать его с максимальной пропускной способностью, в режиме наибольшей мощности и с применением сложных современных алгоритмов шифрования и самоорганизации;

- во-вторых, обозначенные транспортные средства являются достаточно плотно распределёнными по городской территории и магистралям, чем и обусловлено значительное увеличение зоны покрытия сети, которую зачастую не могут обеспечить приемо-передающие вышки сотовой связи. Кроме того, данный вид беспроводной связи не будет подвержен плохим погодным условиям, так как поток данных в топологии движущихся беспроводных сетей может передаваться от точки к точке.

В основе функционирования данных сетей лежат продвинутые алгоритмы и динамическая конфигурация, в результате чего беспроводные сети постоянно самоорганизуются (в том числе могут выбрать наименьший путь передачи данных, чтобы доставить их от отправителя к получателю), способны в режиме реального времени адаптироваться к изменениям нагрузочной способности потока данных и другим параметрам [3]. Фактически данная концепция позволяет реализовать в городской инфраструктуре простое, но динамичное и функциональное облако.

Учитывая все обозначенные преимущества движущихся

самоорганизующихся беспроводных сетей можно сделать вывод о существенных перспективах использования данной технологии, среди которых значительное расширение зоны покрытия беспроводной сети, повышенная пропускная способность и надёжность передачи данных, предоставление в цифровое облако данных о перемещениях беспроводной сети, что значительно повышает логистику и ориентирование в городской инфраструктуре. Следовательно, движущиеся беспроводные сети являются одной из наиболее перспективных систем городской автоматизации, которая полностью отвечает базовым принципам построения умного города.

Таким образом, были обозначены основные принципы разработки проектов и систем городской автоматизации, рассмотрена технология самоорганизующихся беспроводных сетей и обозначены основные преимущества при применении данной технологии в умных городах.

#### Литература

1. Евтушенко, С.И. Автоматизация и роботизация строительства: Учебное пособие / С.И. Евтушенко, А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев, Д.Я. Паршин. — М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2017. — 452 с.
2. Бройдо, В.Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: Учебник для вузов / В.Л. Бройдо, О.П. Ильина. - СПб.: Питер, 2011. - 560 с.
3. «Основы создания беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Практическое руководство по изучению, разработке и использованию беспроводных ЛВС стандарта 802.11» / Педжман Рошан, Джонатан Лиэри. - М.: Cisco Press Перевод с английского Издательский дом «Вильямс», 2009. — 532 с.

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

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ RFID В ПРОЕКТАХ ГОРОДСКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ**

В результате неуклонного роста темпов урбанизации в городах с развитой инфраструктурой городские службы повседневно сталкиваются с различными проблемами, связанными с перенаселенностью города. Тенденция массового притока населения в городах приводит к различного рода трудностям: автотранспортные заторы, большой информационный поток, перегружающий службы местного самоуправления, энергетические ресурсы потребляются во много больших количествах, чем рассчитаны линии городского электроснабжения, ухудшение экологической обстановки и т.п [1].

Для решения подобного рода проблем в настоящее время ведущими инженерами и учеными разрабатываются различные проекты и системы городской автоматизации, которые бы позволили значительно разгрузить города и решить целый ряд проблем. На основании данного факта можно сделать вывод об актуальности изучения перспективных технологий и разработки методов их внедрения в системы городской автоматизации.

Одной из перспективных технологий, которая может быть широко



применимой в системах городской автоматизации является технология RFID. Данная технология заключается в использовании специальных меток (транспондеров), при считывании или записи данных из которых с помощью радиосигналов становится возможным автоматически идентифицировать объект [2] (рисунок 1).



Рисунок 1 — Принцип работы RFID-меток

По сути RFID-метка является некоторым миниатюрным запоминающим устройством, главными составляющими которого являются микрочип и приемопередающая антенна. В микрочипе при этом хранятся уникальный идентификатор и полезные данные, которые считываются специальным устройством (RFID-считыватель), передающий полученные данные на устройство обработки данных.

Существует три разновидности RFID-метод по типу используемого источника питания:

1) Пассивные (без встроенного источника питания) – данный тип транспондеров передает информацию в виде модулированного отражённого сигнала несущей частоты. Преимуществом данного вида меток является их практически неограниченный срок эксплуатации, однако при этом эффективная дальность действий не превышает 2 м у высокочастотных меток и 10 м у ультра- и сверхвысокочастотных меток.

2) Активные (с собственным источником питания и увеличенным размером). Несомненным преимуществом данной метки является передача данных на достаточно большие расстояния (до 300 м), возможность оснащения дополнительной электроникой и хранения много больших объёмов данных,



также выделяются их надёжность, высокая точность, способность работать в агрессивных средах. Из недостатков можно выделить их относительно высокую стоимость, а также ограниченный срок службы собственного источника питания (до 10 лет).

3) Полуактивные (с собственным источником питания и небольшим размером), являются компромиссным вариантом между пассивными и активными типами, дальность их действия определяется в основном чувствительностью приемного устройства считывателя.

Также RFID-метки могут классифицироваться по типу используемой памяти, рабочей частоте, материалу объекта маркировки и исполнению.

На данный момент технология RFID-меток уже нашла достаточно много возможных областей применения: системы автоматизации технологических процессов на экономических субъектах промышленного назначения, системы складской логистики, способ защиты от преступлений (воровство, хищения), при систематизации литературы и т.п., во многих других сферах экономической и хозяйственной деятельности человека.

В системах городской автоматизации технология RFID может использоваться в качестве средства мониторинга движущихся объектов служб городской инфраструктуры. Иными словами, RFID-метки можно размещать как на рабочей одежде рабочего персонала, так и на автомобилях или инструментах, что позволит наиболее эффективно производить работы служб городской инфраструктуры. Это позволит контролировать не только передвижения сотрудников, но и производить учёт рабочего времени.

Помимо этого, технология RFID может использоваться сотрудниками городских инфраструктур для получения доступа к тому или иному объекту. При этом доступ будет предоставляться благодаря взаимодействию метки с RFID считывателем, который будет передавать запрос на охранную автоматизированную систему. Уникальный идентификатор и применяемые алгоритмы шифрования данных обеспечивают высокую степень безопасности, что будет являться способом предотвращения попыток несанкционированного доступа к объекту городской инфраструктуры. В системе при этом может регистрироваться количество посещений объекта с классификацией рабочего персонала (так как каждому рабочему соответствует собственный идентификатор).

В качестве преимуществ для работников городской инфраструктуры при использовании технологии RFID могут стать организация доступа на парковки, а также доступ на корпоративный транспорт (или оплата проезда в общественном транспорте, если городские службы возьмут на себя данные обязательства).

Особую ценность технология RFID будет иметь при использовании в сфере оказания медицинских услуг населению. При достаточно несложной модернизации медицинской инфраструктуры, государственных поликлиник и прочих медицинских учреждений можно добиться в значительной мере улучшения качества обслуживания, уменьшения требуемого времени на оказание услуг за счет перехода на электронные истории болезни и поиска их по

уникальному RFID-идентификатору.

В сфере торговли и развлечения технология RFID тоже может найти повсеместное применение за счет существенного упрощения процессов оплаты покупок и услуг, регистрации, которая в последнее время требует в подавляющем большинстве торгово-выставочных центров и концертных залах. Зоны отдыха, спортивные сооружения и фитнес-центры – еще одни из многочисленного списка объектов городской инфраструктуры, доступ к ресурсам, которых также можно достаточно просто организовать с помощью RFID-меток.

Таким образом, были раскрыты основные теоретические сведения о технологии RFID и обозначены наиболее важные и перспективные сферы применения данной технологии в проектах и системах городской автоматизации.

#### Литература

1. Евтушенко, С.И. Автоматизация и роботизация строительства: Учебное пособие / С.И. Евтушенко, А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев, Д.Я. Паршин. — М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2017. — 452 с.
2. Власов, М. RFID. 1 технология – 1000 решений. Практические примеры использования RFID в различных областях [Текст] / М. Власов. – М. : Альпина Паблишер, 2015. – 218 с.

*Н.А. Пикулев, маг.; И.В. Якименко, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАССМОТРЕНИЯ СПОСОБА РАСЧЕТА ВСЕХ УЗЛОВ СХЕМЫ НА ПРИМЕРЕ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА**

#### **Расчёт токоограничивающих резисторов светодиодных сегментов**

Первое с чего следует начать расчет всех узлов схемы, это токоограничивающие резисторы светодиодных сегментов. Так как они функционируют в импульсном режиме из-за проектирования динамической индексации по четырем знаменателям и коэффициент заполнения у этих резисторов составляет  $D = 0,25$ , то нам необходимо рассчитать средний ток подсветки светодиодного сегмента (от неё напрямую изменяется яркость светодиода), его можно рассчитать, применив формулу:

$$I_{LEDavg} = I_{LEDmax} \cdot D \text{ или } I_{LEDmax} = \frac{I_{LEDavg}}{D} \quad (1)$$

После этого условившись значением среднего тока на светодиодном сегменте  $I_{LEDavg} = 2 \text{ мА}$ , по (2.1) можно определить  $I_{LEDmax} = 8 \text{ мА}$ .

Далее необходимо рассчитать параметры резисторов, применяя формулу:

$$R2 = \frac{V_1 - V_{LED} - V_{VТост}}{I_{LEDmax}} = \frac{4,5 - 2 - 0,3}{0,008} = 275 \text{ Ом.}$$

После получения значений мы их округляем и выбираем подходящее по номиналу значение из стандартного ряда значений

Теперь можно приступить к дальнейшему расчету узлов, а именно к расчету базовых резисторов на катодных ключах. Этот расчет происходит по нескольким признакам. Необходимый для расчета ток насыщения был указан заранее и его величина составляет  $I_{VT\text{нас}} = I_{LED\text{max}}$ . Теперь нам необходимо определить усредненное значение для используемого в формуле коэффициента передачи тока базы для маломощного транзистора  $\beta = 100$ . Степень насыщения нам известна и она равняется  $S = 3$ , поэтому дальнейший расчет параметров резисторов на катодных ключах будет происходить по формуле представленной ниже:

$$I_{B\text{нас}} = \frac{V_1 - V_{BЭ}}{R_{10}} = \frac{I_{VT\text{нас}} \cdot S}{\beta}.$$

Из верхней формулы выразим нужное нам сопротивление и посчитаем его значение, подставив все уже известные нам параметры:

$$R_{10} = \frac{(V_1 - V_{BЭ}) \cdot \beta}{I_{VT\text{нас}} \cdot S} = \frac{(4,5 - 0,7) \cdot 100}{0,008 \cdot 3} = 16 \text{ кОм}.$$

Получив значение необходимо выбрать сопротивление из стандартного ряда R10–R13 с запасом в меньшую сторону E12 12 кОм.

После расчета всех сопротивлений нам необходимо реализовать помехоустойчивость устройства. Так как в большинстве цифровых схем при изменении состояний переключателей будут изменяться и состояния логических элементов в результате чего будут появляться переходные процессы, о существовании которых нельзя забывать. Такие процессы могут вызывать кратковременные провалы в напряжении питания, при больших перепадах логических состояний может возникать случаи неопределенности состояния уровня логического сигнала, что может вызвать сбои и неточности в конечной работе цифрового автомата.

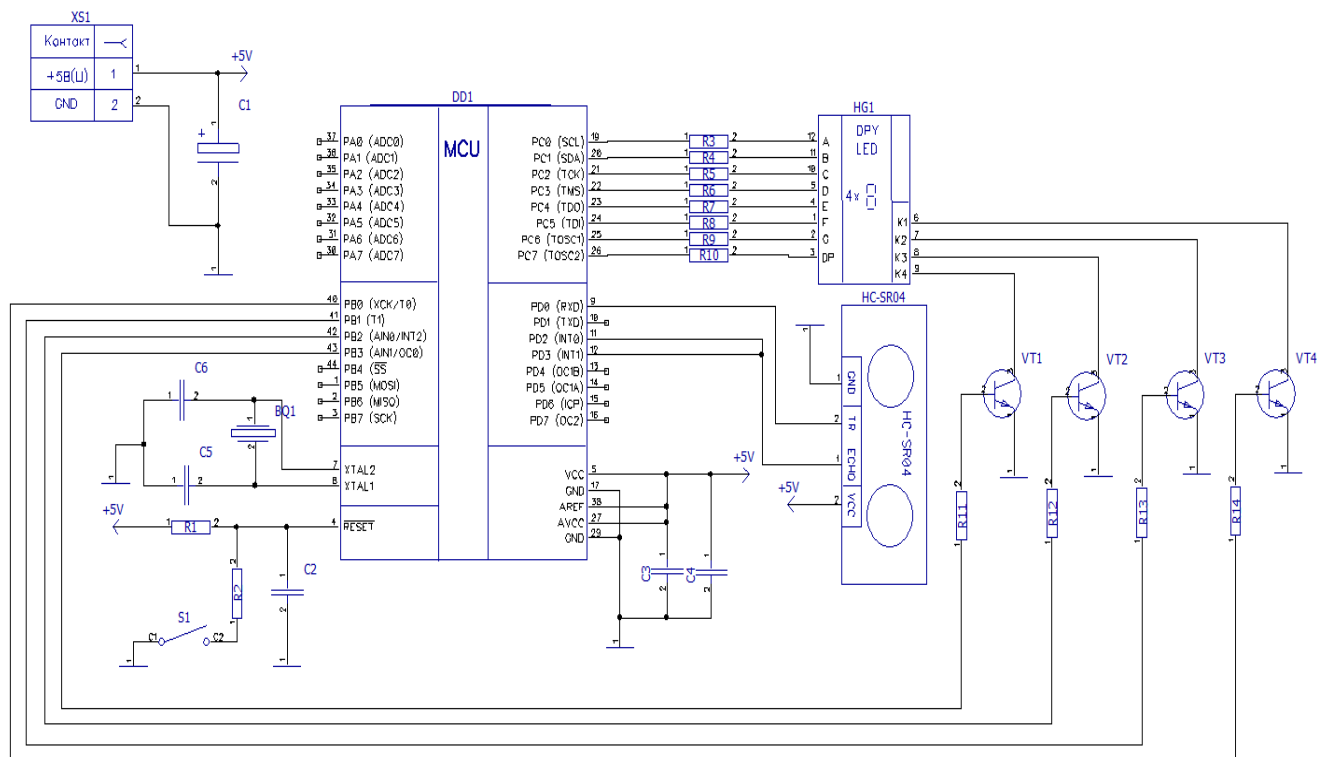
Для того, чтобы предотвратить все выше сказанное, необходимо воспользоваться дополнительными источниками заряда (конденсаторами), которые способны значительно уменьшить последствия переходных процессов, путем стабилизации напряжена источника питания. Чтобы это реализовать, необходимо в цепь питания каждой микросхемы безындукционный блокирующий(развивающий) конденсатор, при этом нельзя забывать добавить между шин питания добавить конденсатор, который будет являться общим и обладать большой ёмкостью, чтобы её было достаточно для подавления низкочастотных помех. Как показывает практика, бывает достаточно одного алюминиевого или танталового электрического конденсатора, подключенного у входного разъёма под питание. Так же по мере надобности можно добавить и керамический конденсатор, он будет служить для подавления высокочастотных колебаний и помех, которые очень часто возникают от других плат.

Конденсаторы, которые будут подавлять высокочастотную помеху, необходимо располагать максимально близко к выводу питания

разрабатываемой микросхемы, все такие конденсаторы должны обладать минимальной длиной выводов, так как чем меньше длина, тем меньше индуктивность, а значит и меньше вероятность возникновения резонанса в проектируемой схеме.

Проанализировав все выше сказанное, на выводы подачи питающих напряжений микроконтроллера конденсаторы ёмкостью  $0,1 \text{ мкФ}$  (по одному на каждый вывод).

В разработанной принципиальной схеме (рис. 1) учтены все рассмотренные выше связи между компонентами и предусмотрены меры по обеспечению помехоустойчивости.



**Рисунок 1 – Принципиальная схема измерителя расстояния до объекта**  
Литература

11. Абраменкова, И. В. Применение языка Си для программирования микроконтроллеров семейства AVR в устройствах промышленной электроники. Учебное пособие по курсу «Основы микропроцессорной техники» / И. В. Абраменкова, Н. С. Семченков, Ю. В. Троицкий. – Смоленск : Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Смоленске, 2007. – 84 с.
12. Амелина М. А. Оформление курсовых и дипломных работ : методические указания для студентов специальности «Промышленная электроника» / М. А. Амелина, С. А. Амелин, Ю. В. Троицкий. – Смоленск : ГОУВПО СФМЭИ(ТУ), 2013. – 82 с.
13. 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 2. – Смоленск : РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2015. – 108 с.
14. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 5-е изд., стер. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 560 с.

15. EasyAVR5A user manual. MikroElektronika. Software and hardware solution for embedded world. V100. URL: <https://www.mikroe.com/easyavr5a> (дата обращения 11.10.2020).

*Н.А. Пикулев, маг.; И.В. Якименко, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **РАЗРАБОТКА С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПРОВЕРКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВА В СРЕДЕ PROTEUS**

Любое разрабатываемое устройство перед своим выпуском проходит множество проверок, в результате которых выясняются его недостатки, если выявленные недостатки не соответствуют требованиям технического задания на разрабатываемый проект, то такое устройство не может быть выпущено, до тех пор, пока ошибки не будут устранены. Для того, чтобы у инженера появилась возможность исправить те или иные ошибки на этапе создания устройства было разработано множество приложений, которые могут симулировать итоговое рабочее устройство в электронном виде. Следовательно, инженер сможет заранее узнать о некорректной работе и исправить ошибку до создания реального образца и тем самым сэкономить достаточно больше количество бюджета.

В данной статье будет рассмотрено программное обеспечение, созданное специально для моделирования работы различных микроконтроллеров и периферийных устройств, оно называется PROTEUS. Но для того, чтобы что-то промоделировать нужно это что-то создать, поэтому сначала в среде IDE CodeVisionAVR создается проект с использованием встроенного генератора предварительного кода Code Wizard AVR (мастер настройки программного кода). При проектировании в мастере предварительного кода сначала необходимо выбрать тип микроконтроллера, затем выбрать её тактовую частоту. После чего необходимо настроить всё периферию, назначить все таймера и выбрать их режим работы и указать все необходимы для работы прерывания, но, если что в ходе написания кода к этому можно будет вернуться и добавить недостающие прерывания.

После написания кода, его можно сгенерировать, после чего происходит корректировка кода под соответствие его с требуемым алгоритмом. С помощью кода на СИ заполняются кодом обработчики прерываний, которые обрабатывают результаты измерений периферийных устройств, по итогу получится программа, которую осталось лишь скомпилировать.

После компиляции и исправления всех синтаксических ошибок в коде у программиста появляются два файла. Первый это объектный файл (с расширением *cof*), который нам потребуется как раз для моделирования и отладки в среде PROTEUS. Второй это бинарный файл (с расширением *hex*) это файл, который записывается во flash-память МК на этапе проверки работы проекта на отладочной плате EasyAVR5A.

Для дальнейшего моделирования в графическом редакторе системы PROTEUS необходимо нарисовать принципиальную схему разрабатываемого устройства, далее настроить выбранный микроконтроллер на нужную тактовую

218

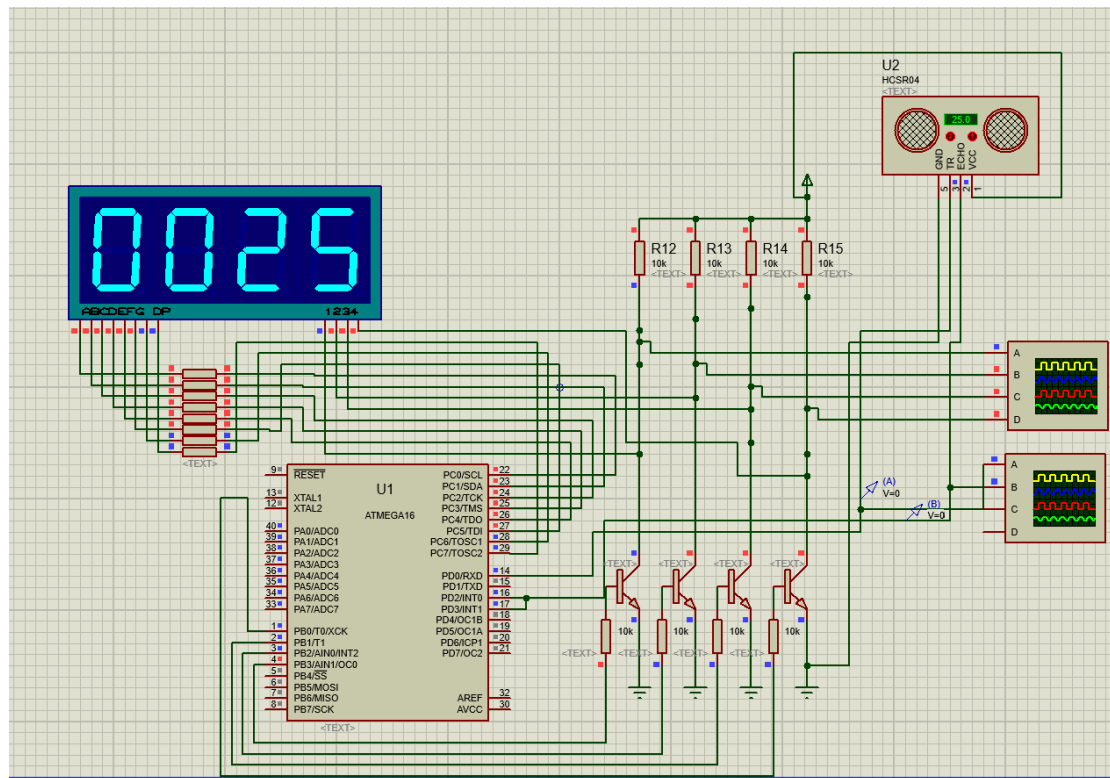


Рисунок 3 – Моделирование при  $distance = 25\text{ см}$

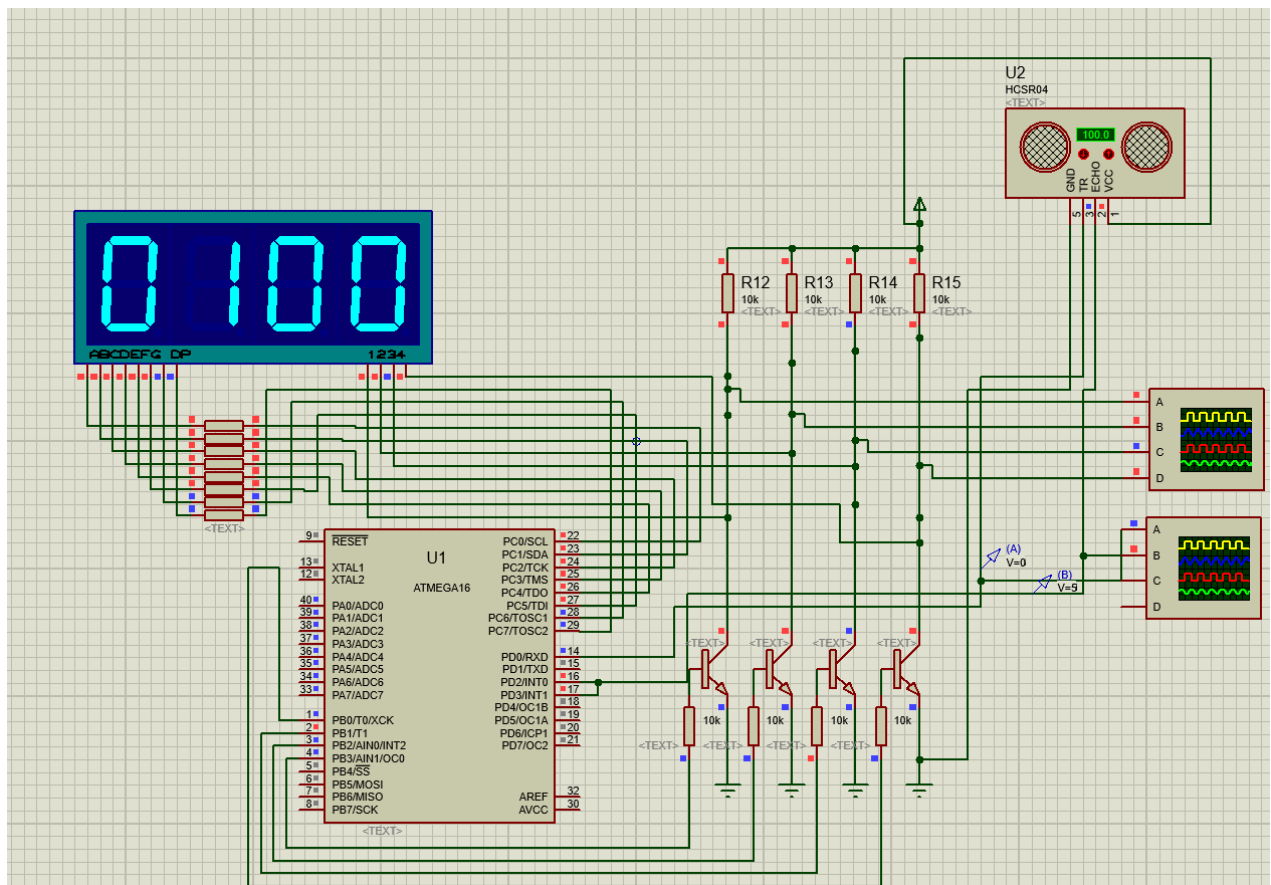


Рисунок 4 – Моделирование при  $distance = 100\text{ см}$







## ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТА МУРА НА D-ТРИГГЕРАХ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА

### 1. Построение автомата Мура на D-триггерах

В данной статье будет рассмотрен принцип построения автомата Мура, данный автомат в рамках обучения достаточно просто построить применяю различные логические элементы и триггеры. Прежде всего нам необходимо разобраться с условиями выходных переходов и поймём какие параметры должны быть на входе, при это нельзя забывать, что дизъюнкция условий для всех выходных переходов будет равняться единице. Для визуальной наглядности подчеркнем все недостающие условия на выходе:

$$S0: x_1 x_2 + \overline{x_1} \overline{x_2} + \overline{x_1} x_2 + \overline{x_2} = 1;$$

$$S1: x_2 + \overline{x_2} = 1;$$

$$S2: x_1 \overline{x_2} x_3 + x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} + x_2 x_3 + \overline{x_1} \overline{x_2} + x_2 \overline{x_3} = 1;$$

$$S3: x_1 + \overline{x_1} = 1;$$

$$S4: 1 = 1.$$

После чего воспользуемся формулой для нахождения количества D-триггеров и найдем его:

$$M \geq \log_2 S,$$

где  $M$  – величина обозначающая количество D-триггеров;

$S$  – величина обозначающая количество состояний.

По полученным значениям  $S = 5$ , значит  $M \geq 3$ . Условимся, что  $M = 3$ . После чего необходима все состояния автомата закодировать соответствующей цифрой для них ( $S0 - 0, S1 - 1, S2 - 2, S3 - 3, S4 - 4$ ), конечно же, как и любую кодировку, сделаем это в двоичном коде. (табл. 1).

Таблица 1. Кодировка состояний автомата

$Y$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0

После чего необходимо определить сигналы, которые должны будут приходить на входы D-триггеров  $D_0, D_1, D_2$ . Для этого составим таблицу с несколькими колонками, которая представлена ниже (табл. 2).

Таблица 2. Определение сигналов, поступающих на входы D-триггеров

$S_n$	$K_n$	$S_{n+1}$	$K_{n+1}$	$X_{n \rightarrow n+1}$	$Y_{n+1}$	$F_{n \rightarrow n+1}$
$S_0$	000	$S_0$	000	$\overline{x_1} x_2 + \overline{x_2}$	0	–
$S_4$	100			1		–
$S_1$	001	$S_1$	001	$\overline{x_2}$	1	$D_0$
$S_2$	010			$x_1 \overline{x_2} x_3$		$D_0$
$S_0$	000	$S_2$	010	$x_1 x_2$	2	$D_1$

$S_1$	001			$x_2$		$D_1$
$S_2$	010			$\overline{x_1} \overline{x_2} + x_2 \overline{x_3}$		$D_1$
$S_3$	011			$x_1$		$D_1$
$S_2$	010	$S_3$	011	$x_1 \overline{x_2} \overline{x_3}$	3	$D_1 D_0$
$S_2$	010	$S_4$	100	$x_2 x_3$	4	$D_2$
$S_3$	011			$\overline{x_1}$		$D_2$

По таблице уже не составит труда увидеть и записать сигналы, которые поступают на входы D-триггеров:

$$D_0 = \overline{Q_2} \overline{Q_1} Q_0 \overline{x_2} + \overline{Q_2} Q_1 \overline{Q_0} x_1 \overline{x_2} x_3 + \overline{Q_2} Q_1 \overline{Q_0} x_1 \overline{x_2} \overline{x_3};$$

$$D_1 = \overline{Q_2} \overline{Q_1} \overline{Q_0} x_1 x_2 + \overline{Q_2} \overline{Q_1} Q_0 x_2 + \overline{Q_2} Q_1 \overline{Q_0} x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} + \overline{Q_2} Q_1 Q_0 x_1 + \overline{Q_2} Q_1 \overline{Q_0} (\overline{x_1} \overline{x_2} + x_2 \overline{x_3});$$

$$D_2 = \overline{Q_2} Q_1 \overline{Q_0} x_2 x_3 + \overline{Q_2} Q_1 Q_0 \overline{x_1}.$$

Полученные выражения представлены в неупрощенном виде, это необходимо исправить, и сократить выражения используя различные методы комбинаторики:

$$D_0 = \overline{Q_2} \overline{Q_1} Q_0 \overline{x_2} + \overline{Q_2} Q_1 \overline{Q_0} x_1 \overline{x_2};$$

$$D_1 = \overline{Q_2} \overline{Q_1} \overline{Q_0} x_1 x_2 + \overline{Q_2} \overline{Q_1} Q_0 x_2 + \overline{Q_2} Q_1 \overline{Q_0} x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} + \overline{Q_2} Q_1 Q_0 x_1 + \overline{Q_2} Q_1 \overline{Q_0} (\overline{x_1} \overline{x_2} + x_2 \overline{x_3});$$

$$D_2 = \overline{Q_2} Q_1 \overline{Q_0} x_2 x_3 + \overline{Q_2} Q_1 Q_0 \overline{x_1}.$$

Теперь необходимо пронумеровать все элементы дизъюнкции в полученных нами выражениях, используя числа от одного до десяти, а после чего нужно будет отметить в какое из выражений они входят (табл. 3).

Таблица 3. Определение одновременного вхождения элементов дизъюнкции

$D_n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D_0$	+	+							
$D_1$			+	+	+	+	+		
$D_2$								+	+

Из таблицы важно заметить, что элементы не повторяются, данное наблюдение необходимо будет учесть при дальнейшем построении схемы.

## 2. Синтез цифрового автомата с помощью SchematicEditor

В мире существует множество различных приложений, но для проектирования в рамках образовательного учреждения лучше всего использовать простые и доступные для студентов программы, например, SchematicEditor. Построим итоговую схему цифрового автомата, используя SchematicEditor (рис. 1).

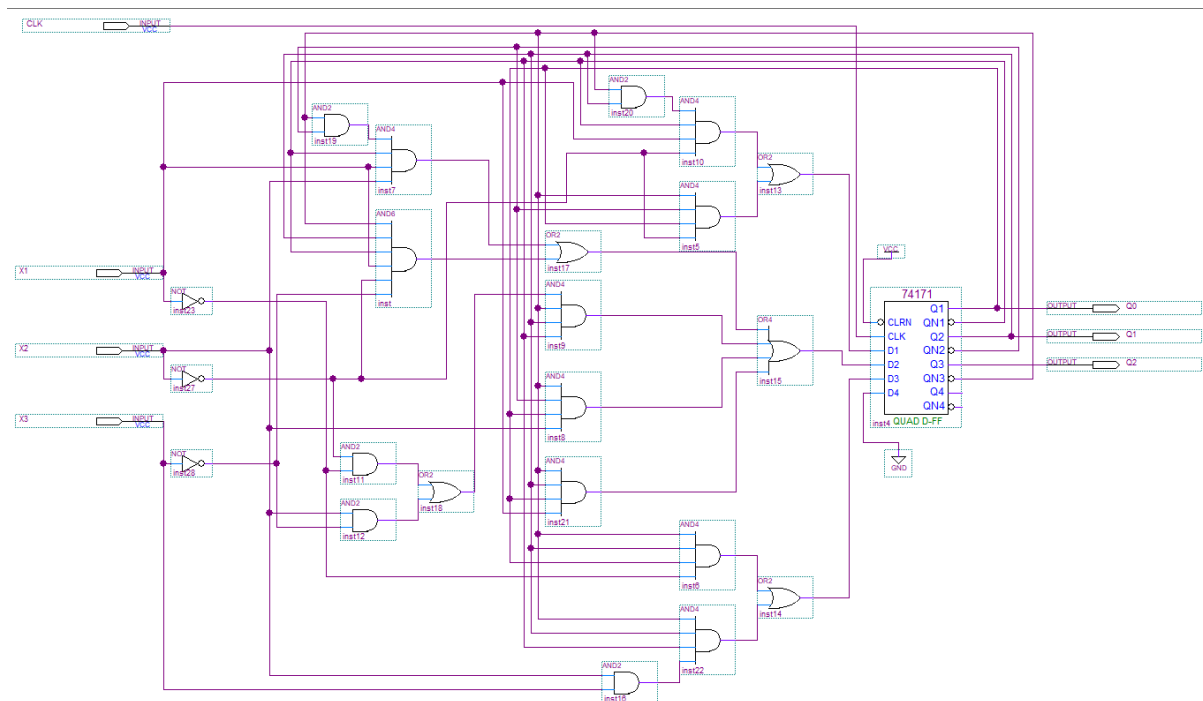


Рисунок 1 – Схема цифрового автомата

Для проверки полученной схемы необходимо провести симуляцию проекта, воспользуемся для этого приложением Altera QuartusII. В нем необходимо указать проход состояний автомата, который должен включать в себя каждый из возможных переходов.:

$S_0 \rightarrow S_2 \rightarrow S_2 \rightarrow S_1 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_0 \rightarrow S_2 \rightarrow S_4 \rightarrow S_0$ .

По полученному переходу необходимо разобраться и написать входные сигналы  $x_1, x_2, x_3$  после чего можно смело проводить симуляцию (рис. 2).

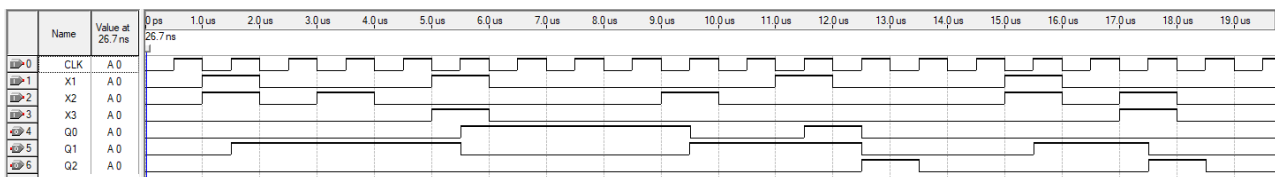


Рисунок 2– Результаты симуляции

Далее проверим правильность переходов. Для это поместим полученный рисунок в программу под названием КОМПАС и обозначим все переходы, чтобы их было легко увидеть и проверить (рис. 3).

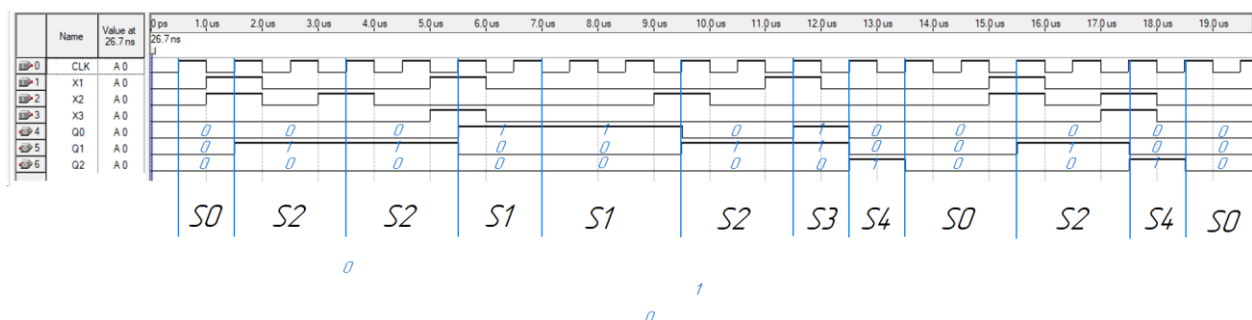


Рисунок 3 – Проверка правильности симуляции

По полученному рисунку, можно сделать вывод, что переходы в симуляции осуществляются согласно заданному проходу, а это значит, что схема которую мы собрали работает правильно.

#### Литература

14. Зотов В. Моделирование цифровых устройств, проектируемых на основе ПЛИС фирмы Xilinx, средствами ISIM в САПР ISE Design Suite. // КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ. – 2013. – №2. – с. 64-74.
15. Коберниченко В.Г. Основы цифровой обработки сигналов : учебное пособие / В.Г.Коберниченко. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018 – 156 с.
16. Лысенков А.А. Разработка модуля передачи данных по интерфейсу UART на базе программируемой логической интегральной схемы //ВА ВПВО ВС РФ имени маршала советского союза А.М.Василевского. – 2021. – с. 71-74

*Н.А. Пикулев, маг.; И.В. Якименко, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОЧИХ МЕСТ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ ЛОКАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ**

***Аннотация.** В статье произведён расчет и проектирование рабочих мест для последующей реализации локальной информационной сети.*

***Abstract.** In the article, the calculation and design of workplaces for the subsequent implementation of a local information network is carried out.*

***Ключевые слова:** рабочее место, локальная информационная сеть, расчёт, проектирование.*

***Keywords:** workplace, local information network, calculation, design.*

Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>, в помещениях культурно-развлекательных учреждений и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) - 4,5 м<sup>2</sup>. При использовании ПВЭМ с ВДТ на базе ЭЛТ (без вспомогательных устройств - принтер, сканер и др.), отвечающих требованиям международных стандартов безопасности компьютеров, с продолжительностью работы менее 4 ч в день допускается минимальная площадь 4,5 м<sup>2</sup> на одно рабочее место пользователя (взрослого и учащегося высшего профессионального образования).

При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5—2,0 м.

На (рис. 1) представлена конфигурация аудитории для размещения рабочих мест, согласно номеру в журнале.



Рисунок 4 — Конфигурация аудитории

Общая площадь:

$$S = 10 \cdot 8 = 80 \text{ м}^2;$$

Площадь без шкафа:

$$S = 10 \cdot 8 - 5 \cdot 0,4 = 78 \text{ м}^2.$$

Если рассчитать доступную площадь размещения, и разделить её на место необходимое для одного рабочего места получим максимальное значение рабочих мест в помещении:

$$N = 78 \text{ м}^2 / 4,5 \text{ м}^2 = 17.$$

Получаем 17 рабочих мест, но в таком случае работникам будет не удобно доходить до своего рабочего места, ниже (рис. 2) предложена более удобная расстановка рабочих мест, но менее вместительная.

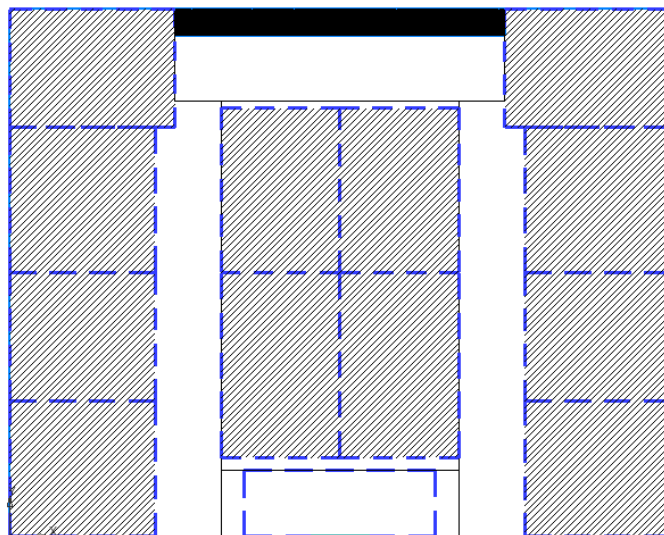


Рисунок 2 — Конфигурация рабочих мест в аудитории

### Расчет и размещение информационных розеток

Согласно стандарту ISO/IEC 11801 в редакции 1995 года на каждом рабочем месте следует устанавливать ИР с двумя или более розеточными модулями. Один модуль обязательно должен подключаться к кабелю 3 категории. Установка

на рабочем месте ИР с двумя розеточными модулями не ниже 5 категории, увеличивает эксплуатационную гибкость, создаваемой кабельной системы. Для обеспечения рабочих мест информационными розетками, используем 6 двойных ИР.

### Расчет метража оконечных шнуров

С помощью оконечных шнуров, которые эксплуатируются в штатном режиме в помещениях для размещения пользователей осуществляется подключение к розеточным модулям ИР самого разнообразного сетевого оборудования.

Расчет будем проводить используя статистический метод расчета.

Средняя длина кабеля  $L_{mid}$ , затрачиваемая на реализацию одного проброса:

$$L_{mid} = \frac{L_{max} + L_{min}}{2} \cdot K_s + X,$$

где –  $L_{max}$ ,  $L_{min}$  – длина кабельной трассы от коммутационного элемента, самого дальнего от точки ввода в кроссовую, до розеточного модуля соответственно самого дальнего и самого ближнего рабочего места, рассчитанная с учетом особенностей прокладки кабеля;

$K_s$  – коэффициент технологического запаса, равный 1,1;

$X$  – запас для выполнения разделки кабеля (30 см по рекомендациям *BICSI*).

Для предложенной аудитории получим  $L_{max} = 12$  м,  $L_{min} = 2,0$  м.

$$L_{mid} = \frac{12 + 2,0}{2,0} \cdot 1,1 + 0,3 = 8 \text{ м}$$

Общее число пробросов  $N_{cr}$  при стандартной длине кабельной катушки  $L_{cb} = 305$  м:

$$N_{cr} = \frac{L_{cb}}{L_{mid}} = \frac{305}{8} = 38,125.$$

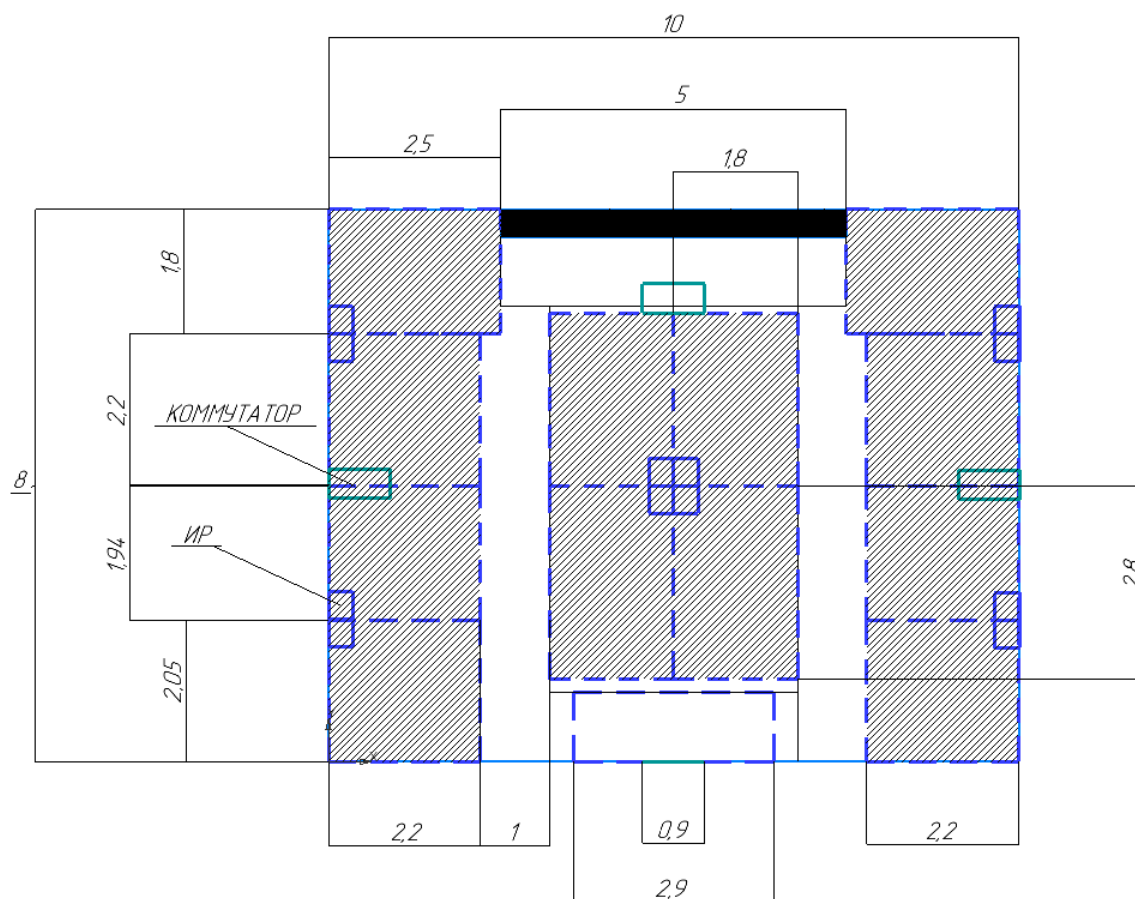
Количество кабеля, необходимое для создания кабельной системы  $L_c$  при количестве информационных розеток  $N_{t0} = 12$ :

$$L_c = L_{cb} \cdot \frac{N_{t0}}{N_{cr}} = 305 \cdot \frac{12}{38,125} = 96 \text{ м}.$$

Общее количество кабеля – 96 метров, следовательно, будет достаточно одной кабельной катушки.

Для формирования сети потребуется использовать следующее оборудование: по 1 сетевому адаптеру для каждой рабочей станции (итого 12); 3 коммутатора для каждой и групп рабочих мест, с количеством разъемов на 8 рабочих станций (4 запасных), кабель для подключения рабочих станций к коммутатору; 12 информационных розеток.

### Схема размещения оборудования и рабочих мест



**Рисунок 3 — Схема размещения рабочих станций и оборудования**

Площадь каждого рабочего места удовлетворяет требованиям. Штриховой линией показаны необходимые площади для каждого рабочего места. Линия бирюзового цвета обозначает дверь. Черный прямоугольник обозначает шкаф. Все размеры указаны в метрах.

#### Литература

- Кабанова Т.А., Новиков В.А. Тестирование в современном образовании. Уч. Пособие. - М.: Высшая школа, 2010.
- Бондаренко М.Ф., Качко Е.Г. Операционные системы - Компания СМИТ, 2006.
- Окулов С. Основы программирования - Бинوم. Лаборатория знаний, 2002.

*В.А. Прищепнев, студ.; И.В. Якименко, д.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ**

Рассмотрена проблема, что на практике информация о методах контроля диодов отсутствует или практически не разработаны. Это связано с отсутствием нормативной базы и критериев контроля их технических характеристик. Из — за этого изделия, изготовленные на основе диодов, становятся менее качественными.



Разработка прибора для исследования характеристик излучающих диодов — одна из типичных задач, решаемых на МК. Использование МК и генератора сигналов ШИМ при разработке устройства позволяет расширить диапазон возможностей исследования характеристик излучающих диодов при сохранении небольшого количества элементной базы.

При выборе МК следует учитывать простоту разработки устройства с точки зрения изученности микропроцессорных устройств и возможностей системы имитационного моделирования для проверки функционирования разработанного устройства, а также наличие аппаратных средств для организации связей. Данным требованиям удовлетворяет МК *Atmega8* из семейства МК AVR.

Основные параметры МК сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 — Основные параметры МК

Параметр	Значение
Тактовая частота, МГц	16
Размер <i>Flash</i> – памяти, кБ	8
Память данных, Б	256
Память ОЗУ ( <i>RAM</i> ), Б	1024
Количество линий ввода–вывода ( <i>I/O</i> )	23
Типы последовательных интерфейсов	<i>UART, SPI</i>
Напряжение питания, В	$5 \pm 0.5$
Рабочий температурный диапазон, °С	От – 40 до + 85

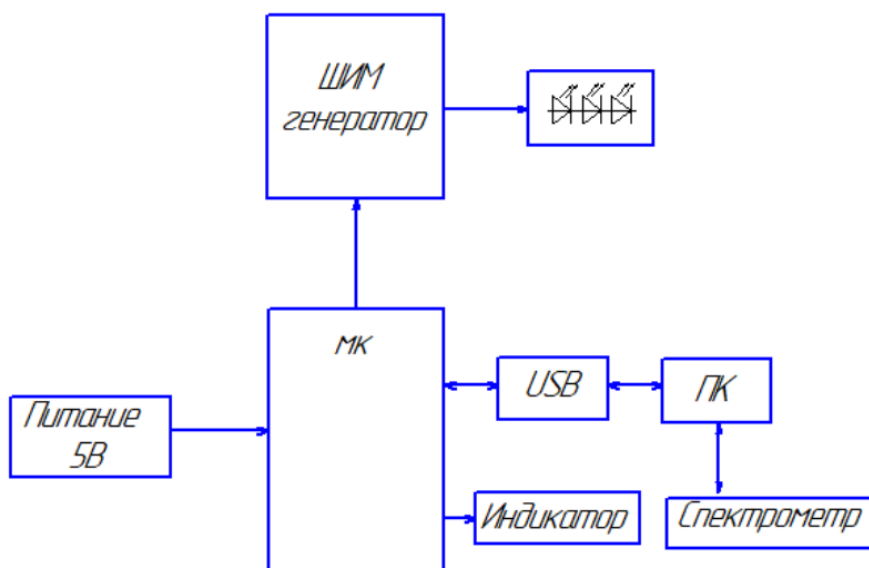


Рисунок 1 — Структурная схема устройства



Разрабатываемое устройство будет работать от внешнего блока питания, которое будет понижено преобразователем напряжения до напряжения  $+5\text{ В}$ , используемого для питания основных узлов устройства. С помощью USB — модуля, МК подключенный к ПК будет программировать ШИМ генератор.

Снятие спектральных характеристик диодов будет осуществляться с помощью спектрометра *RPS900 — C*

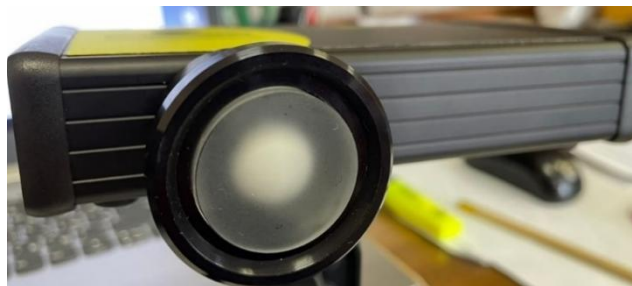


Рисунок 2— спектрометр *RPS900 — C*

Таблица 1.2 — Основные параметры спектрометра *RPS900 — C*

Параметр	Значение
Спектральный диапазон	280 — 950 <i>нм</i>
Разрешение детектора	2048 пикселей
Размер пикселя	14 × 14 <i>мкм</i>
Питание	300 <i>мА</i> через USB порт
Совместимость с ПК	Не старше <i>Windows XP</i>
ПО	<i>SpectrILight</i>
Рабочий температурный диапазон, °C	От – 40 до + 85

*RPS900 — C*, это компактный портативный мини-спектрометр, используемый для измерения как амплитуды, так и длины волны света, а также для измерения калиброванной спектральной освещенности или мощности. Комплекты *RPS900* сочетаются с оптикой высшего класса для правильного сбора света, включая диффузоры для коррекции косинуса и интегрирующие сферы для общего потока.

*SpectrILight* — это 32 – битное приложение, оптимизированное для управления спектрорадиометром *ILT*, передачи данных, обработки данных, графического отражения на дисплее и других функций (рисунок 3).

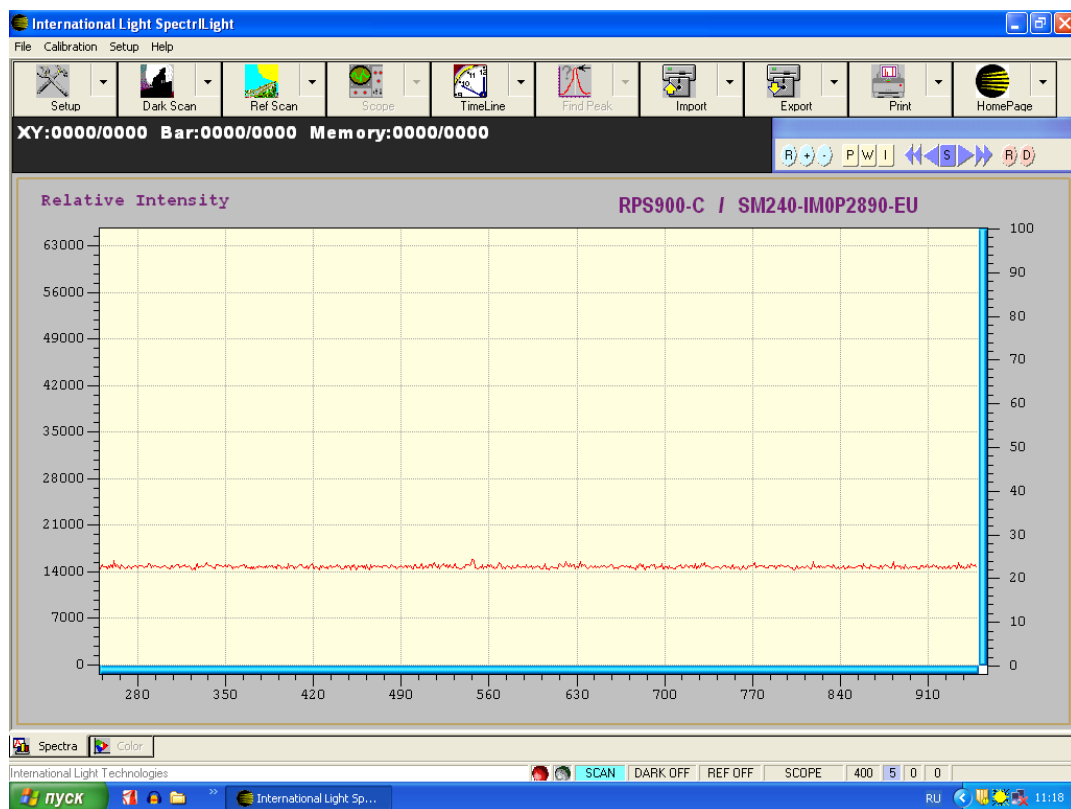


Рисунок 3 — интерфейс программы *SpectrILight*

В устройстве для исследования спектральных характеристик излучающих диодов также предусмотрено кнопка сброса и индикатор, который показывает, что устройство работает.

Схема с использованием МК для устройства снятия характеристик излучающих диодов существенно меньше аналогичной схемы на аналоговых компонентах и имеет достаточный потенциал для простого переконфигурирования под решение более сложных задач, связанных с подсветкой и управлением при относительно небольших возможных изменениях в схеме.

#### Литература

1. AVR Microcontrollers ATmega8 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega8\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega8_Datasheet.pdf), свободный
2. Ишанин Г.Г., Козлов В.В.. Источники излучения. Учебное пособие для вузов.- СПбГУ ИТМО-, 2005г.-395 стр
3. Шуберт Ф. Светодиоды / Ф. Шуберт. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 488 с

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХ АППАРАТНЫХ СОПРОЦЕССОРОВ БПФ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЛИ

Цифровая обработка сигналов — наука, которая занимается анализом, преобразованием и обработкой сигналов, состоящие из отсчётов в определенные моменты времени (дискретизованные по времени).

Быстрое преобразование Фурье — один из главных алгоритмов в цифровой обработке сигналов. При помощи него можно вычислить частотный спектр, линейную свертку и так далее. Нужда в более быстрой обработке данных с каждым годом всё возрастает: требуется обрабатывать большее количество данных и сигналов, повышается разрешение потоков. По этой причине требуется высокая производительность.

Сопроцессоры используются для ускорения цифровых и математических операций. Их работа осуществляется автономно, параллельно с работой других модулей DSP.

В текущей статье рассматривается ячейка, содержащая высокопроизводительный четырёхъядерный процессор цифровой обработки сигналов компании Texas Instruments TMS320C6670. Тактовая частота ядер около 1 ГГц. На борту также имеется 3 сопроцессора БПФ и другая периферия.

Контроль, изменение параметров БПФ и другое осуществляется при помощи подбиблиотеки FFTC, входящая в состав PDK. Другими подбиблиотеками, например, являются управление высокопроизводительной шиной PCI Express и Serial Rapid.

Изначально участок с сопроцессором обесточен. Соответственно, требуется подать на них питание и включить тактирование региона для каждого по отдельности (рис. 1).

```
CSL_PSC_enablePowerDomain (CSL_PSC_PD_FFTC_AB);  
  
CSL_PSC_setModuleNextState (CSL_PSC_LPSC_FFTC_AB, PSC_MODSTATE_ENABLE);  
  
CSL_PSC_startStateTransition (CSL_PSC_PD_FFTC_AB);
```

**Рисунок 5 — Активация питания блоков с сопроцессорами**

Следующим шагом является настройка регистра конфигурации и инициализация драйвера для каждого сопроцессора (рис. 2).

```
fftcInstNum      = CSL_FFTC_A;  
fftcDevCfg.cpdmaNum = Cppi_CpDma_FFTC_A_CPDMA;  
fftcDevCfg.baseQueueNum = QMSS_FFTC_A_QUEUE_BASE;  
fftcDevCfg.cfgRegs  = (Void *) (CSL_FFTC_A_CONFIG_REGS);  
retVal = Fftc_init (fftcInstNum, &fftcGlobalCfg, &fftcDevCfg);
```

**Рисунок 6 — Инициализация драйвера**

БПФ выполняется пакетно. В каждом пакете может быть определенное количество блоков, максимальное количество соответствует 128. В каждом

блоке может быть вплоть до 8192 комплексных значений. Количество фильтров должно сходиться с разрядностью БПФ.

Настройка также производится поочередно. Например, настроим БПФ следующим образом: первый – 256-16, второй – 16-128, где первое значение – это количество точек, а второе – количество блоков. Разрешим динамическое масштабирование результатов, правые и левые сдвиги входных данных выключены. Все блоки одинакового размера. Номер очереди назначения в конфигурации очереди всегда устанавливается равным 0x3FFF, ибо номер очереди назначения устанавливается в процессе настройки потока.

Как только первоначальные настройки закончены, далее требуется открыть очереди для входных и выходных данных (RX и TX). Для этого надо настроить поток передачи для получения результатов БПФ из очереди, а затем выделить буфер под хранение этих результатов (рис. 3). Размер буфера определяется следующим образом: количество фильтров умножается на количество сэмплов (количество байт для одного комплексного числа) плюс 16. Полученное значение умножается на количество блоков.

```
rxCfg.useFlowId = -1;
rxCfg.bManageRxFlowCfg = 1;
rxCfg.rxFlowCfg.drvcfg.descType = Cppi_DescType_HOST;
rxCfg.rxFlowCfg.drvcfg.cppiNumDesc = 2;
rxCfg.rxFlowCfg.drvcfg.bPSInfoPresent = 1;
rxCfg.rxFlowCfg.drvcfg.psLocation = Cppi_PSLoc_PS_IN_DESC;
rxCfg.cppiRxQNum = -1;
rxCfg.bBlockOnResult = 0; //1;
rxCfg.bUseInterrupts = 0;
rxCfg.rxFlowCfg.drvcfg.bufferSize = (m_NumOfFilters * m_SizeOfSample + 16) * m_NumOfBlocks;
hRxObj = Fftc_rxOpen (hFFTC, &rxCfg);
```

### Рисунок 7 — Настройка выходного буфера для первого БПФ

Настройка второго сопроцессора выполняется аналогично за исключением количества блоков и фильтров.

Для входных данных очередь настраивается в соответствии с рисунком 4.

```
memset (&txCfg, 0, sizeof (txCfg));
txCfg.txQNum = (Fftc_QueueId) txQNum;
txCfg.bManageReqBuffers = 1;
txCfg.bEnableDftSizeListCfg = 0;
txCfg.fftQCfg = m_pFFTCfg->fftQCfg;
txCfg.bSharedMode = 1;
txCfg.descType = Cppi_DescType_HOST;
txCfg.cppiNumDesc = 2;
txCfg.bPSInfoPresent = 1;
```

### Рисунок 8 — Настройка входного буфера

Все настройки выполнены. Оба сопроцессора готовы к работе.

По техническому заданию, например, требуется, чтобы вся обработка проходила на одной дистанции. Общее число дистанций равняется 100. Количество периодов довольно большое – 1500. Если использовать один БПФ, то количество тактов обработки будет крайне большое и во временной диапазон можно не влезть. Поэтому лучше всего использовать два сопроцессора с

разбиением дистанции на подпоследовательности. Пускай будет 6 подпоследовательностей для каждой дистанции каждого луча.

Как говорилось выше, БПФ выполняется пакетно. Пакеты можно вычислить в соответствии с количеством дистанций сигнала и лучей. В одном пакете будет обрабатываться 12 блоков, 6 из которых – для одной подпоследовательности, 6 других – для другой. Вся обработка должна происходить в пределах одной дистанции.

Стоит учесть, что в первом пакете не происходит какой-либо обработки, а лишь происходит запись во входной буфер и запрос сопроцессора на исполнение БПФ. Во втором пакете первоначально происходит запись в буфер, а после неё идёт обработка сигнала.

Второй сопроцессор начинает работать над результатами первого БПФ также во втором пакете. Так как количество фильтров и блоков второго отличаются от первого, то и количество повторений БПФ также будет другим. Так как максимальное значение блоков 128, а предыдущий БПФ был на 256 точек, то одну дистанцию одного луча требуется прогонять во втором БПФ в два захода. Соответственно, количество пакетов сопроцессора будет равно 4.

В последнем пакете также происходит запись во входной буфер. Следовательно, потребуется её обработать также, но уже вне основного цикла, без записи во входной буфер.

Устройство находится в активном процессе разработки, исправляется машинный код, производятся разного рода обновления.

#### Литература

1. Сикорд Р. Эффективный С. Профессиональное программирование — Питер, 2021, — 304 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. — 3-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 768 с.
3. Солонина А.И. Цифровая обработка сигналов в зеркале MATLAB: учеб. пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — 560 с.
4. Спектральные методы анализа: учебное пособие / Васильева В.И., Стоянова О.Ф., Шкутина И.В., Карпов С.И. — Лань, 2014. — 416 с.

*Д.А. Пронин, маг., рук. Амелина М.А.*

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

### **СПОСОБ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРАВИЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА**

В большинстве установках, которые осуществляют круговой обзор/движения, требуется знать угол поворота. Например, в радиолокации требуется вычислять азимут цели. Во многих радарх антенны проектируются так, чтобы сформировать в заданном направлении луч диаграммы направленности. Перемещать луч в пространстве можно при помощи изменения угла положения антенны. Следовательно, нужно знать угол поворота.

Для получения положительного результата выполнения поставленной задачи, потребуется устройство для измерения угла поворота.

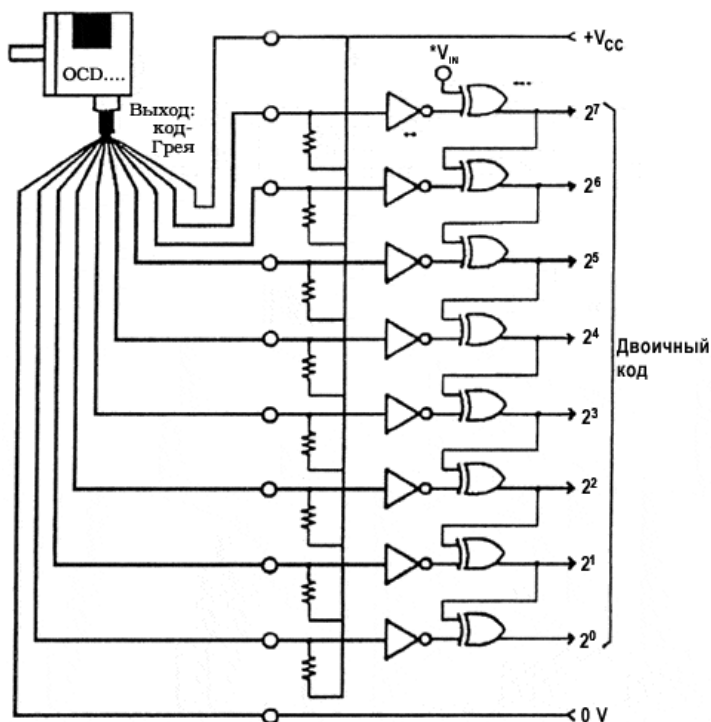
В современных системах одним из вариантов вычисления угла является прием данных от спутников GPS. При помощи системы глобального позиционирования обеспечивается измерение расстояния, времени и местоположения практически при любой погоде.

Другим вариантом является абсолютный энкодер общепромышленного назначения. Для примера рассмотрим модель ЛИР-ДА158А (рис. 1).



**Рисунок 9 — Энкодер ЛИР-ДА158А**

Это абсолютный оптоэлектронный преобразователь угловых перемещений. Преимущество данного образца от любого инкрементального энкодера заключается в возможности определения угла в любой момент времени, даже если механизм находится в состоянии покоя после подачи питания, так как каждому угловому положению присваивается свой уникальный код. Есть и другие преимущества таких устройств: выходной сигнал не подвергается помехам, нет нужды в четкой установке вала, при очень быстром повороте вала будет показан правильный угол, устойчив к вибрациям.

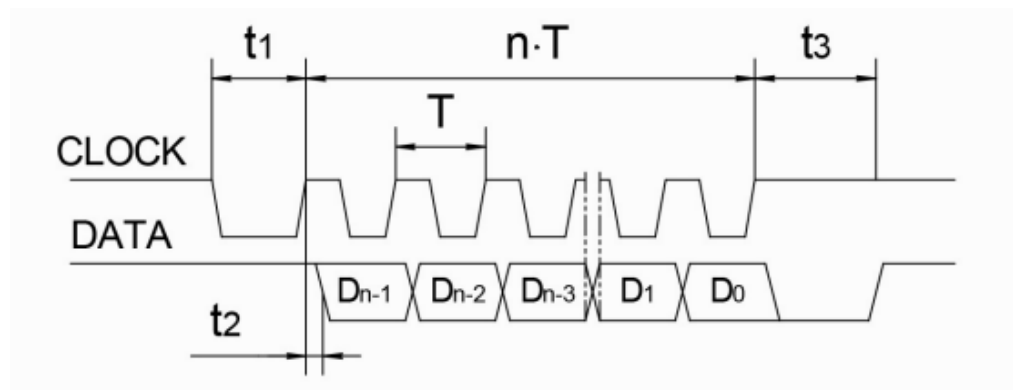


**Рисунок 10 — Схема преобразования кода Грея**

Разрешение энкодера — один из главных параметров. Рассматриваемая модель, в зависимости от комплектации, поддерживает от 8 до 17 количества разрядов, то есть количество бит ( $2^{\text{разрешение}}$ ) на один оборот.

На выходе с энкодера — код Грея. Он предпочтительнее двоичного, так как представляет собой одношаговым кодом: старший разряд не изменяется, следующие после него разряды инвертируются, если предыдущий разряд равен единице. Код Грея имеет кодированный характер. Перед переводом в градусы полученные данные требуется перевести в двоичный код при помощи следующих логических элементов: инверторов и «исключающее или» (рис 2.). Аналогичное действие такое же можно организовать и программно.

Общение с ЛИП происходит по последовательному интерфейсу передачи данных стандарта RS422 (последовательный SSI) (рис. 3), где clock — входной управляющий сигнал, а data — выходной сигнал.



**Рисунок 11 — Последовательный SSI**

В начальный промежуток времени обе шины установлены в 1. Когда у управляющего сигнала происходит первый спад, выходной сигнал устанавливается в 0, осуществляется фиксация позиции. По фронту тактирования передается зафиксированное значение.

Так как рассматриваемый энкодер однооборотный, то на выходе данного устройства будет значение, соответственно, в пределах одного оборота. Как только совершится полный оборот, код начинается с начальных значений. Если разрешение у энкодера равняется 12 битам, то одна метка в обороте будет равняться  $360/4096 = 0,088$  угловых градусов. Следовательно, если показание энкодера будет соответствовать 2600, то устройство будет развернуто на  $2600 * 0,088 = 228$  градусов.

Таким образом, были выяснены способы осуществления правильного позиционирования объекта, проведены сравнения с другими вариантами.

#### Литература

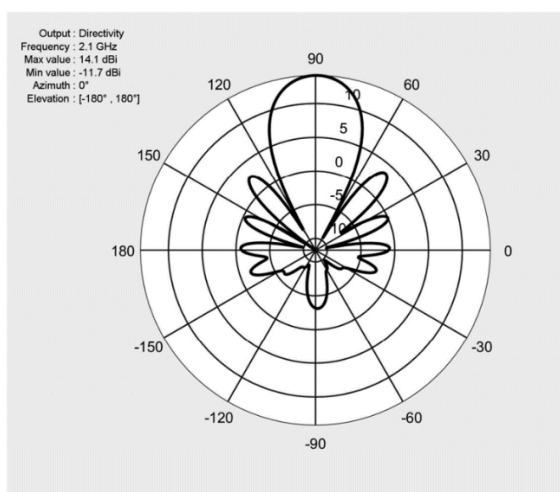
1. Сикорд Р. Эффективный С. Профессиональное программирование — Питер, 2021, — 304 с.
2. Микушин А.В. Цифровые устройства и микропроцессоры — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 832 с.
3. Платт Чарльз. Электроника: логические микросхемы, усилители и датчики для начинающих. — СПб.: БХВ-Петербург, 2015. — 448 с.



## **ПРИНЦИП РАБОТЫ С ИНКЛИНОМЕТРОМ HCR716S**

Для передачи или приема радиоволн используют антенны. Устройства имеют два режима работы: как радиопередатчик – преобразует электромагнитные колебания и распространяет в пространстве электромагнитную волну, так и радиоприемник – падающую энергию электромагнитной волны преобразует в электромагнитные колебания. Антенна содержит металлические токопроводящие элементы, соединенные непосредственно или через фидер с радиопередатчиком и радиоприемником.

Чтобы понять способности приема и передачи антенны в различных направлениях, требуется снять диаграмму направленности излучения. Диаграмма направленности (рис.1) – представление зависимости коэффициента направленного действия от угла поворота антенны в плоскости при работе антенны на передачу или на прием.



**Рисунок 12 — Пример диаграммы направленности**

При снятии круговой диаграммы направленности излучения антенны нужно знать амплитуду излучаемого сигнала, а также угол поворота. Для вычисления угла относительно одной плоскости можно использовать разные средства. Например, инклинометр.

Инклинометры – датчики, предназначенные для точного измерения угла наклона относительно гравитационного поля земли и азимута. Они бывают одноосевые, двухосевые и трех.

Рассмотрим модель инклинометра HCR716S (рис. 2). Это малогабаритное и высокоточное устройство, выпускается компанией RION. Его можно применять, например, в измерении угла наклона платформ, пусковых установок, при мониторинге рельсовых путей или при подземном бурении.





**Рисунок 13 — Инклинометр HCA716, схожий по корпусу с HCR716S**

Измерение угла осуществляется при помощи чувствительного элемента по технологии MEMS. Погрешность максимально составляет 0,01 градуса.

Для общения с инклинометром используется последовательный интерфейс RS485 MODBUS RTU. Протокол MODBUS – коммуникационный протокол, который использует модель master-slave, основанную на запросах и ответах между друг другом. В сети находится только одно ведущее устройство. Ведущий может отправлять запрос как индивидуально каждому из устройств на линии, так и использовать широковещательный способ сообщения.

Параметры обмена с инклинометром выглядят следующим образом: скорость 9600 бод (по умолчанию), 1 старт бит, 8 бит данных, 1 стоп-бит, бит нечётности.

Структура запроса от ведущего к ведомому состоит из 8 байт и выглядит следующим образом: адрес подчиненного устройства, код функции (запись или чтение), адрес первого регистра, длина и контрольная сумма. Контрольная сумма рассчитывается по CRC16 MODBUS.

При каждом запросе ведущего устройства должен быть ответ ведомого, за исключением ситуации, когда команда была отправлена по широковещательному адресу. Между каждой итерацией должен соблюдаться интервал в 3,5 байта времени. Временной промежуток зависит от скорости передачи: чем больше скорость передачи, тем меньше интервал. Однако, рекомендуется использовать минимум 10 мс для стабильной работы датчика.

У рассматриваемого инклинометра есть 4 команды: команда на установку относительного или абсолютного нуля, адреса и скорости обмена, а также команда на запрос текущего угла (таблица 1).

Таблица 1 — Структура запроса текущего угла

Номер байта	Описание
1	адрес инклинометра
2	команда на запись (0x03)
3	0x00
4	адрес регистра (0x2)
5	0x00
6	Количество байт (0x04)
7	контрольная сумма (младший байт)
8	контрольная сумма (старший байт)

Все команды на установку выполняются два раза. Ответ на запрос угла показан в таблице 2.

Таблица 2 — Структура ответа на запрос угла

Номер байта	Описание
1	адрес инклинометра (0x01 или 0x02)
2	команда на запись (0x03)
3	Количество байт (0x04)
4	данные об угле (старший байт младшего слова)
5	данные об угле (младший байт младшего слова)
6	данные об угле (старший байт старшего слова)
7	данные об угле (младший байт старшего слова)
8	контрольная сумма (младший байт)
9	контрольная сумма (старший байт)

Данные занимают с 4 по 7 байта. Цена младшего разряда при измерении угла составляет 0,001 градуса. Если диапазон измерения угла составляет  $\pm 180$  градусов, то максимальное возможное числовое значение, которое может отправить инклинометр, составляет 360000, т.е. значение 0 – -180 градусов, 180000 – 0 градусов, а 360000, соответственно, +180 градусов.

Приведем пример. Производится вычитка значения из инклинометра младшим байтом вперёд (значение 2023 в 16-ной системе счисления). Полученная цифра преобразуется в десятичную форму (8227). Далее требуется учесть относительный ноль, т.е. из преобразованного значения вычесть 180000, а затем умножить на цену младшего разряда. Полученное значение и будет градусом (-171 градус).

Таким образом, была рассмотрена работа инклинометра, разъяснен принцип обмена с ним.

#### Литература

1. Сикорд Р. Эффективный С. Профессиональное программирование — Питер, 2021, — 304 с.
2. Микушин А.В. Цифровые устройства и микропроцессоры — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 832 с.
3. Платт Чарльз. Электроника: логические микросхемы, усилители и датчики для начинающих. — СПб.: БХВ-Петербург, 2015. — 448 с.

*Д.А. Пронин, маг., М.А. Амелина  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХ АППАРАТНЫХ СОПРОЦЕССОРОВ БПФ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЛИ**

В зависимости от объема программных проектов меняется количество этапов разработки. Если проект очень важный и в процессе эксплуатации может оказывать воздействие на людей или же каким-либо образом взаимодействовать с ними, либо является довольно дорогостоящим, то все этапы будут детально проработаны. Стоит учесть тот момент, что могут появляться и дополнительные пункты проверки работоспособности.

Самым первым и главным этапом является определение проблемы, которую будет решать данное устройство. Как только цель создания была

сформулирована, следом обозначаются функциональные требования к аппаратуре: скорость обработки информации, скорость выполнения команд, список команд и так далее.

Перейдем к этапу программирования, пропуская этапы построения плана разработки и разработки архитектуры. Потребуется минимальный набор функций, которые будут исполнять требуемые согласно техническим условиям. Обычно это пишется с целью первичной проверки работоспособности аппаратуры, проверить алгоритмы, замерить скорость работы, проверить количество свободной памяти. Как правило, последние пункты при начальном написании программного кода не выполняются. Следовательно, требуется оптимизация программного обеспечения.

Оптимизация — это модификация программного кода с целью повышения эффективности работы всей системы. Это может заключаться как в увеличении производительности, так и в использовании меньшего объема памяти.

Оптимизация происходит на нескольких уровнях. Первый из них — низкоуровневая оптимизация. Она производится на моменте превращения кода, написанного программистом, в набор машинных команд. Вторым уровнем является высокоуровневая оптимизация, которая осуществляется программистом.

Для высокоуровневой, или машинно-независимой, оптимизации существенную роль играет знание мест, замедляющих выполнение кода, так и уровень развития программиста. Так, например, лишь малый участок кода может занимать более 85% времени.

Рассмотрим программный код, реализующий обработку с использованием двух сопроцессоров.

Для успешных результатов выполнения быстрого преобразования Фурье требуются исходные данные, правильно записанные во входную очередь сопроцессора каждого блока каждого пакета. При условии, если по техническому заданию излучается два луча, то при обработке следует обрабатывать их друг за другом, то есть первый блок первого луча, а затем второй блок второго луча.

Первым пунктом оптимизации обработки стал блок записи входных данных. При отладке кода мнимые и действительные части сигнала располагались в DDR3-памяти. Вычитка данных из ОЗУ занимало большое количество времени. Взамен DDR3-памяти был выбран участок быстрой памяти процессора MSMCSRAM. Её минусы — малый объем, поэтому большой сигнал туда вряд ли поместится.

Так как запись во входной буфер происходит блочно и требуется учесть, какой на данный момент луч, резонно использовать развертку циклов. Алгоритм второго пункта оптимизации блока записи входных данных выглядит следующим образом: для каждого блока, где четное значение — первый луч, а нечетное — второй, проверять четность записываемого блока, а затем производить  $n$ -ого количества периодов в данной подпоследовательности.

Результат первого быстрого преобразования Фурье требуется домножить на рассчитанные коэффициенты доворота фаз. Коэффициенты раскладываются при помощи ряда Тейлора на мнимую и действительные составляющие. Для ускоренного комплексного перемножения, воспользуемся функцией `dcmpru()`. Её особенность в том, что за одну итерацию выполняется комплексное перемножение четырех 16-битных комплексных пар и переупаковка полученных результатов в 64-битное представление.

Следующим этапом оптимизации является ускоренный сдвиг вправо на скалирующий коэффициент быстрого преобразования Фурье. На данном участке кода воспользуемся функцией `dshr()`, осуществляющая сдвиг вправо двух значений на коэффициент скалирования.

При проведении селекции движущихся целей промежуточный результат после доворота фаз и перестановки отсчетов перемножается на заранее синтезируемые фильтры. Сами фильтры для наибольшего быстрогодействия нужно расположить в быструю память процессора L2SRAM. Функцией `tru32ll()` будет производиться перемножение каждой комплексной составляющей на значение фильтра.

Для второго сопроцессора требуются 16-битные значения мнимой и действительной части комплексного числа. После всех перемножений результата первого быстрого преобразования Фурье получаются пары 32-битных значений. При помощи функции `_sprack2()` происходит перепакровка 32-битных пар в 16-битные пары. Полученные значения сохраняются в массив, расположенного в L2SRAM-памяти.

Device Details

Device Name

TMS320C6670

Device Family

c6000

Clock Speed (MHz)

1000

Import...

Custom Memory

Name	Base	Length	Space	Access
MSMCSRAM	0x0c000000	0x001C0000	code/data	RWX
L1DSRAM	0x00F00000	0x7FFF	data	RWX
L1PSRAM	0x00E00000	0x7FFF	code	RWX
L2SRAM	0x00820000	0x000E0000	code/data	RWX
DDR3_SHARED	0x80000000	0x08000000	code/data	RWX
MSMC_SHARED	0xC1C000	0x00040000	code/data	RWX
DDR3_CORE1	0x8E000000	0x06000000	code/data	RWX
DDR3_CORE2	0x94000000	0x06000000	code/data	RWX
DDR3_CORE3	0x9A000000	0x06000000	code/data	RWX
DDR3_CORE0	0x88000000	0x06000000	code/data	RWX
L2SRAM_IBL_RESERVED	0x00800000	0x00020000	code/data	RWX

L2 Cache: 0k

L1D Cache: 32k

L1P Cache: 32k

**Рисунок 14 — Включение кэширования**

Каждая функция, описанная выше, является библиотечной от производителя платы TMS320C6670 — Texas Instruments. Для сравнения были проведены замеры времени обработки без и с этими функциями. Так, если

отказаться оптимизированных функций, то время составляет ~140 мс, а если использовать их, то ~75 мс, что быстрее практически в 2 раза.

Ещё одним способом оптимизации выполнения программного кода является включение кэширования на уровне L1 памяти процессор. Это осуществляется при помощи редактирования платформы устройства (рис. 1).

Результатом оптимизации стало, что время выполнения программного кода стало примерно 30 мс.

Таким образом, были рассмотрены варианты оптимизации программного кода. Устройство находится в активном процессе разработки, исправляется машинный код, производятся разного рода обновления.

#### Литература

1. Сикорд Р. Эффективный C. Профессиональное программирование — Питер, 2021, — 304 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. — 3-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 768 с.
3. Солонина А.И. Цифровая обработка сигналов в зеркале MATLAB: учеб. пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — 560 с.
4. Спектральные методы анализа: учебное пособие / Васильева В.И., Стоянова О.Ф., Шкутина И.В., Карпов С.И. — Лань, 2014. — 416 с.

*Д.С. Рассказа, ст. преп.; М.С. Ковалева, студ.; А.С. Иванова, студ.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ. ОБРАБОТКА ПОКАЗНИЙ**

В современном мире сложно представить какое-либо измерительное устройство без возможности задания и выбора каких-либо электрических параметров и их отображения на встроенном дисплее. В современных модулях управления за обработку параметров отвечает микроконтроллер. Но во многих измерительных устройствах необходимо выводить намного большие значения электрических параметров, чем может обработать микроконтроллер. Один из способов решения этой проблемы — использование резистивного делителя и операционного усилителя для преобразования сигнала в нужное значение, обрабатываемого микроконтроллером. В данной статье будет рассмотрено использование схемы модуля управления для обработки электрических параметров, таких как напряжение, ток и мощность.

Сигнал на модуль управления поступает с измерительных шунтов. Диапазон входных напряжений может быть любым. В статье рассматривается диапазон входных напряжений 10...35В. Для обработки значений напряжения будет использоваться встроенный в микроконтроллер АЦП. В [1] рассмотрен выбор микроконтроллера, имеющий в своем составе 10-разрядный АЦП. АЦП микроконтроллера обрабатывает напряжение на входе, не превышающее 5В. Таким образом, чтобы получить требуемое значение напряжения, искомое

напряжение необходимо предварительно обработать. За это в схеме отвечает резистивный делитель, расчет которого будет выглядеть следующим образом.

Выходное напряжение будет вычисляться по формуле (1):

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{ВЫХ}}$  — выходное напряжение;

$U_{\text{ВХ}}$  — входное напряжение;

$R_1, R_2$  — сопротивление резисторов.

Расчеты резистивного делителя осуществляются для максимального значения напряжения, так как напряжение на входе и выходе делителя прямо пропорционально, то есть, чем больше напряжение на входе делителя, тем больше напряжение на выходе.

Для обработки значений тока также будет использоваться встроенный в микроконтроллер АЦП, но в качестве обрабатываемого сигнала будет использоваться падение напряжения на измерительных шунтах. В данном случае напряжение, поступающее на входы микроконтроллера слишком мало для обработки, поэтому было принято решение в схеме использовать операционный усилитель с отрицательной обратной связью.

Сопротивление измерительного шунта должно быть минимальным, а максимальный ток соответствовать заявленным требованиям на разрабатываемое устройство.

Выходное напряжение измеряется по формуле (2):

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ш}} \cdot \frac{R_{\text{ОС}}}{R_1} \quad (2)$$

Расчеты производятся для максимальных значений, так как падение напряжение на шунте прямо пропорционально выходному напряжению.

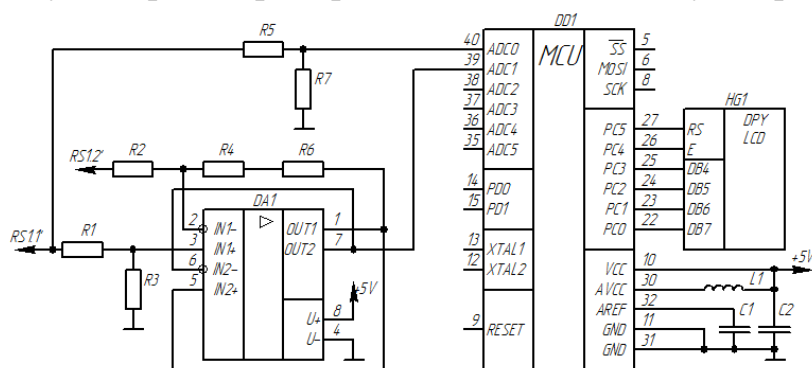


Рисунок 15 — Принципиальная схема блока обработки электрических показаний

Сигнал на входах АЦП измеряется относительно опорного напряжения, задающего диапазон преобразований. Это напряжение является максимальным для измерения. Так как все преобразования рассчитаны на напряжение 5В, то в качестве источника опорного напряжения используется напряжение питания МК 5В.

Исходя из вышесказанного, принципиальная схема блока обработки примет вид, представленный на рис. 1.

Сигнал для обработки поступает на блок с выводов измерительного шунта. Через резистивный делитель и операционный усилитель происходит предварительная обработка сигнала. Далее сигнал поступает на входы микроконтроллера, отвечающие за аналогово-цифровое преобразование сигнала. Сигнал с выходов микроконтроллера поступает на ЖК-дисплей, где отображаются окончательные электрические показания. Регулировка значений показаний производится с помощью энкодера [1].

Согласно вышеизложенному, были составлены блок-схемы алгоритмов измерения напряжения (рис. 2) и измерения тока (рис. 3).

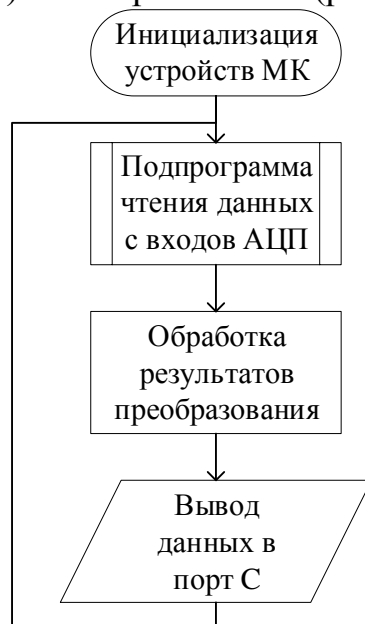


Рисунок 16 — Блок-схема алгоритма измерения напряжения

По завершении преобразования завершении преобразования результат считывается из пары регистров результата преобразования.

Так как преобразование, выполняемое АЦП, однополярное, то результат равен (3):

$$ADC = \frac{N \cdot V_{in}}{V_{ref}}, \quad (3)$$

где  $ADC$  — результат преобразования АЦП;

$V_{in}$  — искомое напряжение;

$V_{ref}$  — опорное напряжение,

$N$  — число возможных кодовых комбинаций.

Чтобы вычислить значение искомого напряжения необходимо учитывать влияние коэффициента деления резистивного делителя напряжения. Таким образом, формула вычисления искомого напряжения примет вид (4):

$$V_{in} = \frac{V_{ref} \cdot ADC}{N} \cdot K. \quad (4)$$

где  $K = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$  — коэффициент деления.

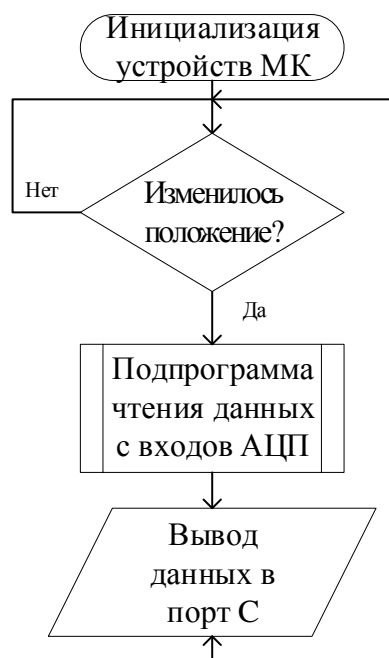


Рисунок 17 — Блок-схема алгоритма измерения силы тока

Значение силы тока зависит от результата преобразования энкодера. В зависимости от значения счетчика, будет изменяться значение силы тока. Искомое напряжение для измерения силы тока вычисляется по формуле (5). Взаимодействие с АЦП при измерении силы тока происходит в режиме одиночного запуска. При вычислении напряжения необходимо учитывать значение коэффициента усиления операционного усилителя. С учетом коэффициента усиления получим (8):

$$V_{in} = \frac{V_{ref} \cdot ADC}{N \cdot K_{oy}}. \quad (5)$$

где  $K_{oy} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$  — коэффициент усиления ОУ.

Мощность вычисляется программно согласно формуле (6).

$$P = I \cdot U. \quad (6)$$

Таким образом, осуществляется обработка электрических параметров микроконтроллером. Все значения, приведенные в статье — формальные. Данный модуль управления может эксплуатироваться при любых значениях электрических параметров. Для этого необходимо произвести расчеты для заданного диапазона.

#### Литература:

1. Ковалева М.С., Иванова А.С. Разработка универсального модуля управления для электронной нагрузки //Национальная научно-техническая конференция с международным участием «Перспективные материалы и технологии» («ПМТ - 2022»).
2. 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.



## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ

При проектировании универсального модуля управления [1] возникла необходимость в управлении большим количеством ключей для подачи тока на нагрузку. Для реализации этой цели необходимо было бы применять микроконтроллер с большим количеством выводов, что не выгодно с экономической точки зрения, и возникли бы повышенные требования к плотности монтажа микроконтроллера. Решением этой проблемы служит применение в схеме сдвиговых регистров.

Подключение сдвигового регистра к микроконтроллеру представлено на рис. 1.

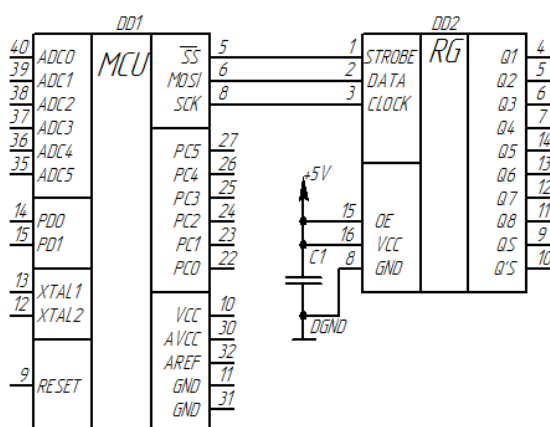


Рисунок 18 — Схема подключения сдвигового регистра

Для управления регистром необходимо три вывода микроконтроллера, что позволяет использовать микроконтроллеры с небольшим количеством выводов.

Сдвиговые регистры работают на интерфейсе SPI:

- DATA — вход последовательных данных. Подключается к выводу микроконтроллера MOSI. С входа осуществляется чтение данных.

- CLOCK — тактовый вход регистра. Подключается к выводу микроконтроллера SCK. На вход поступает последовательность нулей и единиц. При высоком уровне сигнала в регистр записываются данные, поступающие на вход данных, при низком уровне — запись прекращается.

- STROBE — тактовый вход регистра сдвига. Подключается к выводу микроконтроллера  $\overline{SS}$ . При низком логическом уровне на входе осуществляется запись данных в регистр сдвига. После подачи на вход высокого логического уровня данные переходят в нижний регистр хранения и готовы к отправке.

Управление сдвиговыми регистрами осуществляется через шину SPI. В микроконтроллере Atmega16 для работы с модулем SPI используются три регистра:

- управляющий регистр SPCR;
- статусный регистр SPSR;
- регистр данных SPDR.

На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма работы со сдвиговыми регистрами.

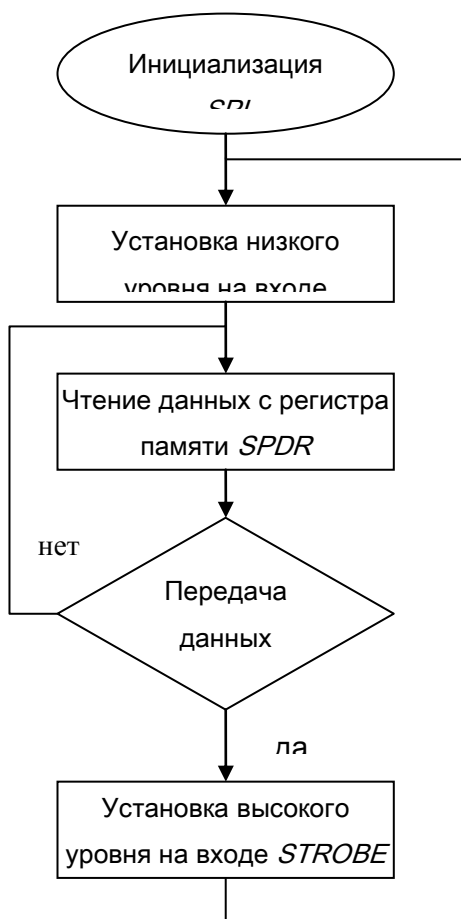


Рисунок 19 — Блок-схема алгоритма работы с регистрами сдвига

На входе STROBE установлен низкий уровень — запись разрешена. Когда на входе SCK присутствует логическая единица, начинается загрузка данных. Бит, который находится на входе данных DATA, считывается и записывается в сдвиговый регистр SPDR. При поступлении на тактовый вход следующего импульса высокого уровня, в сдвиговый регистр записывается следующий бит со входа данных. Бит, записанный в памяти ранее, сдвигается на один разряд влево. Таким образом, происходит запись оставшихся битов, при этом предыдущие биты сдвигаются на одну позицию влево. Когда запись завершена, т.е. в памяти записаны все 8 возможных битов, необходимо передать данные в нижний регистр хранения. Для этого необходимо сформировать на входе

STROBE высокий логический уровень. Если этого не сделать, регистр снова начнет заполнять все данные, начиная с младшего разряда.

Таким образом, происходит запись данных в один сдвиговой регистр. Но зачастую одного сдвигового регистра недостаточно, требуется подключение большего количества выходных каналов.

При последовательном подключении сдвиговых регистров запись в каждый регистр происходит последовательно до тех пор, пока не передадутся все данные с микроконтроллера. Это удобно, если не требуется выбирать выходной канал. Однако, если отдельный регистр (несколько регистров) должны управлять определенным каналом, то такое управление сдвиговыми регистрами не подходит.

Блок-схема алгоритма работы со сдвиговыми регистрами, управляющими тремя определенными выходными каналами представлена на рис. 3. На канал — пара регистров.

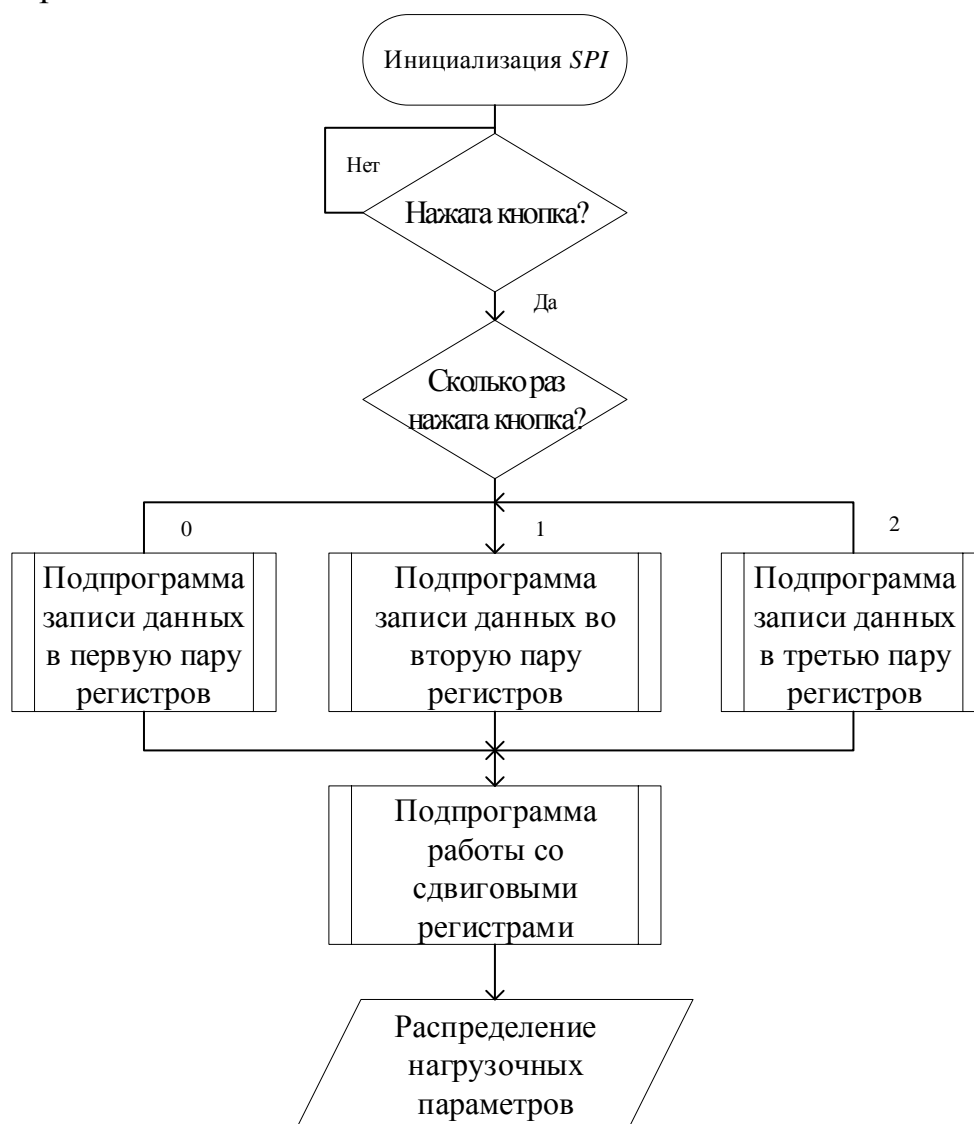


Рисунок 20 — Блок-схема алгоритма работы со сдвиговыми регистрами, управляющими тремя определенными выходными каналами

Нажатием кнопки энкодера [1] определяется выходной канал. В подпрограмме записи данных в регистры определяются переменные, отвечающие каждая за свой регистр, и при определенном числе нажатий происходит изменение только этих переменных, сохраняя все предыдущие значения, записанные в остальные регистры. Данная подпрограмма реализуется с использованием встроенного в микроконтроллер таймера. Подпрограмма работы со сдвиговыми регистрами соответствует блок-схеме рис. 2 и выполняется в вечном цикле программы микроконтроллера.

В настоящее время модуль управления нашел свое применение в составе электронной нагрузки [2]. Модуль управления исправно обеспечивает заложенные требования.

Список использованных источников:

3. Ковалева М.С., Иванова А.С. Разработка универсального модуля управления для электронной нагрузки //Национальная научно-техническая конференция с международным участием «Перспективные материалы и технологии» («ПМТ - 2022»).
4. Ковалева М.С., Иванова А.С. Разработка устройства электронной нагрузки//Национальная научно-техническая конференция с международным участием «Перспективные материалы и технологии» («ПМТ - 2022»)

*Д.С. Рассказа, ст. преп.; М.С. Ковалева, студ.; В.А. Ковалев, студ.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ. РЕГУЛИРОВКА ПАРАМЕТРОВ

В современном мире сложно представить какое-либо измерительное устройство без возможности задания и выбора каких-либо электрических параметров и их отображения на встроенном дисплее. Для решения этой проблемы был разработан универсальный модуль управления (рис. 1), который в своем составе имеет блок обработки показаний, блок регулировки тока нагрузки и блок распределения тока нагрузки [1]. За управление и связь между блоками отвечает микроконтроллер. Все обработанные показания выводятся на цифровой дисплей.

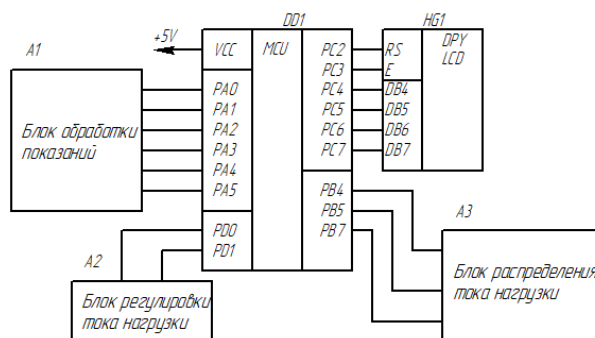


Рисунок 21 — Функциональная схема универсального модуля управления

Основное требование к работе модуля управления — считывание, регулировка и обработка электрических параметров с возможностью вывода их значений на встроенный ЖК-дисплей и последующим распределением на другие модули. Существуют разные виды регулировки электрических параметров. Один из них — ступенчатая регулировка. Блок регулировки тока нагрузки разработан таким образом, чтобы реализовывалась ступенчатая регулировка тока нагрузки. Устройство, отвечающее требованиям ступенчатой регулировки тока, — инкрементальный энкодер.

Реализация блока регулировки тока нагрузки представлена на рис. 2.

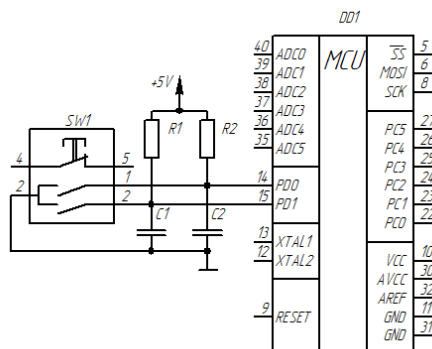


Рисунок 22 — Схема блока регулировки тока нагрузки

Как видно из схемы энкодер состоит из двух пар контактов, работающих таким образом, что при вращении ручки энкодера, каждая пара контактов замыкается и размыкается. Но при этом контакты расположены так, что при вращении в разные стороны порядок срабатывания контактов разный: один контакт работает на замыкание, а второй — на размыкание.

Сигнальные выводы энкодера подключаются к портам микроконтроллера PD0, PD1 через резисторы R1 и R2, которые обеспечивают подтяжку к питанию и конденсаторы C1 и C2, которые обеспечивают защиту от дребезга контактов, общий контакт подключается на землю. Для фиксации положения энкодера можно использовать встроенную кнопку, но в проекте она не будет задействована.

В состоянии покоя энкодера (ручка в начальном состоянии, не вращается) на выходах контактов энкодера формируется логическая 1. При изменении состояния ручки энкодера сигнальные выводы попеременно подключаются к земле, тем самым формируя логический ноль. После этого сигнальные выходы начинают поочередно отключаться от земли. На выходах — логическая единица. Цикл повторяется пока инкрементальный энкодер не перейдет в состояние покоя. Таким образом, происходит формирование последовательности нулей и единиц в инкрементальном энкодере. Выходной сигнал энкодера — двухканальная логическая последовательность, каналы который смещены относительно друг друга на 90°.

Возможно два состояния вращения ручки инкрементального энкодера: по часовой стрелке и против часовой стрелки. При вращении по часовой стрелке

сигнал, поступающий с сигнальных выводов энкодера на входы микроконтроллера, принимает вид, показанный на рис. 3.



Рисунок 23 — Сигнал на входах МК при вращении а) по часовой стрелке; б) против часовой стрелки

При вращении против часовой стрелки сигнал, поступающий с сигнальных выводов энкодера на входы микроконтроллера, принимает вид, показанный на рис. 4.

Если преобразовать полученные сигналы в двоичный код, получим:

$A = 0011001100$

$B = 1001100110$ ,

при вращении по часовой стрелке;

$A = 0011001100$

$B = 0110011001$ ,

при вращении против часовой стрелки.

Таким образом, цифровые значения сигналов инкрементального энкодера образуют четыре логических состояния:

•  $0 = 00$ ;

•  $1 = 01$ ;

•  $2 = 10$ ;

•  $3 = 11$ .

Данные логические состояния повторяются циклично во время вращения ручки энкодера.

Состояния «0-2» являются промежуточными. В них энкодер имеет неопределенные значения. Состояние «3» (две единицы) — режим формирования сигнала. Сформированное число определяет учтенные значения счетчиком энкодера. Это же число обрабатывает в своей программе микроконтроллер, формируя на выходе сигналы, отвечающие за конечное настроенное значение электрических параметров.

В программе, заложенной в микроконтроллере, будут обрабатываться два значения, отвечающие за текущее и предыдущее состояние. Посредством этого сравнения будет делаться вывод о направлении вращения ручки энкодера. Блок-схема алгоритма опроса энкодера микроконтроллером представлена на рис. 4.

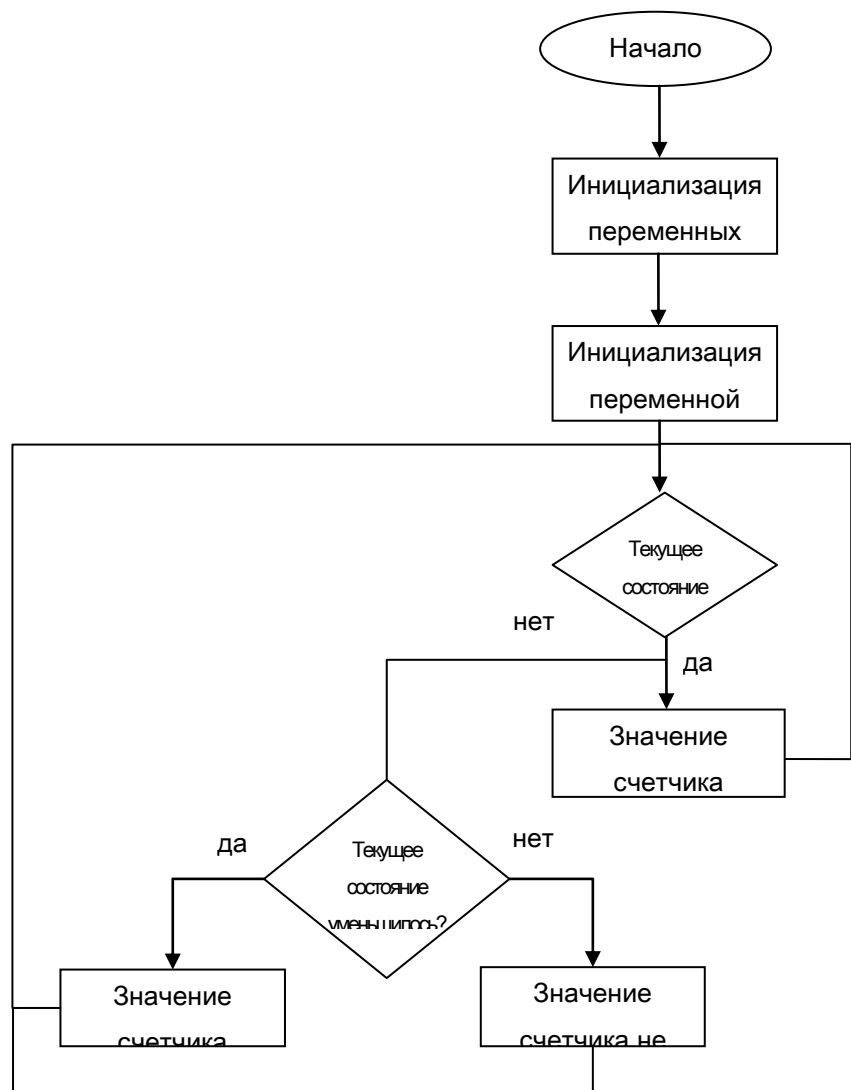


Рисунок 24 — Блок-схема алгоритма вращения ручки энкодера

В программе микроконтроллера циклически сравниваются состояния энкодера. Чтение производится по периодическому опросу состояния. В программе микроконтроллера задаются переменные, которые отвечают за промежуточное состояние энкодера, переменная счетчика, которая отвечает за полный цикл переключения энкодера и переменная текущего состояния. В обработчике прерывания таймера запускается программа. В переменную текущего состояния записываются логические уровни, считываемые с сигнальных выходов энкодера. Затем происходит сравнение двух переменных. По этому сравнению микроконтроллер определяет в какую сторону происходило вращение ручки энкодера, и в зависимости от этого значение счетчика будет увеличиваться при вращении по часовой стрелке или уменьшаться при вращении против часовой стрелки. Если положение ручки не изменилось, микроконтроллер зафиксирует предыдущее значение счетчика.

Помимо вышеперечисленного некоторые инкрементальные энкодеры оснащены кнопкой. Выводы 4, 5 рис. 5а, а схема принимает вид, представленный на рис. 5б.

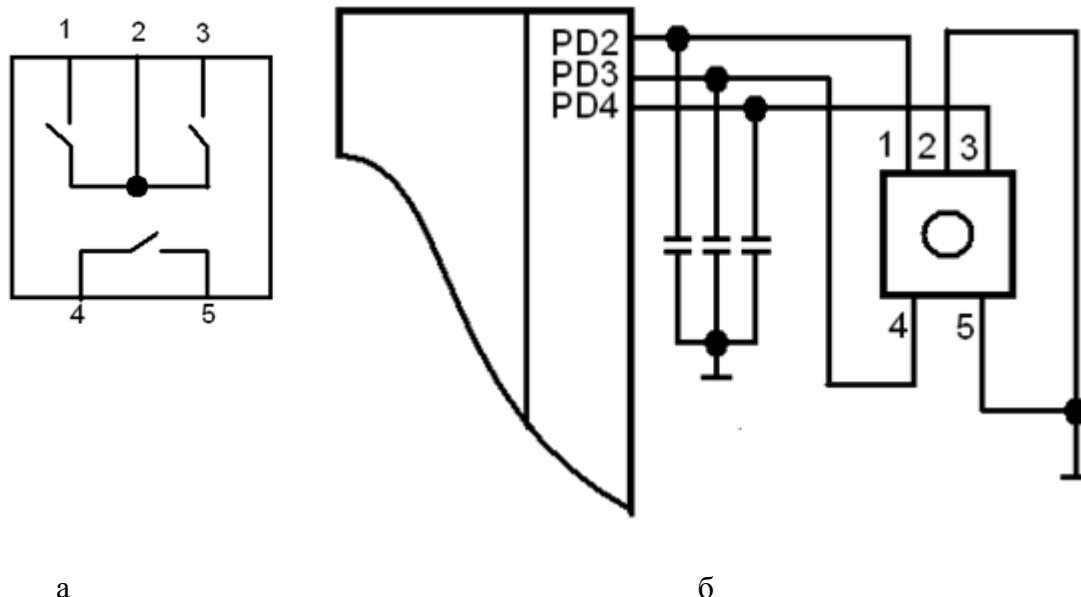


Рисунок 25 — а) энкодер, оснащенный кнопкой; б) подключения энкодера, оснащенного кнопкой

При регулировке параметров нескольких подключаемых к блоку управления каналов, использование кнопки целесообразно для выбора канала.

Таким образом, осуществляется ступенчатая регулировка электрических параметров. Каждому состоянию регулировки соответствует определенное значение счетчика. Шкала изменений определяется из требований к энкодеру: количество импульсов на оборот и к максимальным значениям электрических параметров.

#### Литература:

5. Ковалева М.С., Иванова А.С. Разработка универсального модуля управления для электронной нагрузки //Национальная научно-техническая конференция с международным участием «Перспективные материалы и технологии» («ПМТ - 2022»).
6. Измеряя параметры вращения: энкодеры Bourne [Электронный ресурс] : URL : <https://www.compel.ru/lib/67028>

*В.Ю. Саленков, маг.; В.Д. Фомин, маг.; Д.С. Рассказа, ст. пр.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ДОСТУПА В ПОМЕЩЕНИЕ**

В XXI веке сигнализация как устройство плотно вошло в нашу жизнь. Этому способствовало множество факторов, от хищения имущества до необходимости информирования о надвигающейся катастрофе. Несмотря на то, что самой сигнализации уже много лет, актуальности она не теряет. Хорошая охранная система может спасти не только имущество, но и жизнь.

Система контроля доступа должна предупреждать о незаконном пересечении границ участка. Важным фактором является своевременное



определение угрозы извне, будь то грабитель или хищник, случайно забредший на участок. Подобная разработка должна быть малогабаритной, непривередливой к системе питания, и обладать беспроводным протоколом связи.

Современные проблемы требуют современных решений, для решено использовать актуальные компоненты. Ведь с течением времени, злоумышленники находят все новые и новые способы обхода систем контроля доступа.

В ходе подготовки проекта был составлен алгоритм работы устройства (рис.1)

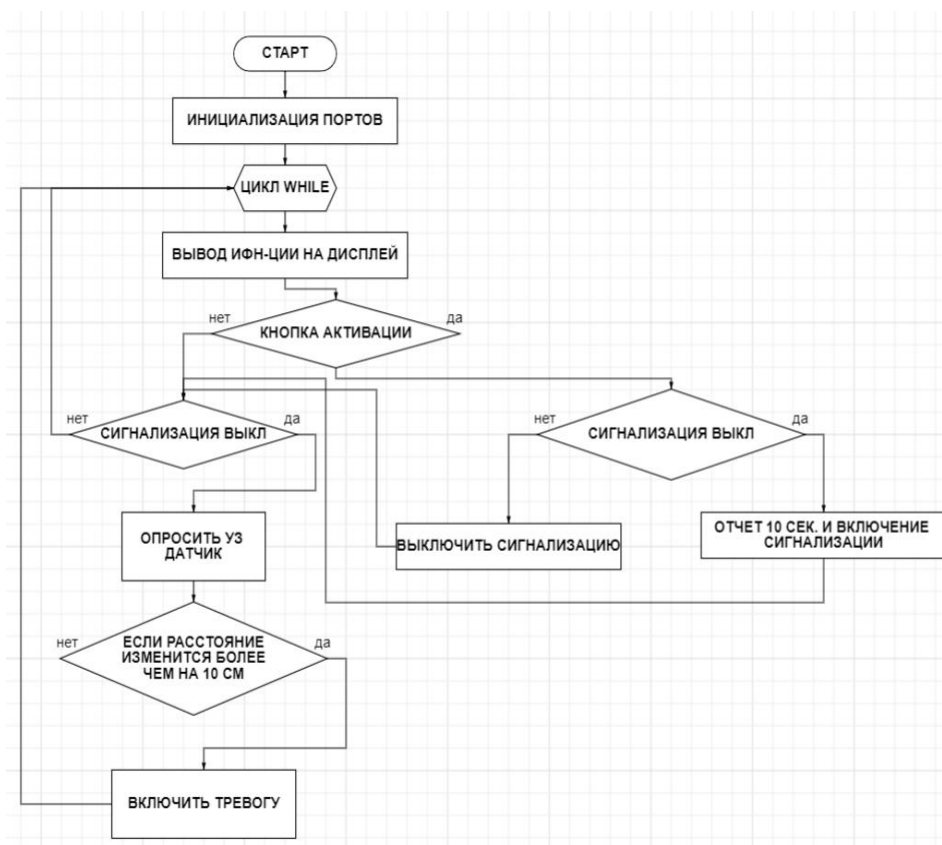


Рисунок 1 — Алгоритм работы

После подключения устройства к сети питания происходит инициализация датчика и на дисплее выводится надпись о текущем состоянии сигнализации (рис 2.).

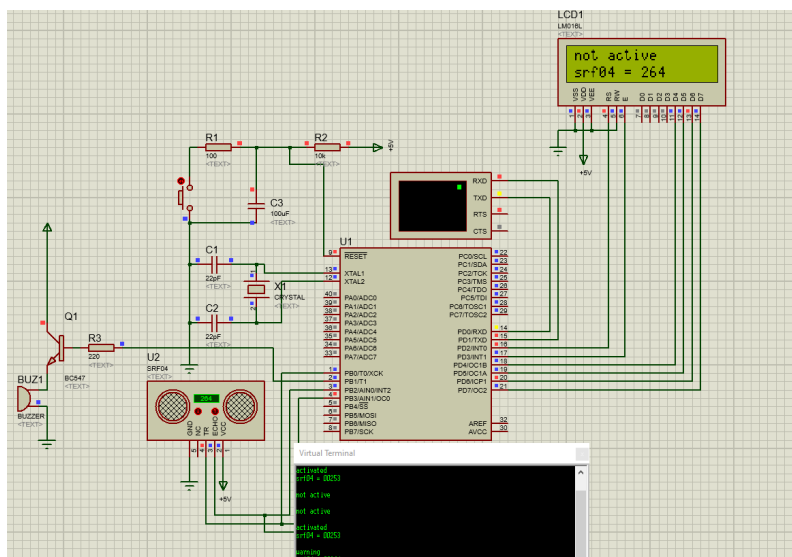


Рисунок 2 — Режим ожидания

Для установки режима охраны требуется нажать кнопку активации, после чего запустится таймер отчёта в 10 секунд (подразумевается, что за это время владелец должен покинуть зону покрытия сигнализации), после чего сигнализация запустится. Радиус действия сигнализации до 3м, а угол зоны покрытия около 45-ти градусов. Опрос датчика происходит каждые 2 секунды. (рис.3).

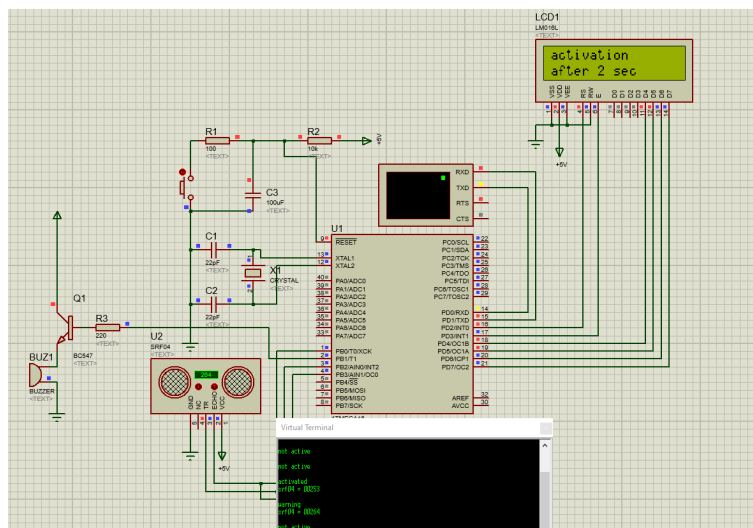


Рисунок 3 — Режим активации

При срабатывании датчика на изменение расстояния более чем на 10см (погрешность не превышает  $\pm 3\text{см}$ ), срабатывает режим тревоги, включается зуммер, также по протоколу UART через микроконтроллер при помощи bluetooth модуля отправляется сообщение владельцу о несанкционированном проникновении (рис.4)

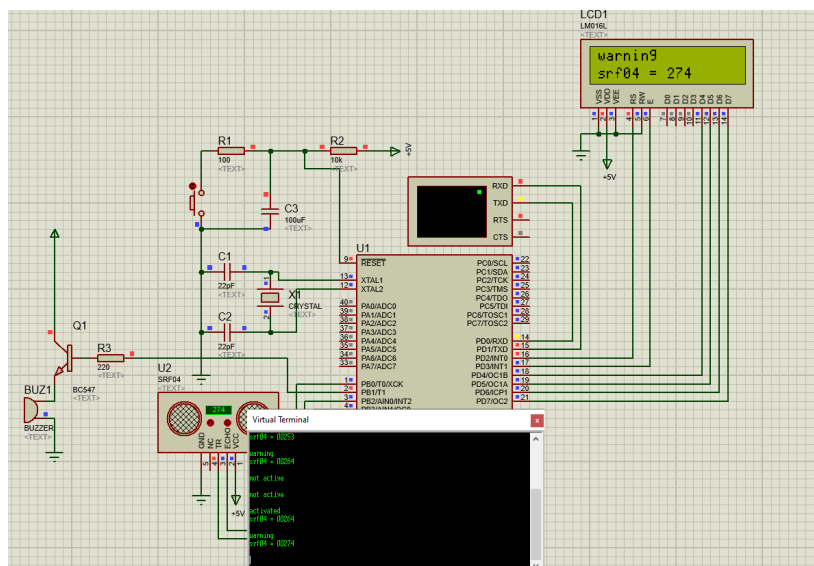


Рисунок 4 — Режим тревоги

Сброс устройства происходит либо через нажатие кнопки активации, либо посредством отправки сообщения "STOP" через UART протокол

В ходе дальнейших работ по модернизации устройства планируется добавить расширенный функционал по управлению устройством через bluetooth модуль.

#### Литература

1. Универсальный асинхронный приёмопередатчик [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Универсальный\\_асинхронный\\_приёмопередатчик](https://ru.wikipedia.org/wiki/Универсальный_асинхронный_приёмопередатчик)
2. Ультразвуковой датчик расстояния Arduino HC-SR04 [Электронный ресурс] URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/>

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

### **АНАЛИЗ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, НЕГАТИВНО ВЛИЯЮЩИХ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Функционирование радиотехнических изделий, характеризующихся высокой степенью автономности и эксплуатирующихся на открытой местности, всегда осуществляется в условиях внешних воздействий, имеющих различную природу происхождения и характеризующихся различной интенсивностью, основными из которых являются:

- климатические воздействия,
- механические воздействия,
- биологические воздействия,
- воздействия специальных сред,
- электрические воздействия,
- воздействия радиационных и электромагнитных излучений.

В свою очередь, среди них можно выделить две группы внешних воздействий:

- а) воздействия, вызывающие накапливающуюся реакцию

радиотехнических изделий, которые чаще всего представлены:

- практически всеми видами климатических воздействий,
- некоторыми видами механических воздействий,
- биологическими воздействиями,
- радиационными воздействиями (малой интенсивности),
- воздействиями специальных (агрессивных) сред,

б) воздействия, вызывающие немедленную ответную реакцию радиотехнических изделий, которые чаще всего представлены:

- некоторыми видами механических воздействий,
- электромагнитными излучениями,
- некоторыми видами электрических воздействий,
- радиационными воздействиями (большой интенсивности).

Влияние воздействий, вызывающих накапливающуюся реакцию радиотехнического изделия, как правило, минимизируется еще на этапе его проектирования, путем выбора соответствующего варианта конструктивного исполнения и используемых материалов, обеспечивающих выполнения требований технического задания.

Степень влияние воздействий, вызывающих немедленную ответную реакцию радиотехнического изделия, как правило, оценивается на этапе проведения его испытаний, путем создания (воспроизводства) условий их возникновения.

Методы испытаний радиотехнических изделий принято делить на два вида:

- испытания радиотехнических изделий (макетов радиотехнических изделий) экспериментальным путем,
- испытания радиотехнических изделий путем моделирования.

В свою очередь, испытания радиотехнических изделий экспериментальным путем проводятся чаще всего:

- в условиях естественного воздействия внешних факторов (например, в ходе полигонных или натурных испытаний),
- в условиях имитации воздействия внешних факторов на специализированных стендах (испытания стендовые) или на лабораторных установках (испытания лабораторные).

Испытания радиотехнических изделий путем моделирования позволяют получать результаты, отличающиеся достаточной достоверностью без значительных временных и материальных ресурсов, что является экономически выгодным.

Анализ воздействий, вызывающих немедленную ответную реакцию радиотехнических изделий в процессе их эксплуатации, показывает, что чаще всего, трудности проведения испытаний экспериментальным путем радиотехнических изделий (макетов радиотехнических изделий), обусловленные различными факторами, возникают при определении:

- прочности радиотехнических изделий при воздействии разряда молнии,
- прочности радиотехнических изделий при воздействии электростатического разряда,

- стойкости радиотехнических изделий к воздействию электромагнитных полей, возникающих при работе передатчиков радиопередающих средств и радиолокационных станций,

- стойкости радиотехнических изделий к воздействию электромагнитных полей, возникающих вблизи высоковольтных линий электропередачи и контактных сетей железных дорог.

- устойчивости радиотехнических изделий к опрокидыванию, вследствие воздействия ветровых нагрузок.

Вследствие этого, актуальной задачей является разработка методик, позволяющих оперативно проводить оценку реакции радиотехнических изделий на:

- воздействия разрядов молний,
- воздействия электростатических разрядов,
- воздействия электромагнитных полей, возникающих при работе передатчиков радиопередающих средств и радиолокационных станций,
- воздействия электромагнитных полей, возникающих вблизи высоковольтных линий электропередачи и контактных сетей железных дорог,
- воздействия ветровых нагрузок.

#### Литература

1 Вэнс Э. Ф. Влияние электромагнитных полей на экранированные кабели / Э. Ф. Вэнс. – М.: Радио и связь, 1982. – 118 с.

2 Кечиев Л. Н., Пожидаев Е. Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества / Л. Н. Кечиев, Е. Д. Пожидаев – М.: Издательский дом «Технологии», 2005. – 352 с.

3 Кравченко В. И., Болотов Е. А., Летунова Н. И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / В. И. Кравченко Е. А., Болотов, Н. И. Летунова.. – М.: Радио и связь, 1987. – 255 с

*Н.Н. Строев, к. т. н., доц.*

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

### **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗРАБОТКИ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА БВС МАЛОГО КЛАССА ДЛЯ УДАЛЕННОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОТЕЧЕК МЕТАНА**

БВС малого класса самолетного типа успешно используются для решения различных задач мониторинга площадей земной поверхности и протяженных объектов (трубопроводов, трасс, гидросооружений и тп). Решение подобных задач требует применения соответствующей аппаратуры, которая может работать в качестве бортового комплекса для определённого класса летательных аппаратов.

Задача проведения воздушного мониторинга трасс газопроводов является актуальной, особенно в труднодоступных районах. В настоящее время для этих целей имеются и успешно эксплуатируются вертолетные комплексы, экономическая и техническая эффективность которых является не бесспорной. Использование для мониторинга трасс газопроводов легких БВС самолетного

типа весьма привлекательно, прежде всего, с экономической точки зрения и безопасности. Такие БВС обеспечивают прохождение протяженных трасс, высокую скорость, малые расходы на проведение полетов, при аварийных ситуациях мала вероятность возникновения взрыва и пожароопасности.

Проведенный анализ открытых источников показал, что в области удаленного изучения состава атмосферы и определения концентраций составляющих газов проводится множество научных исследований, достигнуты неоспоримые успехи при создании методов исследований и аппаратуры для их проведения [1]. Таким образом, имеются существенные предпосылки для разработки средств удаленного обнаружения повышенных концентраций газов, в том числе и метана.

Однако следует отметить, что большинство методов, обеспечивающих заданные функции удаленного мониторинга не могут быть использованы в составе комплексов БВС малого класса вследствие их большой массы, габаритов, значительного энергопотребления. По этой причине потребовался анализ технических решений в заданной области с поиском возможных реализаций.

В процессе поискового исследования было установлено, что большинство имеющихся технических средств для мониторинга протечек газа предназначены для вертолетных пилотируемых комплексов, хотя имеются предложения и для БВС различных типов. Много предложений в данной области имеет российская компания АО «ПЕРГАМ-ИНЖИНИРИНГ» [2].

Совершенно очевидно, что громоздкая аппаратура существующих вертолетных комплексов не может быть установлена на легкие беспилотники. Применение тяжелых БВС для целей мониторинга газопроводов представляется дорогостоящим и небезопасным. Падение подобного объекта в зоне газопровода способно вызвать его повреждение и аварию. Именно поэтому в последнее время активно развивается направление применения бортовых мониторинговых комплексов для БВС малого класса. Имеющиеся в этой области предложения можно подразделить на две группы. Первая связана с включением в состав комплекса газоанализатора, работающего на основе оптического канала с анализом поглощения волновой энергии лазерного луча по трассе его прохождения. Такие спектральные анализаторы способны не только выявлять наличие метана, но и определять его концентрацию. Наиболее портативные модели имеют массу от 500 до 1000 г, что определяет потенциальную возможность использования в составе бортового комплекса БВС малого класса.

Для второй группы оборудования характерно использование тепловизионных приборов с выделением зон ИК спектра с характерным для метана поглощением. Найденные сведения по этой группе показывают, что оборудование имеет значительный вес (порядка 25 кг) за счет применения массивных оптических приборов.

Комплексные решения в этой области представлены в [2,3]. Несомненное достоинство заключается в доступности покупки и применения предлагаемого оборудования и программного обеспечения.

Исходя из научных источников, имеются перспективы снижения массогабаритных параметров аппаратуры путем включения в рабочие диапазоны анализа более длинноволновых линий спектра метана. Это становится возможно за счет появления твердотельных лазерных источников соответствующего диапазона, применения результатов современных научных исследований в области спектроскопии.

Поэтому разработка бортового комплекса для мониторинга газопровода с борта беспилотного воздушного судна самолетного типа является актуальным.

Были сформулированы следующие задачи, последовательное решение которых необходимо для достижения главной цели – создания эффективной системы мониторинга газопровода с борта легкого БВС самолетного типа для удаленных трасс.

- Выбор методов мониторинга для видеонаблюдения, анализа и выявления изменений состояния трассы, мест утечек газа и повышенных его концентраций

- Уточнение функций приборов, входящих в состав комплекса и требований к условиям эксплуатации на борту БВС

- Определение коммуникационных и информационных параметров взаимодействия составляющих комплекса

- Определение состава аппаратуры для достижения заданных функций и обработки информации. При отсутствии аппаратуры с необходимыми характеристиками – решение вопроса о ее разработке или доработке имеющегося оборудования.

- Проведение испытаний приборов с целью подтверждения возможности решения возложенных задач в составе комплекса на заданных дальностях, климатических условиях и других внешних воздействующих факторов.

- Разработка оборудования для обеспечения технических условий эксплуатации составляющих комплекса (гиростабилизированная платформа).

- Изготовление образца комплекса для полетных испытаний

- Полетные испытания с проведением мониторинга и обнаружением заданных целей.

Для целей мониторинга столь протяженных объектов в настоящее время используется видеосъемка с последующей целевой обработкой собранных данных. Наиболее информативным диапазоном для получения данных о состоянии технических объектов является ИК тепловизионный диапазон (7,5-12 мкм). Аппаратура указанного диапазона в настоящее время успешно используется для анализа трасс газопроводов и в составе вертолетных комплексов.

Эта же функция обязательна для включения в состав разрабатываемого комплекса для БВС.

Задача поиска утечек газа, мест его скопления в полетном режиме представляет значительную техническую сложность. При отборе возможных технических решений были рассмотрены два варианта:

1. Включение в состав комплекса дистанционного анализатора, способного на расстоянии высоты полета измерить концентрацию метана у поверхности

земли над трассой газопровода с последующим анализом данных;

2. Использование оптических методов выявления участков с повышенной концентрацией метана при использовании узкополосных оптических фильтров и мультиспектральной обработки видеопотока при совмещении с типовым тепловизионным мониторингом.

Первый вариант базируется на методах измерения – и в этом его преимущество. Данные представляются в виде концентраций газа, хорошо протоколируются при совмещении точек измерения с географическими координатами GPS систем. Однако использование газоанализатора все равно должно быть совмещено с тепловизионным оборудованием и является взаимодополняющим. Примером удачной реализации такого комплекса является система Пергам. В последнее время на сайте компании появилась информация о продаже нового образца дистанционного анализатора с допустимой массой и габаритами [2], однако полные технические данные для комплексной оценки данного образца, для определения технических требований, получить не удалось. Заявленный вес прибора вполне удовлетворяет требованиям полезной нагрузки БВС.

Поскольку элементная база для формирования лазерных пучков с необходимыми для решения спектроаналитических задач в области среднего ИК диапазона имеет достаточный уровень развития в России, актуальным представляется разработка бортового газоанализатора, имеющего приемлемые параметры по дальности действия (100-300 м), массогабаритным показателям и условиям применения на борту БВС малого класса с известными и хорошо отработанными схемами. Обязательным условием является применение гиростабилизированного подвеса для данного оборудования, поскольку принцип действия предполагает точное наведение на контролируемую трассу с большой высоты.

Второй вариант хорошо сочетается с остальными задачами системы, требует лишь доработки тепловизионной камеры и создания программного обеспечения для обработки видеопотока с использованием алгоритмов поиска целевых объектов. Недостатком является отсутствие данных о концентрации газа по результатам наблюдений – в данном случае интенсивность утечки, ее объемные показатели могут быть оценены при обработке кадров видеоряда с применением пороговых селективных фильтров. В настоящее время не удалось найти полностью готовых доступных выпускаемых приборов для реализации данного метода в составе комплекса. Ранее выпускавшийся и сертифицированный в России прибор ДОГА-М1 (с заявленной функцией измерения концентрации метана) в настоящее время не выпускается и не продается. Однако имеется широкий выбор тепловизионных камер, на которых можно реализовать данный вариант при условии разработки необходимой оптической системы и реализации фильтра с заданными волновыми характеристиками.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- необходимость создания мониторинговых бортовых комплексов БВС



малого класса с функцией определения утечек метана очевидна;

- имеется оборудование, которое при проверке соответствия требованиям, может быть использовано в составе комплекса и таким образом снизить трудоемкость и время разработки;

- уровень развития отечественной элементной базы и научных исследований позволит разработать требуемый комплекс в одном из рассмотренных вариантов;

- для оценки возможности применения тепловизионного метода потребуются дополнительные исследования, необходимые для разработки соответствующих оптических средств и методов селективной фильтрации, выработки технических требований для использования в составе бортового комплекса БВС.

#### Литература

1. Скворцов Л.А. ЛАЗЕРНЫЕ МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛ Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2014. – 208 с.
2. ПОИСК УТЕЧЕК МЕТАНА – URL. <https://www.pergam.ru/files/products/gld21.pdf> (Дата обращения: 25.09.2022)
3. ДИСТАНЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР МЕТАНА ДЛС — сделано в Пергам – URL. <https://sdelanounas.ru/blogs/54271/> (Дата обращения: 25.09.2022)

*Н.Н. Строев, к. т. н., доц.*

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

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА В РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСАХ**

Важнейшими элементами роботизированных комплексов являются датчики, позволяющие определять положение в пространстве, оценивать свободные зоны для перемещения, фиксировать события взаимодействия с объектами и преградами. В настоящее время для выполнения перечисленных задач наиболее часто используют оптические и акустические датчики, которые обладают как преимуществами, так и недостатками. Вследствие широкого распространения, стоимость таких датчиков не высока, схемы для обеспечения режимов доступны в виде специализированных интегральных микросхем. Применяемые виды излучений являются в большинстве случаев безопасными для окружающих объектов и персонала. Эти достоинства неоспоримы, однако существует ряд технических проблем, ограничивающих применение оптических и акустических датчиков в роботизированных комплексах.

Оптические излучения свободно распространяются в пределах зоны прямой видимости, однако это условие далеко не всегда может быть выполнено. Таким образом, свободный оптический канал требует защиты от ситуаций случайного его прерывания. Оптические приемники могут подвергаться воздействию внешней засветки и, как следствие, сбоям в работе комплексов. Частично данный недостаток может компенсироваться применением селективных

фильтров, схем адаптации к уровню освещения и тп. При использовании большинства подобных решений требуется повышение уровня энергии оптического сигнала, что не безопасно.

Акустические сигналы (чаще всего ультразвукового диапазона) применяются в объемных датчиках, системах неразрушающего контроля, системах пространственного ориентирования. В воздушном пространстве звуковые волны хорошо распространяются, легко обходят физические препятствия, отражаются от границ сред, имеют устойчивые значения скорости распространения в материальных средах. Все это позволяет использовать их в различных вариантах применения в составе роботизированных комплексов. К недостаткам акустических датчиков можно отнести требовательность к режимам работы, относительно невысокая точность, которая может быть частично компенсирована увеличением числа излучающих и приемных элементов с применением программной обработки. Стоимость сложного акустического датчика становится очень высокой, даже сложный датчик критичен к режиму и не гарантирует стабильность работы. Поэтому при использовании акустических датчиков в комплексах дополняют другими видами датчиков (оптических или микроволновых).

Микроволновые устройства, работающие в дециметровом и сантиметровом диапазонах волн, используются в качестве так называемых объемных датчиков в охранных сигнализациях, в роботизированных комплексах для определения взаимного расположения объектов. По сути, эти датчики реагируют на изменения условий радиоволн в связи с изменениями объемной конфигурации, появлении в рабочей зоне объектов и препятствий.

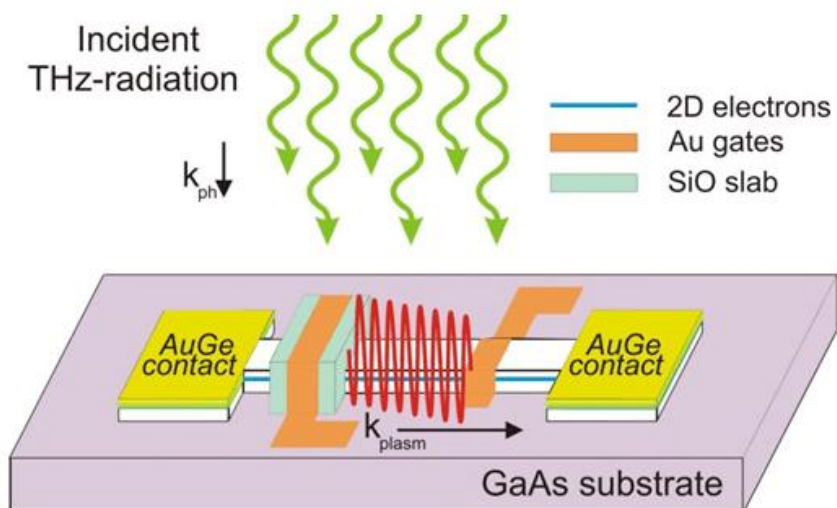


Рисунок 1 - Принцип действия плазмонного детектора терагерцового диапазона по данным [1]

Длина волны определяет селективные возможности реагирования на размеры объекта. Существенным недостатком объемных радиочастотных

датчиков является их критичность к условиям работы, воздействию электромагнитных помех. Усложнение конструкции и обслуживающих схем способно частично устранять указанные недостатки, но приводит к значительному росту стоимости и, как правило, массогабаритных показателей.

Таким образом, поиск альтернативных технических решений в области оснащения датчиками роботизированных комплексов является актуальной задачей. Представляется перспективным разработка и использование датчиков на основе твердотельных детекторов миллиметрового диапазона, принцип действия которых основан на прямом преобразовании энергии электромагнитного излучения в постоянный ток без каких либо дополнительных радиотехнических приборов.

Принцип работы детектора и его устройство поясняет рисунок 1. Данный прибор является элементом плазмонной электроники, которая относительно недавно преодолела ограничение криогенных температур. В детекторе TeraSense терагерцовое и микроволновое излучение преобразуется в переменный потенциал релятивистской плазменной волны с помощью широкополосной антенной структуры, нанесенной на поверхность кристалла. Кроме того, переменный потенциал плазменной волны выпрямляется (детектируется) для получения электрического сигнала из-за асимметрии плазмонного волновода. Геометрия детектора выбирается в соответствии с определенной полосой частот. Спектральные характеристики детектора имеет периодический вид, что позволяет применять кратные рабочие частоты в датчиках на их основе.

По сравнению с микроволновыми объемными датчиками указанные детекторы имеют предельно малые размеры и вес, достаточно узкую диаграмму направленности. Все это позволяет использовать детекторы в качестве миниатюрных датчиков-приемников в системах определения положения объектов, организации беспроводных информационных каналов. Практически все функции, важные для датчиков, координирующих перемещение объектов в роботизированных комплексах, могут быть реализованы с использованием данных детекторов.

Перечислим полезные свойства и достоинства твердотельных детекторов:

- применяемое излучение миллиметрового диапазона проходит через свободное пространство и диэлектрические радиопрозрачные среды, что расширяет диапазон применения по сравнению оптическим излучением;
- длина волны достаточно мала, что позволяет определять наличие в рабочей зоне объекты и препятствия миллиметровых размеров, а при использовании нескольких детекторов данная функция может быть улучшена;
- по уровню излучения можно оценивать расстояние, поскольку характер затухания имеет строгую закономерность (рисунок 2);
- диапазон миллиметровых волн практически не подвержен действию помех при условии малой чувствительности приемника, распространение излучения ограничена по дистанции, природные источники помех отсутствуют;
- за счет чувствительности к поляризации излучения при разработке датчика можно получить его угловую селективность;

- диаграмма направленности может быть дополнительно сужена применением несложной внешней антенны.

- при использовании электроакустических модуляторов информационный канал точка-точка может передавать информацию с высокой скоростью и хорошей защищенностью.

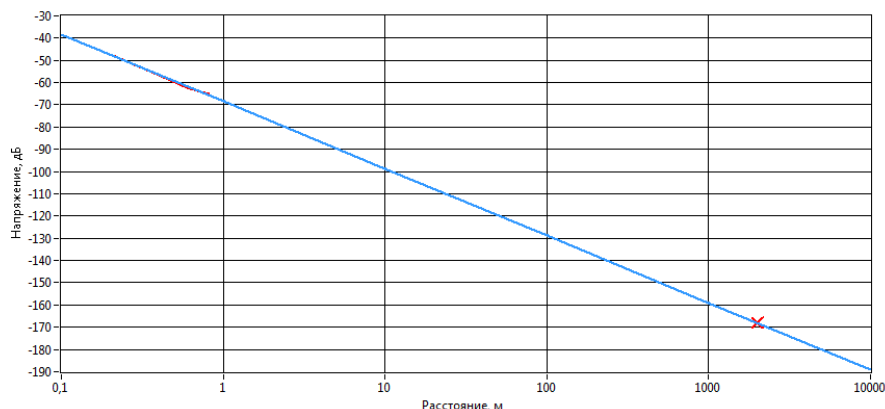


Рисунок 2 - Экстраполированная зависимость уровня сигнала на выходе детектора от расстояния до источника, мощность передатчика 100 мВт, частота 97,5 ГГц

Интересные возможности появляются при использовании матриц и линеек из однотипных детекторов. В данном случае возможно проектирование датчиков с определением точных направлений, скорости перемещения объектов, поддержки алгоритмов микросканирования [2].

Ценовой фактор диктуется массовостью выпуска и трудоемкостью изготовления. По данным [1] технологии изготовления вполне совместимы с типовыми технологиями широкозонных полупроводниковых приборов, и, следовательно, цена детектора может быть достаточно низкой при массовом производстве.

Таким образом, целесообразно проводить разработки датчиков на основе твердотельных детекторов миллиметрового диапазона и комплексов на их основе. Это позволит создать предпосылки к массовому производству и обеспечить снижение стоимости. Важно сказать, что данные технологии относятся к импортозамещенным и при определенных условиях приборы могут выпускаться в России без иностранного участия.

#### Литература

1. Sub-THz Detectors - URL. <https://terasense.com/products/detectors/> (Дата обращения: 25.09.2022)
2. Строев Н.Н. Исследование возможностей применения сборок микроволновых детекторов в системах позиционирования технических объектов / Н.Н. Строев // Сборник трудов VIII Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2018». Смоленск: Издательство «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, 2018. Т.2, С. 272-275.

## **К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫХ СИСТЕМ ГРУППИРОВКИ ПВО**

### **Аннотация.**

Данная статья посвящена рассмотрению сложившихся противоречий в вопросах построения учебно-тренажерных систем группировки ПВО.

Опыт локальных войн и вооруженных конфликтов показывает, что важным фактором успешного ведения боевых действий является уровень слаженности подразделений, который можно повысить путем проведения мероприятий боевой подготовки. Одним из способов, направленных на интенсификацию подготовки является использование учебно-тренажерных систем, относящихся к техническим средствам обучения, использование которых возможно в пунктах постоянной дислокации частей и учебных заведений.

Проведение комплексной работы на учебно-тренажерных средствах необходимо проводить в едином информационном пространстве, в том числе с имитацией применения РЭБ и огневого воздействия противника. В то же время, проведение подобных мероприятий в подобном объеме не проводится.

В настоящее время, модернизация существующих и разработка перспективных образцов ВВТ сопровождается созданием соответствующих тренажеров, как встроенных, так и внешних, как в компьютерном исполнении, так и с использованием элементов реального образца. Однако, данные тренажерные средства имитации и сопряжения не обеспечивают сопряжение с внешними средствами имитации в полном объеме.

В связи с активным развитием средств воздушно-космического нападения и образцов ВВТ требуется обеспечение оперативного добавления новых моделей в имитационные средства учетно-тренажерных средств. Однако, зачастую перечень имитируемых СВКН и образцов ВВТ жестко определен на этапе разработки.

Также, проведение мероприятий боевой подготовки в составе группировки ПВО объединения требует привлечения и активной работе всех элементов, включая пункты управления, средства разведки и огневые единицы. Для реализации этих целей необходимо наличие соответствующих возможностей имитационно-моделирующей среды для моделирования боевой работы группировки ПВО объединения с имитацией всех информационных потоков и функционала объектов. Однако в настоящий момент имитационно-моделирующие среды для моделирования боевой работы группировки ПВО объединения в полном объеме не обеспечивают, ограничиваясь работой пунктов управления.

Таким образом можно выделить следующее противоречие: необходимость обеспечения эффективного функционирования учебно-тренажерных средств группировки ПВО объединения и отсутствие научно-методического аппарата

построения и использования имитационно-моделирующей среды для обеспечения эффективного распределенного функционирования учебно-тренажерных средств.

Разрешение указанного противоречия позволит повысить эффективность применения средств противовоздушной обороны за счет более сложного взаимодействия расчетов разнородных подразделений, более грамотного их использования в рамках создаваемой группировки сил и средств.

*Т.В. Широких, к.т.н., доцент, В.Е. Иванов, к.т.н., доцент  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ФАНТАЗИЙНЫЕ ЦВЕТА БРИЛЛИНТОВ**

Окраска бриллиантов определяется избирательным поглощением света в объеме, что ухудшает их блеск и «игру». В природе наиболее часто встречаются бриллианты желтых оттенков разной насыщенности вплоть до коричневых. Наиболее ценными и дорогостоящими являются бесцветные бриллианты или с голубым оттенком. Бриллианты синие, розовые, зеленые встречаются редко и также ценятся весьма высоко. Цвета таких бриллиантов называются фантазийными [1, 2].

Фантазийные цвета бриллиантов разнообразны, поэтому для них не существует бриллиантов - эталонов цвета аналогичных бриллиантам желтой тональности. Однако и для них существуют образцовые меры цвета, по которым геммологи однозначно идентифицируют их цвет.

В настоящее время *GIA GemSet* выпускает набор эталонных образцов каждого из 324 типовых цветов (рис.1) [3, 4]



Рис.1 Эталоны цвета *GIA GemSet*



**Эталоны цвета GIA GemSet** сделаны из прозрачного акрил-пластика — полимера с высоким коэффициентом преломления. Крепкие и неподвергающиеся выгоранию, они гарантированно служат более 5 лет

Каждый эталон представляет собой "гантелеобразную" по форме трехмерную пластиковую пластину с утолщением на конце в форме ограненного бриллианта. На стержне каждого эталона штампуются его положение в системе GIA, где зашифрованы сведения о цвете, насыщенности и тоне. Например, на рис. 2 представлен эталонный образец *vB7/5* – фиолетово-синий, сильно насыщенный, темный.



Рис.2 эталонный образец *vB7/5*

Это позволяет геммологам одинаково идентифицировать цвет фантазийных камней, подобрав тот эталонный образец, который соответствует цвету данного бриллианта.

Очевидно, что в основу построения данной цветовой системы положен принцип атласа Манселла (рис.3), содержащий 1600 цветных образцов, расположенных на 40 картах, каждая из которых имеет свой цветовой тон. Образцы расположены по рядам и столбцам: образцы одного ряда имеют равную светлоту, одного столбца – равную насыщенность [5].

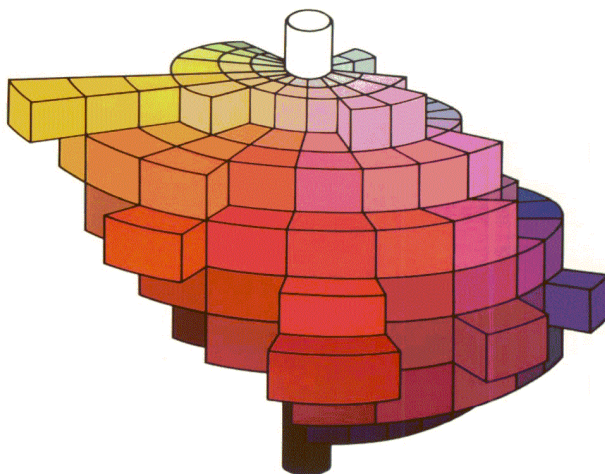


Рис.3. Цветовой атлас Манселла

Атлас содержит 10 основных цветов: красный (*R*), оранжевый (*YR*), желтый (*Y*), зелено-желтый (*GY*), зеленый (*G*), голубой (*BG*), синий (*B*), фиолетовый (*PR*), пурпурный (*P*), красно-пурпурный (*RP*). Каждый образец обозначен тремя индексами: цветовой тон (буква и цифра), светлота (цифра), насыщенность (цифра). Например *5Y7/11*.

ООО «Смоленский геммологический центр» предлагает использовать эталонные образцы в виде атласа, каждая страница которого содержит набор «чипов» определенной тональности (рис. 4) [6]. В основу этих образцов также положен цветовой атлас Манселла.

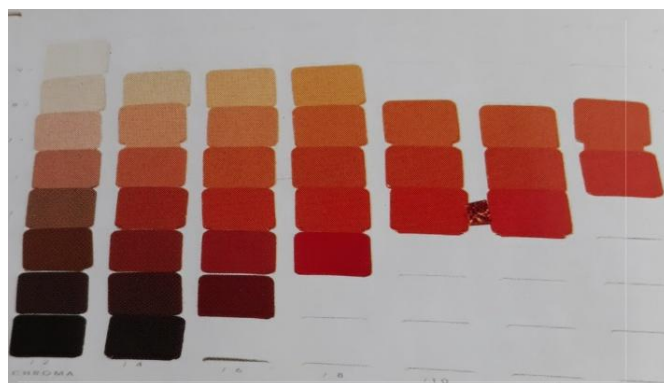


Рис.4 Карта атласа Манселла желтой тональности

Каждый образец (чип) располагается в кармане и может быть оттуда извлечен при необходимости. При измерениях образцы освещаются перпендикулярно их поверхности, а наблюдение производят под углом  $45^\circ$  (схема, известная в фотометрии как 0/45). Это соответствует условиям оценки цвета бриллиантов.

Предлагает следующая методика определения цвета фантазийных бриллиантов [10]. Бриллиант помещают в специальную адаптационную камеру, внутри окрашенную в серый цвет. Считается, что это уменьшает цветовые отражения, искажающие цвет.

В камеру помещается атлас Манселла, раскрытый на карте, наиболее соответствующей по цвету исследуемому бриллианту. Бриллиант располагают между образцами, наиболее близкими ему по цвету (рис.5). Бриллианту приписывается цвет, ближайший по ощущению образца атласа



Рис. 5 Определению цвета бриллианта

В настоящее время в качестве альтернативы образцов цвета *GIA* предлагает использовать программную систему оценки цвета [7]. Предлагаемая Израилем программа *Gemewizard* может идентифицировать 31 основной оттенок цвета. Она воссоздает каждый оттенок в шести цветовых тонах. Каждый тон разделен на шесть уровней насыщенности. В целом эта система делает доступным



определение 1116 цветов драгоценных камней. Программный подход предлагался и ранее, однако компьютерные мониторы различаются по цветопередаче. Это остается основным препятствием для определения цвета с помощью программ. Несмотря на улучшения в программном обеспечении, цвета, воспроизводимые на компьютерных мониторах, различаются. Поэтому использование эталонных образцов для сравнения с настоящими камнями остается важным для оценки цвета бриллиантов фантазийных цветов.

#### Список литературы

1. ГОСТ Р 52913-2008. Бриллианты. Классификация. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2008. 45 с.
2. Широких Т.В., Бочаров А.М. К вопросу определения цвета бриллиантов //Вестник геммологии. 2002. №4(7).
3. Наборы образцов цвета для ювелирных камней Геммологического института Америки. GIA «GemSet»
4. Сайко В. О сертификации камней в GIA в деталях// Экспо-ювелир. №1 (124). февраль-май 2022 г.
5. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники: Учебное пособие для вузов: В 2-х ч. Ч.2. Физиологическая оптика и колориметрия. М.: Энергоатомиздат, 1989. 432 с.
6. Бочаров А.М., Ньюбин В.В. Колориметрия бриллиантов. Смоленск: ООО «Смоленский геммологический центр», 2008. 188 с.
7. Киселев Р.К. Необходимость обновления системы оценки цвета огранённого камня// Научный вестник Московского государственного горного университета. вып. 9, 2012 г. с.30-37

*И.В. Якименко, д. т. н., доц.; Т.С. Астахова, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РЕЗУЛЬТАТЫ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ УЧАСТКА С ДВУМЯ ТИПАМИ ПОКРОВОВ И ТЕСТОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

Анализ публикаций последних лет показал, что роль беспилотных воздушных судов в решении различных прикладных задач, например, ведения аэрофотосъемки и видеонаблюдения участков земной поверхности и расположенных на ней объектов с помощью оптико-электронной аппаратуры видимого диапазона (фото- и телекамер) и (или) длинноволнового инфракрасного диапазона (тепловизоров) [1] неуклонно возрастает, а перечень решаемых задач существенно расширяется, вследствие чего проведение исследований, направленных на создание оптико-электронной нагрузки беспилотного воздушного судна с функцией мультиспектральной съёмки является актуальной задачей.

Проведенный эксперимент по мультиспектральной съемке специально оборудованного участка (рисунок 1), содержащего два типа покровов (снежный и растительный) и тестовые объекты в пяти спектральных интервалах, обеспечиваемых применением интерференционных оптических фильтров на  $825 \pm 50 \text{ нм}$ ;  $665 \pm 30 \text{ нм}$ ;  $560 \pm 40 \text{ нм}$ ,  $490 \pm 40 \text{ нм}$ ;  $365 \pm 20 \text{ нм}$ , позволил получить группы монохромных изображений, примеры которых показаны на рисунках 2 – 6.



Рисунок 1 – Цветное изображение участка поверхности с тестовыми объектами и двумя типами покровов (с камеры мобильного телефона)



Рисунок 2 – Монохромное изображения участка поверхности с тестовыми объектами и двумя типами покровов в спектральном интервале  $825 \pm 50 \text{ нм}$



Рисунок 3 – Монохромное изображения участка поверхности с тестовыми объектами и двумя типами покровов в спектральном интервале  $365 \pm 20$  нм



Рисунок 4 – Монохромное изображения участка поверхности с тестовыми объектами и двумя типами покровов в спектральном интервале  $665 \pm 30$  нм



Рисунок 5 – Монохромное изображения участка поверхности с тестовыми объектами и двумя типами покрытий в спектральном интервале  $560 \pm 40$  нм



Рисунок 6 – Монохромное изображения участка поверхности с тестовыми объектами и двумя типами покрытий в спектральном интервале  $490 \pm 40$  нм

Визуальный анализ изображений, полученных в результате мультиспектральной съемки показывает, что наибольший контраст имеют величины относительных коэффициентов спектральной яркости:

- снежного покрова и фрагмента синтетической ткани белого цвета с надписью черного цвета «126» в спектральном интервале  $365 \pm 20$  нм,

- растительного покрова и фрагментов синтетических тканей камуфлированных и защитных расцветок в спектральном интервале  $825 \pm 50$  нм.

Выявленные особенности могут быть положены в основу повышения информативности изображений участков земной поверхности в случае, когда величины относительных коэффициентов спектральной яркости их покровов и расположенных на них объектов не обеспечивают возникновения величины контраста в видимом диапазоне, досочной для его визуального обнаружения оператором, на основе визуализации контрастов спектральной яркости в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах.

#### Литература

1 Астахова Т. С. Обзор аппаратуры, применяемой для мультиспектральной съемки с борта малых БВС / Информационные технологии, энергетика и экономика. Сб трудов XIX-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов 28 – 29 апреля 2022 г. – Смоленск: Изд. «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, 2022. Т.1, С. 200-204.

*И.В. Якименко, д. т. н., доц.; Т.С. Астахова, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ**

В основу алгоритма повышения информативности видеоинформации, полученной в результате мультиспектральной съемки, может быть положено использование спектральных диапазонов, в которых наиболее распространенные покровы участков земной поверхности, являющиеся фоновыми относительно обнаруживаемых объектов, характеризуются:

- значительными различиями значений относительных коэффициентов спектральной яркости,

- практически полным совпадением значений относительных коэффициентов спектральной яркости.

Для наиболее распространенных покровов участков земной поверхности (соответственно, растительного покрова в весенне-летне-осенний период и снежного покрова в осенне-зимне-весенний период), такими свойствами обладают спектральные диапазоны:

- ближний инфракрасный (760 – 1100 нм);

- ближний ультрафиолетовый (300 – 400 нм).

Алгоритм обработки результатов мультиспектральной съемки (рисунок 1) предусматривает:

- восстановления цветного изображения из монохромных изображений спектральных каналов,

- формирования кадров-масок.

В качестве процедуры восстановления цветного изображения из монохромных изображений спектральных каналов, используется стандартная процедура восстановления изображений *RGB*-модели.

В качестве процедур формирования кадров-масок, используемых для увеличения контрастности изображений замаскированных объектов, могут использоваться различные процедуры межкадровой обработки изображений, полученных с помощью ИК-канала и УФ-канала, например нормализованный разностный индекс:  $(\rho_{ик} - \rho_{уф}) / (\rho_{ик} + \rho_{уф})$ .

В качестве примера реализации алгоритма:

- на рисунке 2 показаны результаты мультиспектральной съемки, использованные в качестве исходных данных,

- на рисунке 3 показано цветное изображение (восстановленное), сформированное из монохромных изображений спектральных каналов,

- на рисунке 4 показано изображение с «подсказкой», сформированное из восстановленного цветного изображения и кадра-маски на основе нормализованного разностного индекса.

Анализ полученных изображений показывает, что изображение с «подсказкой», сформированное из цветного изображения (восстановленного) и кадра-маски на основе нормализованного разностного вегетационного индекса, является более информативным, так как на нем отчетливо идентифицируются изображения замаскированных объектов.

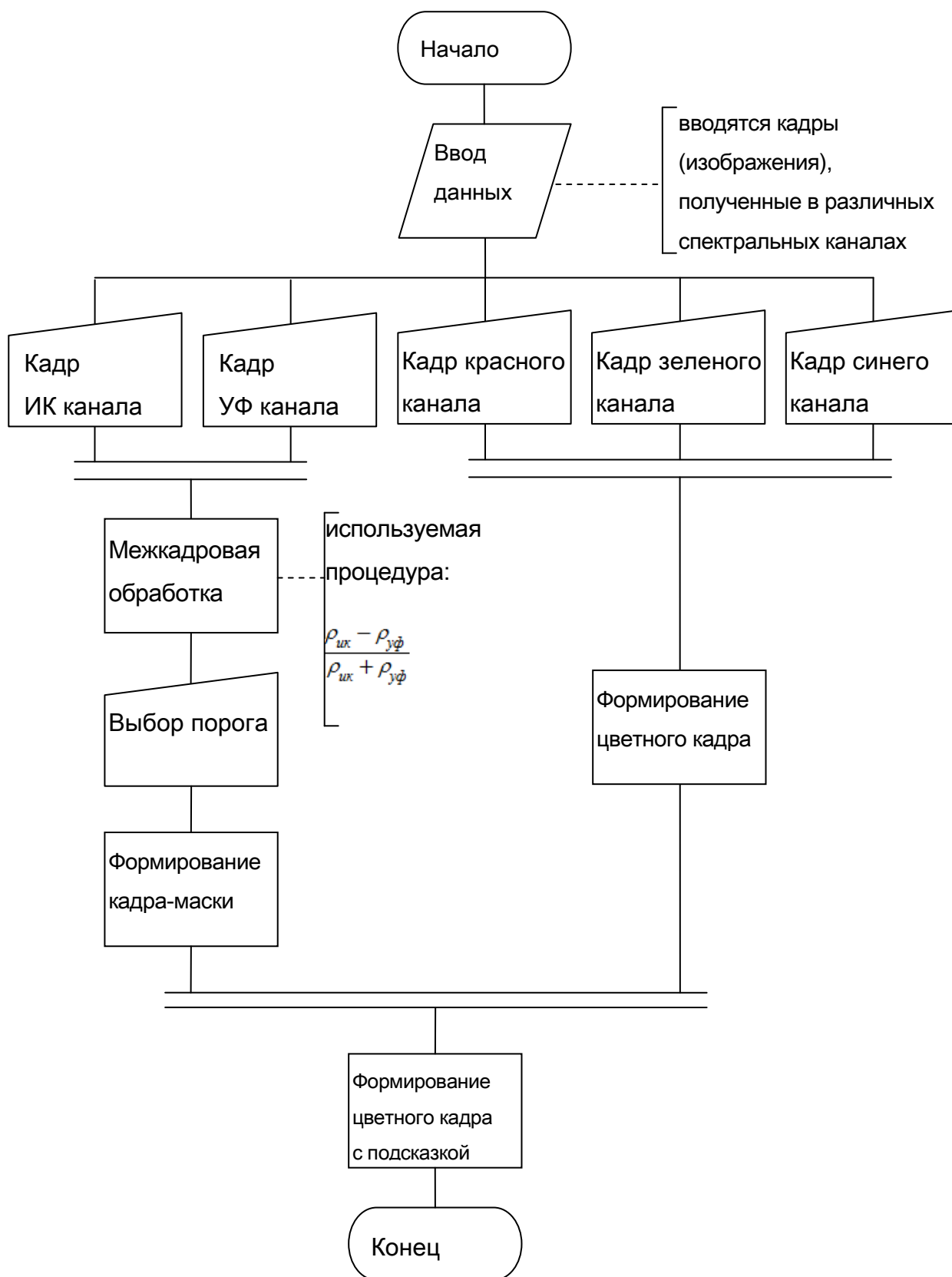


Рисунок 1 – Алгоритм обработки результатов мультиспектральной съемки



$825 \pm 50 \text{ нм}$



$665 \pm 30 \text{ нм}$



$560 \pm 40 \text{ нм}$



$490 \pm 40 \text{ нм}$



$365 \pm 20 \text{ нм}$

Рисунок 2 – Монохромные изображения участка поверхности с тестовыми объектами и двумя типами покровов в различных спектральных интервалах



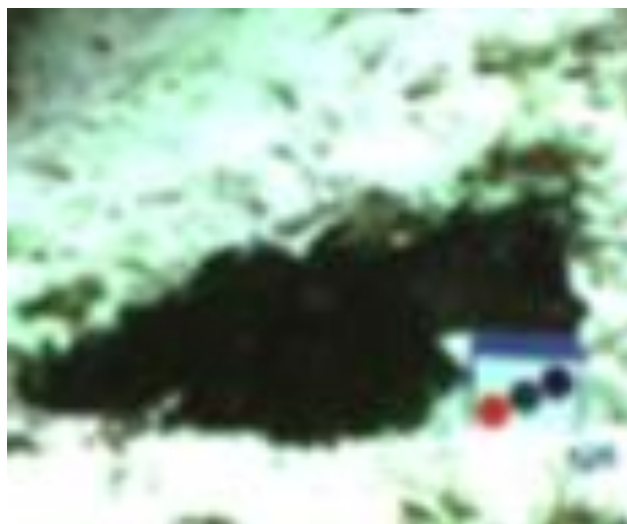


Рисунок 3 – Цветное изображение (восстановленное), сформированное из монохромных изображений спектральных каналов

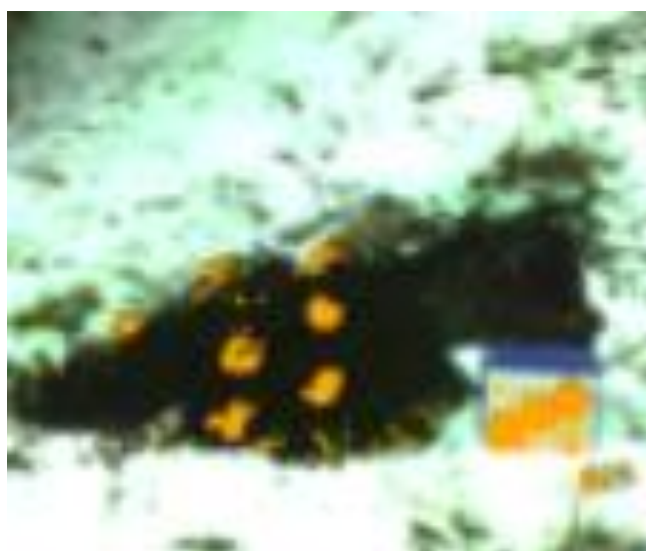


Рисунок 4 – Изображение с «подсказкой», сформированное из цветного изображения (восстановленного) и кадра-маски на основе нормализованного разностного индекса

Таким образом, примененный алгоритм повышения информативности изображений за счет применения информации дополнительных спектральных каналов ИК- и УФ-диапазона, использующейся для формирования кадра-маски на основе нормализованного разностного индекса, может рассматриваться как перспективный способ повышения информативности видеоинформации.

#### Литература

1 Исследование возможностей создания аппаратно-программного модуля мультиспектральной съемки. Этап 1. [Текст]: Отчет о НИР / Руководитель И. В. Якименко. – Смоленск: ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2018. – 46 с.

## **ОБЗОР МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ ВИДЕОСИСТЕМЫ *RT-700Combo***

Мультиспектральные системы технического зрения получают всё более широкое применение при решении различных прикладных задач, например таких как информационная поддержка экипажей воздушных судов и беспилотных воздушных судов при заходе на посадку и посадке в условиях недостаточной видимости на аэродромы и необорудованные посадочные площадки.

Аппаратура, применяемая для информационной поддержки пилотов воздушных судов и беспилотных воздушных судов, представлена, чаще всего, в виде:

- специализированных аппаратных модулей, предназначенных для установки на борт пилотируемых воздушных судов и адаптированных для подключения к их бортовым информационным системам,
- целевых нагрузок беспилотных воздушных судов, обеспечивающих поступление в режиме реального времени видеoinформации на наземные пункты управления.

Характерным представителем аппаратуры первого типа является, например, мультиспектральная видеосистема *RT-700Combo* [1], формирующая комбинированный видеопоток по информации в различных спектральных диапазонах от трех независимых оптических датчиков.

В ее состав входят [1]:

- мультисенсорный блок (рисунок 1), объединяющий:
  - а) фотоприёмные модули;
  - б) навигационную систему, состоящую из модуля спутниковой навигации, инерциального навигационного модуля, часов и датчика,
- плата управления с цифровым интерфейсом *RT-650CXP* (рисунок 2), устанавливаемая в бортовую ЭВМ летательного аппарата.



Рисунок 1 – Мультисенсорный блок

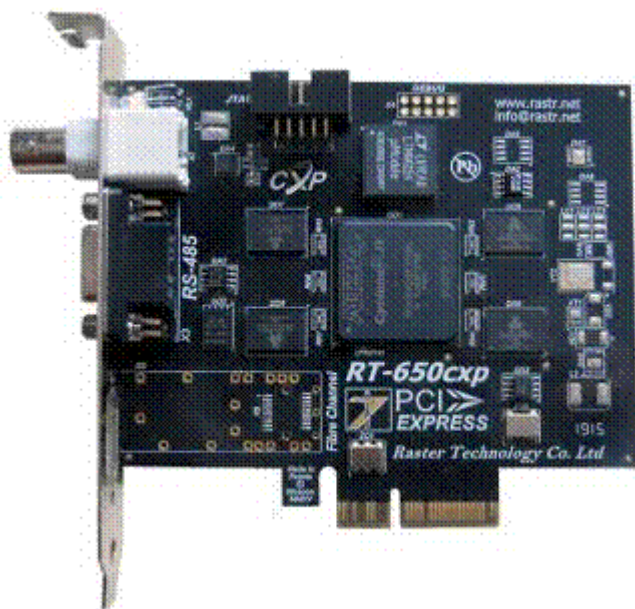


Рисунок 2 – Плата управления с цифровым интерфейсом *RT-650CXP*

Общие параметры мультисенсорного блока приведены в таблице 1, основные характеристики фотоприёмных модулей, используемых в них объективов, навигационной системы приведены, соответственно, в таблицах 2, 3, 4, платы управления с цифровым интерфейсом *RT-650CXP* – в таблице 5 [1].

Таблица 1 – Общие параметры мультисенсорного блока

Характеристика	Значение
Напряжение питания, <i>B</i>	$24 \pm 5$
Потребляемый ток, <i>A</i>	0,4
Пусковой ток, <i>A</i>	$< 2,5$
Потребляемая мощность, <i>Bm</i>	$< 10$
Масса с объективами, <i>кг</i>	$1,64 \pm 0,01$
Габариты с объективами, <i>мм</i>	$160 \times 140 \times 150$
Рабочий диапазон температур, $^{\circ}\text{C}$	$-40 \dots +50$
Интерфейс передачи данных (пропускная способность в <i>Гб/с</i> )	<i>CoaXpress</i> (2,5)
Режимы оцифровки видеосигналов, <i>бит</i>	8, 16
Развёртка кадров от видеоканалов	прогрессивная
Частота формирования и выдачи данных, <i>Гц</i>	25
Синхронизация каналов и встроенной навигационной системы	внутренняя

Таблица 2 – Основные характеристики фотоприёмных модулей

Модуль	Фотоприёмник	Диапазон спектра, <i>мкм</i>	Разрешение	АЦП, бит	Частота кадров, <i>Гц</i>	Чувствительность
ТВ	<i>Photonis LYNX CMOS</i>	0,4 - 0,9	$1280 \times 960$	10	25 - 100	затвор: $4 e^{-}$
ИК	<i>InGaAs, Xenics XSW-640</i>	0,9 - 1,7	$640 \times 512$	14	25 - 100	затвор: $120 e^{-}$
ТП	<i>a-Si, Xenics XTM-640</i>	8 - 14	$640 \times 480$	16	25 - 50	тепловая: $55 \text{ мK}$

Таблица 3 – Основные характеристики объективов фотоприёмных модулей

Модуль	Материал линз	Фокус, мм	Поле зрения, °	Посадочная резьба
ТВ	$SiO_2$	25	$27,89 \times 22,47$	<i>C-Mount</i>
ИК	$ZnSe$	25	$28,72 \times 23,15$	<i>C-Mount</i>
ТП	$Ge$	15	$39,87 \times 30,43$	<i>C-Mount</i>

Таблица 4 – Основные характеристики навигационной системы

Измеряемый параметр	Подсистема	Погрешность измерения, ( $1\sigma$ )
Крен, °	ИНС: микромеханика	1
Курс, °	ИНС: микромеханика	1
Тангаж, °	ИНС: микромеханика	1
Время, с	Электронные часы, с коррекцией по СНС	0,001
Широта, °	СНС: GPS / ГЛОНАСС	0,0001
Долгота, °	СНС: GPS / ГЛОНАСС	0,0001
Высота, м	СНС: GPS / ГЛОНАСС	10
Путевой угол, °	СНС: GPS / ГЛОНАСС	1
Путевая скорость, км/ч	СНС: GPS / ГЛОНАСС	1
Температура, °C	Датчик температуры	1

Таблица 5 – Основные характеристики платы управления RT-650CXP

Параметр	Значение
Интерфейс с ЭВМ	Шина <i>PCI-e 4x</i>
Скорость информационного обмена с ЭВМ	400 МБ/с
Интерфейс с цифровой камерой	<i>CoaXpress</i>
Скорость информационного обмена с МСБ	3 Гб/с
Длина кабеля связи	< 40 м
Функции обработки изображения (предустановленные производителем)	Встроенный <i>DSP</i> процессор. Вычисление центра тяжести в строке, детектор движения, вычитание смежных кадров
Интерфейс для подключения внешних устройств	<i>RS-485</i>
Объём встроенной памяти	128 МБ
Тип интерфейсного кабеля	Коаксиальный кабель типа <i>SAT-703</i>

Обобщенная функциональная схема мультиспектральной видеосистемы *RT-700Combo* показана на рисунке 3.

Мультиспектральная видеосистема *RT-700Combo* способна функционировать в различных режимах:

- режим «0» – проверка работоспособности, при этом данные от видеоканалов на дисплей не выводятся, выводится анимированная заставка,
- режим «ТВ» – обработка и вывод на дисплей изображений с ТВ-модуля,
- режим «ИК» – обработка и вывод на дисплей изображений с ИК-модуля,
- режим «ТП» – обработка и вывод на дисплей изображений с ТП-модуля,
- режим «ТВ+ИК» – совместная обработка изображений с ТВ и ИК модулей, вывод на дисплей цветного комбинированного изображения (*RGB*),



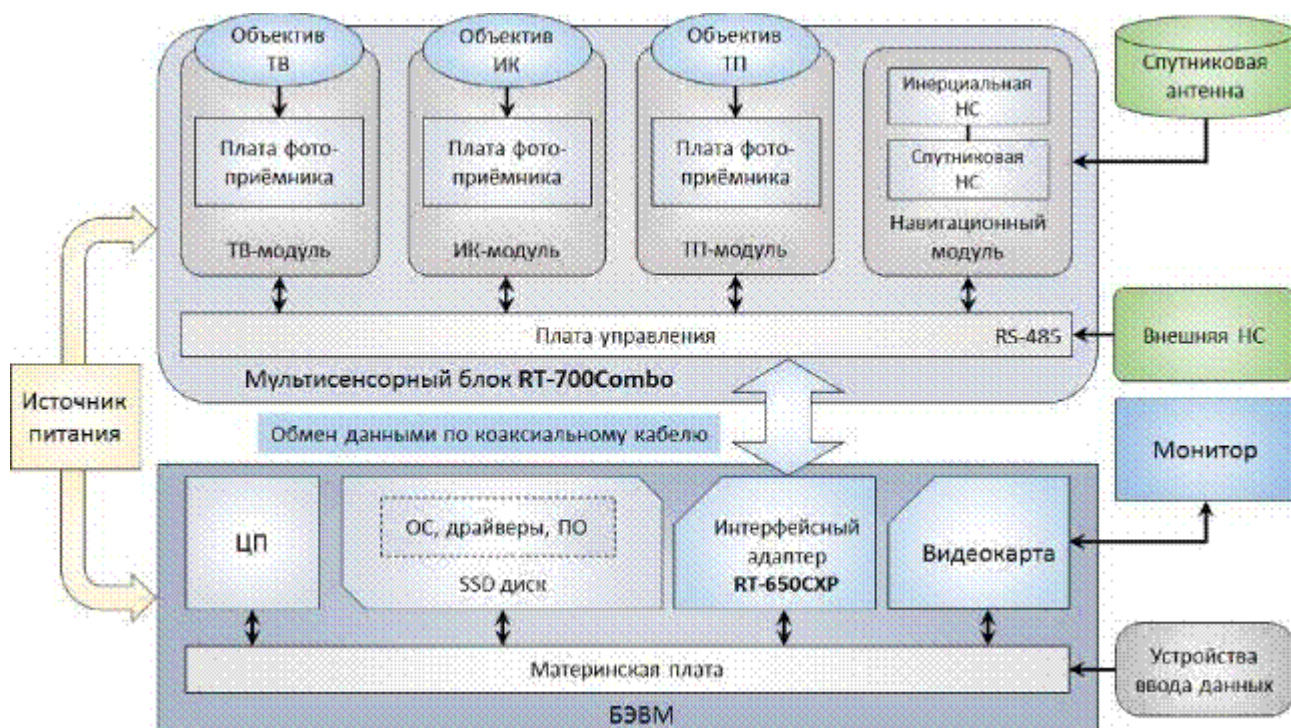


Рисунок 3 – Обобщенная функциональная схема мультиспектральной видеосистемы *RT-700Combo*

- режим «ТВ+ТП» – совместная обработка изображений с ТВ и ТП модулей, вывод на дисплей цветного комбинированного изображения (*RGB*),
- режим «ИК+ТП» – совместная обработка изображений с ИК и ТП модулей, вывод на дисплей цветного комбинированного изображения (*RGB*),
- режим «АВТО» – совместная обработка изображений с ТВ, ИК и ТП модулей, с автоматическим выбором одного из режимов («ТВ», «ИК», «ТП», «ТВ+ИК», «ТВ+ТП», «ИК+ТП»), в зависимости от информативности данных каждого из каналов,
- режим «ТВ+ИК+ТП» – совместная обработка изображений с ТВ, ИК и ТП модулей, вывод на дисплей цветного комбинированного изображения (*RGB*) на основе комплексирования всех видеоканалов.

Панель юстировки позволяет оператору совмещать поля зрения каналов (контролируя визуально), что обеспечивает отсутствие двоения (троения) изображения на дисплее при выводе комбинированного изображения в режимах «ТВ+ИК», «ТВ+ТП», «ИК+ТП» и «ТВ+ИК+ТП».

Комплексирование изображения в режимах «ТВ+ИК», «ТВ+ТП» и «ТВ+ИК+ТП» осуществляется без потерь информации, что достигается за счет линейного переноса видеoinформации выбранных видеодатчиков на видимый человеческим глазом спектр в цветовом пространстве *RGB* при использовании информации канала «ТВ» в качестве опорной.

Пример комбинированного изображения мультиспектральной видеосистемы *RT-700Combo* показан на ее оконном интерфейсе в режиме юстировки (рисунок 4).

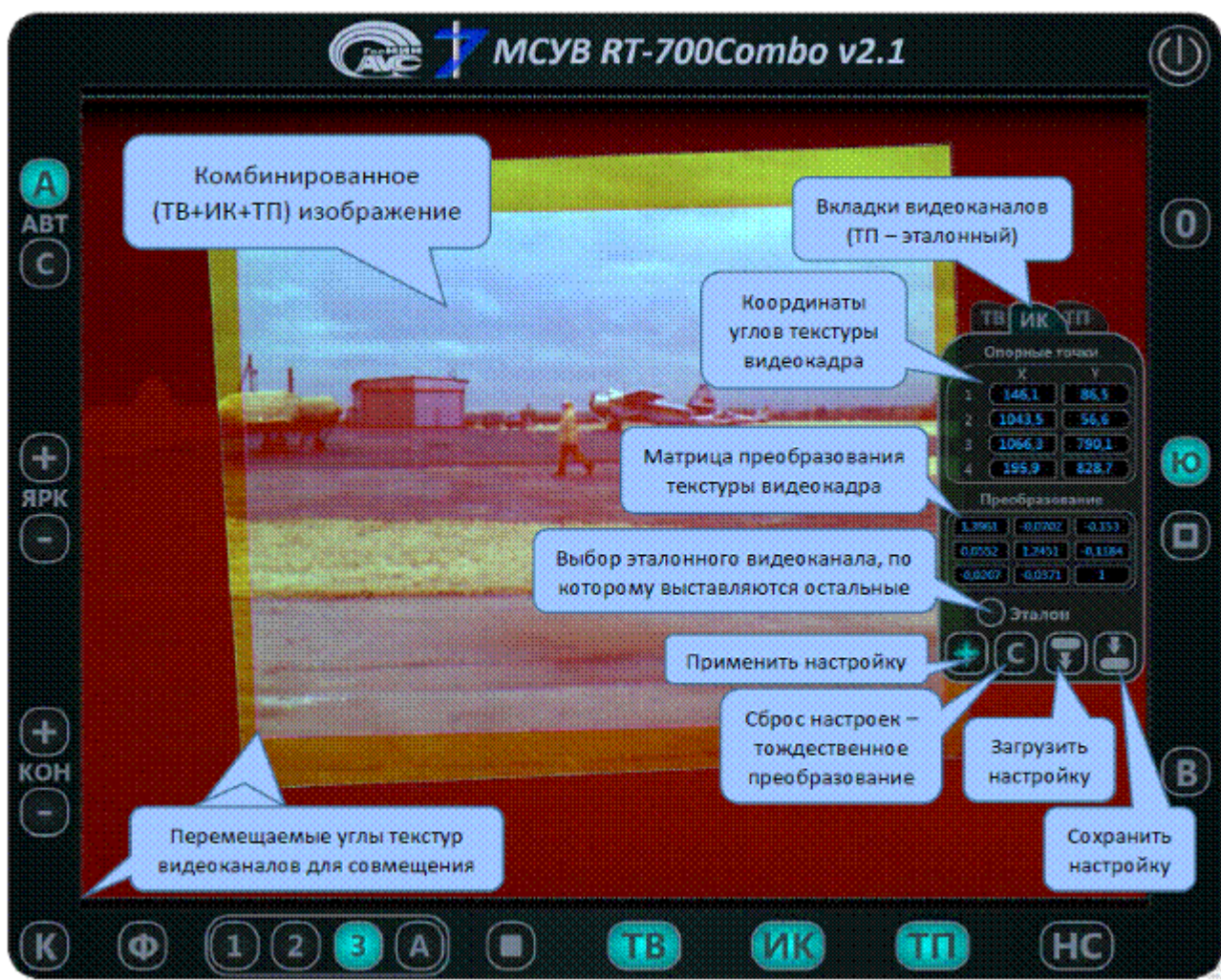


Рисунок 4 – Оконный интерфейс мультиспектральной видеосистемы *RT-700Combo* в режиме юстировки

Применение подобной технической реализации позволяет оперативно получать и использовать в интересах информационного обеспечения экипажей пилотируемых воздушных судов в условиях недостаточной видимости комбинированное мультиспектральное изображение участков земной поверхности.

Существенным недостатком подобной технической реализации является значительное увеличение массогабаритных показателей целевой нагрузки, обусловленное потребностью в значительных вычислительных мощностях, что делает ее неприменимой для использования в качестве целевой нагрузки малых беспилотных воздушных судов.

#### Литература

1 Мультиспектральная видеосистема *RT-700Combo*. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Версия 2.1. Электронный ресурс <https://www.rastr.net> (Дата обращения 28.09.2022)

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 4

#### МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ОПТОТЕХНИКА

1. Амелина М.А., Амелин С.А. НЕПРЕРЫВНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ С ЛОГОМЕТРИЧЕСКИМ ПРИНЦИПОМ УПРАВЛЕНИЯ 3
2. Амелин С.А., Амелина М.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГОМЕТРИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА РЕГУЛИРОВАНИЯ В СТАБИЛИЗАТОРЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЯМОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ 5
3. Андреев А.Д., Д.С. Рассказа ПОВЫШЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ КОМПОНЕНТОВ 9
4. Андреев А.Д., Рассказа Д.С. ИГРУШКА АНТИ-СТРЕСС USELESS BOX 12
5. Андреев А.Д., Амелин С.А. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОБОЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ 15
6. Андреев А.Д., Амелин С.А. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМ ИЗМЕРИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОБОЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ 18
7. Астапенков С.Г., Прусаков К.С., Марина А.В. УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ЗНАЧЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ ВТОРИЧНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ 21
8. Астахов С.П., Астахова Т.С. ТЕСТОВЫЙ ОБЪЕКТ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ФОТО- И ВИДЕО-ДАТЧИКОВ 23
9. Астахов С.П., Астахова Т.С. ОЦЕНКА ДАЛЬНОСТИ ВИЗУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ БВС ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ СРЕДСТВАМИ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА 27
10. Астахов С.П., Астахова Т.С. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕАЛИЗУЕМЫХ ДАЛЬНОСТЕЙ ВИДИМОСТИ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ КАМЕРЫ ПРИ ПОДСВЕТКЕ 32
11. Астахов С.П., Петров Д.Д. ОСОБЕННОСТИ СХЕМЫ РАДИОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА, РАБОТАЮЩЕГО В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ  $950 \div 2150$  МГц 35
12. Астахов С.П., Строев Н.Н., Якименко И.В., Сулимский Е.С. ПЛОЩАДНОЙ КВАЗИОПТИЧЕСКИЙ ОСВЕТИТЕЛЬ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН 38
13. Бобков В.И., Якименко Ю.И. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СТРУКТУРЫ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ 43



14.	Боровикова А.Н., Жбанова В.Л. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТАМЕ-РИЗМА	47
15.	Бушуев И.С., Рассказа Д.С. СРАВНЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОДАТЧИКОВ	52
16.	Волхонский В.В., Елкина Л.С., Корешенков А.С., Нор Е.К., Прокопенко В.Т., Смирнов Ю.Ю. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО КОММУТАТОРА	55
17.	Гафуров В.Р., Жбанова В.Л. ИЗМЕРЕНИЕ МИНИАТЮРНЫХ ЦВЕТОВЫХ МИШЕНЕЙ	59
18.	Глинков С.Н., Якименко И.В. РАССМОТРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПО ПИКОВОМУ ЗНАЧЕНИЮ ТОКА АКТИВНОГО КОРРЕКТОРА КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ	62
19.	Глинков С.Н., Якименко И.В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ПО ТОКУ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКОЙ	64
20.	Глинков С.Н., Якименко И.В. РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОГО ИЗБЫТОЧНОГО КОДА НА ПЛИС	67
21.	Деминов К.В., Трушаков Р.В. АНАЛИЗ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «DIALUX EVO»	70
22.	Еремин А.С., Рассказа Д.С. ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВА ДЕГИДРАЦИИ ТКАНЕЙ	74
23.	Жбанова В.Л., Гафуров В.Р. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЦВЕТА ОТНОСИТЕЛЬНО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ	77
24.	Жбанова В.Л., Петрова С.А., Гребенюк В.И. АВТОКОЛЛИМАТОР И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ	81
25.	Жбанова В.Л., Романкова Н.О. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ШУМОВ ЦВЕТНЫХ МАТРИЧНЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ	84
26.	Жбанова В.Л., Антипова Ю.Д. ВЛИЯНИЕ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ ИСТОЧНИКА НА ЦВЕТ ОБЪЕКТА	87
27.	Жбанова В.Л., Корогодова Я.В. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ МИКРООБЪЕКТОВ НА USB-МИКРОСКОПЕ	91
28.	Жбанова В.Л. ИЗМЕРЕНИЯ ЦВЕТОДЕЛИТЕЛЬНЫХ НАБОРОВ НА ОСНОВЕ МИКРОСКОПА	94
29.	Жендарёв М.В., Прокопенков И.А., Криштопов Д.А. ПОДХОДЫ К ИНТЕГРАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	97
30.	Зинченко К.А., Павловская В.А. АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МНОЖИТЕЛЬНО-ДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА	100
31.	Зинченко К.А., Павловская В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МНОЖИТЕЛЬНО-ДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА	103



32.	Зинченко К.А., Павловская В.А. ЗАВИСИМОСТЬ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ОТ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ КОРРЕКЦИИ	106
33.	Иванов В.Е., Широких Т.В. АДАПТАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ ФИЗИКА К ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ	109
34.	Иванова А.С., Ковалева М.С., Романова А.Т., Образцов С.А. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРОГРАММИРУЕМОГО РЕЛЕ И ЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	112
35.	Иванова А.С., Ковалева М.С., Романова А.Т., Образцов С.А. РЕАЛИЗАЦИЯ АНАЛОГОВЫХ ВХОДОВ/ВЫХОДОВ ПРОГРАММИРУЕМОГО РЕЛЕ	116
36.	Козенова А.О., Строев Н.Н. ПОДХОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ТЕПЛООБМЕНА	120
37.	Козенова А.О., Строев Н.Н. ВОЗМОЖНОСТИ МИНИМИЗАЦИИ РЕСУРСОВ КОМПЬЮТЕРА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ В САПР COMSOL	123
38.	Лисицын С.Г., Астахов С.П. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ПОТОКА ВОЗДУХА В ВЫТЯЖКЕ	128
39.	Лысенков А.А., Пикулев Н.А., Якименко И.В. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА	131
40.	Лысенков А.А., Пикулев Н.А., Якименко И.В. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА	134
41.	Лысенков А.А., Пикулев Н.А., Якименко И.В. ПОЛУЧЕНИЕ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА И ПОСТРОЕНИЕ АМПЛИТУДА-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ	139
42.	Лысенков А.А., Пикулев Н.А., Якименко И.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА НИЖНИХ И ВЕРХНИХ ЧАСТОТ	143
43.	Лысенков А.А., Пикулев Н.А., Якименко И.В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА	146
44.	Лысенков А.А., Якименко И.В. АППРОКСИМАЦИЯ АМПЛИТУДА-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА	148
45.	Лысенков А.А., Якименко И.В. РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПФ ЦФ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ БИЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО УСТОЙЧИВОСТИ	151
46.	Лысенков А.А., Якименко И.В. РАСЧЁТ С ПОСЛЕДУЮЩЕМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ АНАЛОГОВОГО ФИЛЬТРА ВЕРХНИХ ЧАСТОТ	154

47.	Лысенков А.А., Якименко И.В. РАССМОТРЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ АКСЕЛЕРОМЕТРА	157
48.	Лысенков А.А., Якименко И.В. РАСЧЕТ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОТЛАДКОЙ И МОДЕЛИРОВАНИЕМ АНАЛОГОВОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА	160
49.	Макеев А.А., Бобков В.И. ВЫБОР И ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННО-ЛУЧЕВОГО МЕТОДА НАПЫЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ СВЕТОФИЛЬТРОВ ДЛЯ ИНФРАКРАСНЫХ СЕНСОРОВ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ	165
50.	Мачулин И.Э., Чулков А.И., Амелина М.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ИМИТАЦИИ ПРИСУТСТВИЯ	169
51.	Николаенков И.В., Павлов И.А., Смолин В.А. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕЖИМОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УХОДА ЗА РАССАДОЙ ПРИ СТЕЛЛАЖНОЙ КОМПОНОВКЕ	173
52.	Новиков П.Б., Ковжаров Е.А., Рассказа Д.С. АЛГОРИТМ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ	176
53.	Новиков П.Б., Ковжаров Е.А., Рассказа Д.С. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ТЕСТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ	179
54.	Новиков П.Б., Рассказа Д.С. МОДЕРНИЗАЦИЯ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	182
55.	Новиков П.Б., Смолин В.А. РОБОТ-УБОРЩИК ОСЕННЕЙ ЛИСТВЫ	185
56.	Новиков П.Б., Астахов С.П. СРАВНЕНИЕ И АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ РОСТОМЕРОВ	188
57.	Образцов С.А., Самулыжко А.Л. СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ЭДС ТРАНСФОРМАТОРНОГО ДАТЧИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ	191
58.	Петрова Ю.С., Амелин С.А. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СВЕРХ-МИНИАТЮРНОЙ ЛАМПЫ СМН-6-80 В СРЕДЕ MICRO-SAP 11	194
59.	Петрова Ю.С., Амелин С.А. МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА	199
60.	Петрова Ю.С., Амелин С.А. ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТОВ ГОРОДСКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ	202
61.	Петрова Ю.С., Амелин С.А. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА МОНИТОРИНГА СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	205
62.	Петрова Ю.С., Амелин С.А. ПРОЕКТ РАСШИРЕНИЯ ЗОНЫ ПОКРЫТИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ ГОРОДСКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ	208

63.	<i>Петрова Ю.С., Амелин С.А. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ RFID В ПРОЕКТАХ ГОРОДСКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ</i>	211
64.	<i>Пикулев Н.А., Якименко И.В. РАССМОТРЕНИЯ СПОСОБА РАСЧЕТА ВСЕХ УЗЛОВ СХЕМЫ НА ПРИМЕРЕ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА</i>	214
65.	<i>Пикулев Н.А., Якименко И.В. РАЗРАБОТКА С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПРОВЕРКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВА В СРЕДЕ PROTEUS</i>	217
66.	<i>Пикулев Н.А., Якименко И.В. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТА МУРА НА D-ТРИГЕРАХ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА</i>	221
67.	<i>Пикулев Н.А., Якименко И.В. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОЧИХ МЕСТ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ ЛОКАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ</i>	224
68.	<i>Прищепнев В.А., Якименко И.В. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ</i>	227
69.	<i>Пронин Д.А., Амелина М.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХ АППАРАТНЫЙ СОПРОЦЕССОРОВ БПФ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЛИ</i>	231
70.	<i>Пронин Д.А., Амелина М.А. СПОСОБ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРАВИЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА</i>	233
71.	<i>Пронин Д.А., Амелина М.А. ПРИНЦИП РАБОТЫ С ИНКЛИНОМЕТРОМ HCR716S</i>	236
72.	<i>Пронин Д.А., Амелина М.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХ АППАРАТНЫЙ СОПРОЦЕССОРОВ БПФ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЛИ</i>	238
73.	<i>Рассказа Д.С., Ковалева М.С., Иванова А.С. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ. ОБРАБОТКА ПОКАЗНИЙ</i>	241
74.	<i>Рассказа Д.С., Ковалева М.С., Иванова А.С. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ</i>	245
75.	<i>Рассказа Д.С., Ковалева М.С., Ковалев В.А. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ. РЕГУЛИРОВКА ПАРАМЕТРОВ</i>	248
76.	<i>Саленков В.Ю., Фомин В.Д., Рассказа Д.С. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ДОСТУПА В ПОМЕЩЕНИЕ</i>	252
77.	<i>Строев Н.Н., Астахова Т.С. АНАЛИЗ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, НЕГАТИВНО ВЛИЯЮЩИХ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ</i>	255

78.	<i>Строев Н.Н. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗРАБОТКИ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА БВС МАЛОГО КЛАССА ДЛЯ УДАЛЕННОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОТЕЧЕК МЕТАНА</i>	257
79.	<i>Строев Н.Н. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА В РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСАХ</i>	261
80.	<i>Теряев Д.В. К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫХ СИСТЕМ ГРУППИРОВКИ ПВО</i>	265
81.	<i>Широких Т.В., Иванов В.Е. ФАНТАЗИЙНЫЕ ЦВЕТА БРИЛЛИНТОВ</i>	266
82.	<i>Якименко И.В., Астахова Т.С. РЕЗУЛЬТАТЫ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ УЧАСТКА С ДВУМЯ ТИПАМИ ПОКРОВОВ И ТЕСТОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ</i>	269
83.	<i>Якименко И.В., Астахова Т.С. АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ</i>	273
84.	<i>Якименко И.В., Астахова Т.С. ОБЗОР МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ ВИДЕОСИСТЕМЫ RT-700Combo</i>	278

Научное издание

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2022

(микроэлектроника и оплотехника)

Сб. трудов XII Межд. науч.-техн. конф.

Сборник трудов в 3-х томах

Том 2

---

Подписано в печать 22.11.2022 г.

Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Тираж 200 экз. Печ. л. 18,25 Усл. печ. л. 16,97.

Издательство «Универсум»

Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске  
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-494-3

