

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В КОНСТРУИРОВАНИИ ЭС**

Межвузовский сборник научных трудов

Рязань 2024

УДК 004 + 621.3

Информационные технологии в конструировании ЭС, межвузовский сборник научных трудов. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2024. – 272 с.

**ISBN 978-5-907811-31-7**

Публикуются статьи о проблемах использования информационных технологий в конструировании электронных средств.

Сборник рассчитан на научных сотрудников, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Авторская позиция, орфография, пунктуация и стилистические особенности публикаций сохранены.

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, проф. В.П. Корячко (ответственный редактор), д-р техн. наук, проф. В.А. Минаев (МУ МВД России им. В.Я. Кикотя), д-р техн. наук, проф. А.О. Фаддеев (Московский государственный технический университета имени Н.Э. Баумана), д-р техн. наук, проф. А.Д. Иванников (Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук), д-р техн. наук, проф. Д.О. Жуков (МИРЭА – Российский технологический университет), д-р техн. наук, проф. С.В. Скворцов (РГРТУ), д-р техн. наук, проф. Д.А. Перепелкин (РГРТУ), канд. техн. наук, доц. А.Н. Сапрыкин (ответственный секретарь).

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. А.Н. Пылькин (Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина), д-р техн. наук, проф. А.П. Карпенко (Московский государственный технический университета имени Н.Э. Баумана).

**ISBN 978-5-907811-31-7**

©Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, 2024  
©Коллектив авторов, 2024  
©ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

**Амосов А.О.**

Разработка программных средств трассировки многослойных печатных плат ..... 8

**Артамонов К.В.**

Алгоритм расслоения многослойной печатной платы ..... 15

**Башкин Ф.И.**

Проектирование принципиальной электрической схемы мобильного испарителя жидкости с дисплеем ..... 21

**Беликов М.А.**

Развитие технологии пайки электронных BGA-компонентов ..... 25

**Беликов М.А.**

Роль микроконтроллеров в формировании современной электроники..... 28

**Бережнов А.Д., Скворцов С.В.**

Анализ алгоритмов распределения проводников по слоям многослойных печатных плат..... 34

**Благодаров Е.А.**

Проектирование программного обеспечения системы дистанционного контроля уровня топлива тепловозов ..... 39

**Благодаров Е.А.**

Разработка программного обеспечения системы контроля точки натекания расплава при производстве минеральной ваты..... 44

**Борзых Д.А.**

Особенности программной реализации последовательного алгоритма компоновки на основе списков ST-RST ..... 47

**Борзых Д.А.**

Программный модуль регистрации первичной сейсмоакустической информации морского геофизического комплекса ..... 52

**Бочарова К.Е.**

Исследование параметров лазерной резки конструкций изделий радиоэлектронных средств ..... 56

**Булимов М.Л.**

Влияние среды программирования ПЛИС Modelsim на развитие конструирования ..... 63

**Дешов В.В.**

Особенности программной реализации проекта в среде Qt Creator на языке C++ ..... 69

**Дешов В.В.**

Применение гироскопов в устойчивости и авиации вертолетов ..... 73

**Донцов Д.В.**

Проектирование моделей для 3D-печати в САПР SolidWorks ..... 79

**Донцов Д.В.**

Создание часов на основе газоразрядных индикаторов ..... 83

**Елатников Н.В.**

Высокоточное геометрическое совмещение разновременных изображений от гидрометеорологических космических систем ..... 88

**Елатников Н.В.**

Разработка и особенности программной реализации последовательного алгоритма компоновки с использованием списков SP-RSP ..... 92

**Ерзылев Д.А.**

Использование автоматизированных систем проектирования для оптимизации несущих конструкций ..... 96

**Жилкин С.С.**

Современные технологии гидроакустического и сейсмического мониторинга: система сбора сейсмоданных морского геофизического комплекса ..... 102

**Зайцев Е.С.**

Актуальность интеллектуальных систем регулировки движения транспорта ..... 106

**Замятина В.А.**

Применение генетического алгоритма в производстве ..... 109

**Кирюхин В.В.**

Инженерное моделирование методом конечных элементов с использованием программы ELCUT ..... 113

**Комарова А.Ю.**

3D-печать в электронике ..... 122

**Комарова А.Ю.**

Роль и значение прототипирования в конструировании электроники ..... 128

**Королёв Д.О.**

Влияние технологий 5G на разработку и производство электроники ..... 131

**Королёв Д.О.**

Разработка системы беспроводной зарядки для портативных устройств ..... 136

**Крыгина М.К.**

Измерение уровня жидкости волноводным уровнемером ..... 145

**Кулакова И.В.**

Исследование параметров (технологий) ультрафиолетовых излучателей ..... 150

**Маркин М.Н.**

О важности контроля исправности климатических установок на производстве ..... 156

**Мартынова Е.С.**

Особенности разработки алгоритма Флойда-Уоршела на языке Python ..... 159

**Мартынова Е.С.**

Последовательный алгоритм компоновки с использованием модели гиперграфа ..... 164

**Муранов В.П.**

Современные проблемы механической обработки печатных плат .. 168

**Осин Д.Ю.**

Проектирование блока питания для электроматраса на основе углеводородных проводников ..... 172

**Панталыйчук В.С.**

Разработка программных средств построения деревьев Штейнера . 176

**Полезов Е.А.**

Использование G-кода для станков с ЧПУ ..... 183

**Поляков И.В.**

Широкополосный аудио усилитель ..... 186

**Пырков А.В.**

Разработка конструкции умного смесителя ..... 190

**Румянцев С.С.**

Термометрия в первом контуре ядерной энергетической установки рефлектометрическим методом ..... 193

**Сапрыкин А.Н., Зайцев Е.С.**

Актуальность разработки трансляторов высокоуровневых языков на язык проектирования аппаратуры VHDL для эффективного проектирования цифровых систем ..... 197

**Сапрыкин А.Н., Кошелева И.Д.**

Алгоритмы проводной трассировки межсоединений электронных средств с ограничением максимального числа подключений на контакт ..... 200

**Сапрыкин А.Н., Сизова С.В.**

Принципы программирования семисегментного индикатора ПЛИС ..... 208

**Строшов А.С.**

Задача раскраски вершин графа конфликтов при трассировке многослойных печатных плат ..... 216

**Сурков Р.А.**

Конструкция блока бортовой радиолокационной станции ..... 222

**Теплякова У.С., Потапова Е.В.**

Разработка автоматизированной испытательной системы ..... 230

**Теплякова У.С., Потапова Е.В.**

Сравнительный анализ развития вторичных источников энергии ... 238

**Фёдоров В.П., Ильиных В.А.**

К выбору электрических и геометрических параметров электромагнитного вибратора..... 244

**Фирсов Н.О., Скворцов С.В.**

Анализ и сравнение алгоритмов трассировки многослойных печатных плат ..... 250

**Чернецов Н.И.**

Особенности программной реализации волнового алгоритма трассировки с минимизацией числа изгибов в Qt Creator ..... 254

**Чернецов Н.И.**

Разработка конструкции блока звукового зондирования горных пород ..... 262

**Шейкис А.Е.**

Использование генетического алгоритма для автоматической трассировки печатных плат ..... 266

УДК 004.42

**АМОСОВ А.О.**Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ТРАССИРОВКИ  
МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

*В статье рассматривается программная реализация алгоритмов трассировки многослойных печатных плат на примере алгоритма Хейса. Приведен пример работы программы.*

Трассировка многослойных печатных плат (МПП) является этапом проектирования и производства электронных устройств. Он является ключевым, так как необходимо эффективно соединить компоненты с использованием сложных многослойных структур.

Поскольку трассировка играет решающую роль в производительности и надежности МПП, существует значительная потребность в надежных и эффективных алгоритмах трассировки.

При трассировке соединений многослойных печатных плат в большинстве случаев в качестве рабочего поля имеют больше чем одну плоскость. В таких случаях используются алгоритмы, являющиеся обобщением алгоритма Ли. В качестве рабочего пространства, как правило, используется набор слоев, связанных между собой с помощью межслойных переходов (рисунок 1).

Одним из представителей таких алгоритмов является алгоритм многослойной трассировки Хейса. Алгоритм осуществляет поиск кратчайшего пути в многослойном ДРП между двумя заданными точками.

Здесь каждому  $i$ -му слою платы вводится в соответствие свое дискретное рабочее поле ДРП $_i$ . Считается, что ячейки принадлежащие разным слоям и лежащие друг над другом, в процессе трассировки могут быть связаны переходами.

Алгоритм Хейса включает процедуру распространения числовой волны и процедуру проведения пути. Числовая волна распространяется подобно волновому алгоритму Ли, однако распространение идет во всех слоях монтажного пространства. Каждая ячейка ДРП $_i$  может находиться в двух состояниях: занята или свободна. Занятой считается ячейка, в которой проходит трасса некоторого соединения, расположен переход, контактная площадка и т. д. При распространении числовой волны свободным ячейкам ДРП $_i$  присваивается индекс длины  $P_i$  и индекс количества переходов  $V_i$ .

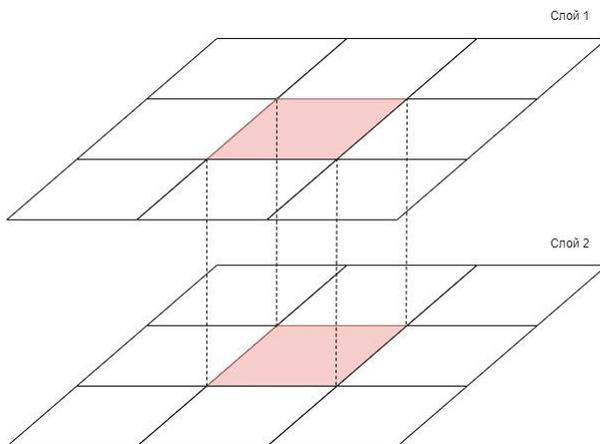


Рисунок 1 – Модель многослойного рабочего поля

Индекс длины  $P_i$  используется для присвоения значения всем свободным ячейкам некоторого фронта. Индекс  $V_i$  используется в процедуре построения пути для минимизации переходов.

В процессе распространения волны для каждого из слоев  $u$  используют такие данные как: ДРП $_i$  - состояния ячеек  $i$ -го слоя;  $L_i$  – ячейки текущего фронта волны в  $i$ -ом слое;  $M_i$  – ячейки слоя  $i$ , соседние (имеющие общее ребро) ячейкам из  $L_i$ . При образовании очередного фронта для  $i$ -го слоя наряду с ячейками из  $M_i$  используются те ячейки  $i$ -го слоя, в которых возможен переход из других слоев и которые при этом имеют тот же индекс  $P$ .

В начале алгоритма ячейка источник вводится в списки  $L$ ; индекс длины  $P_i$ , а также индексы переходов  $V_i$  полагаются равными нулю. Списки  $M_i$  — пусты. Цена одного перехода равна единице. Ячейки очередного фронта волны кодируются по модулю 3 для уменьшения затрат памяти.

Образование очередного фронта волны складывается из следующих операций:

1. Увеличить индекс  $P$  следующим образом:  $P = (P + 1) \bmod 3$ .
2. Исследовать в ДРП $_i$  окрестность очередной ячейки из списка  $L_i$ , выбрать свободные и неотмеченные ячейки и записать их в список  $M_i$ .
3. Каждую из этих ячеек отметить в ДРП $_i$  индексом  $P$  и индексом  $V$ , равным соответствующему индексу очередной ячейки из  $L_i$ .
4. Повторить пункты 1 и 3 для всех ячеек списка  $L_i$ .
5. Очистить список  $L_i$ , и передать в него содержимое списка  $M_i$ ;

6. Очистить список  $M_i$ .

7. Если текущий слой не является последним то, добавить в список  $L_i$  те ячейки списка  $L_{i+1}$ , в которых возможен переход из слоя  $i+1$  в слой  $i$  и которые не были отмечены в ДРП $_i$ , увеличив значение  $V_i$  на единицу. В противном случае добавить в список  $L_i$  те ячейки списка  $L_{i-1}$ , в которых возможен переход из слоя  $i-1$  в слой  $i$  и которые не были отмечены в ДРП $_i$ , увеличив значение  $V_i$  на единицу.

8. Отметить эти ячейки в ДРП $_i$  индексом  $P$  и индексом  $V_i$ .

9. Выполнить пункты 2...7 для каждого слоя.

10. Если ячейка-цель не обнаружена в списках  $L_i$  каждого слоя и все эти списки одновременно не пусты, то повторить операции пункта 1 — 8. Если же списки  $L_i$  пусты, то искомого пути не существует. Если ячейка-цель обнаружена, перейти к построению пути.

На рисунке 2 изображен пример процесса распространения волны для случая двух слоев. Ячейка  $A$  отмечена как источник на обоих слоях.

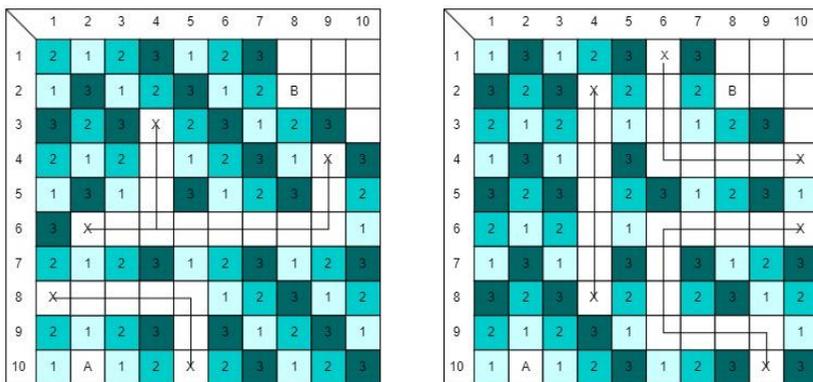


Рисунок 2 – Распространение числовой волны на 1 и 2 слое соответственно

Для построения пути необходимо двигаться с ячейки-цели в направлении изменения весов ячеек в соответствии с последовательностью:

$$3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow \dots$$

Точкой входа в эту последовательность является ячейка с наименьшим значением индекса  $P$ . В случае, когда в окрестности ячейки есть две ячейки с одинаковым  $P$ , то необходимо выполнить переход к той ячейке, у которой индекс  $V$  меньше. Если в окрестности ячейки нет ячейки с меньшим  $P$ , то необходимо перейти на другой слой и продолжить путь. Хотелось бы отметить, что в случае когда путь проходит на промежуточном слое и в окрестности ячейки нет ячейки с

меньшим  $P$ , то необходимо делать переход на тот слой на котором расположена ячейка-источник, если отсутствуют препятствия на слое, иначе делать переход на слой ниже, а с него уже потом производить переход на ячейку-источник.

На рисунке 3 изображен процесс построения пути для примера выше. Путь имеет длину 15 и является наименьшим.

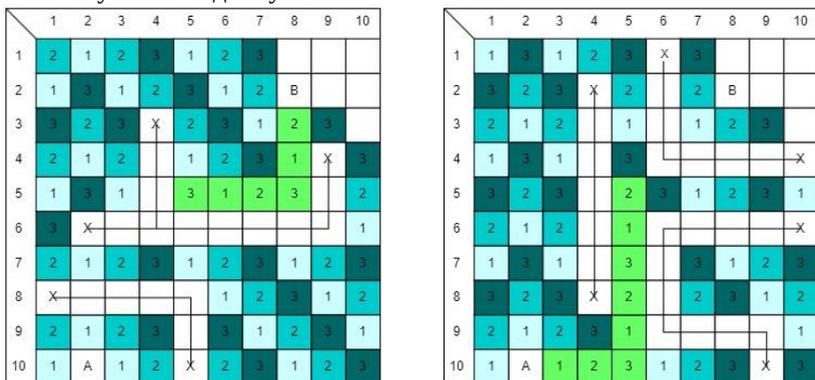


Рисунок 3 – Процесс построения пути

Алгоритм Хейса является ресурсозатратным при реализации на ЭВМ. Это связано с тем, что волна распространяется в  $n$  слоях схемы независимо. Однако алгоритм всегда строит путь, если он существует, и этот путь всегда имеет минимальную длину.

Программное средство для трассировки печатных плат с использованием алгоритма Хейса разработано на языке программирования Python. Для создания графического редактора и пользовательского интерфейса использовался набор библиотек PyQt5. Для реализации алгоритма были использованы следующие классы и функции:

В классе `UI_Main_Window` описано главное окно программы (рисунок 4). Здесь производится инициализация объектов пользовательского интерфейса таких как: меню, панель слоёв, текстовое поле, рабочее поле с графическим окном и панелью инструментов, а также статусная панель. В данном классе также реализована часть логики программы.

Рабочее пространство описано в классе `Workspace`. В данном классе реализованы удобства для создания и редактирования схемы. Пользователю имеет возможность добавлять и перемещать элементы рабочего окна, изменять его размер, менять масштаб, размер сетки, добавлять связи между контактными площадками в удобном режиме.

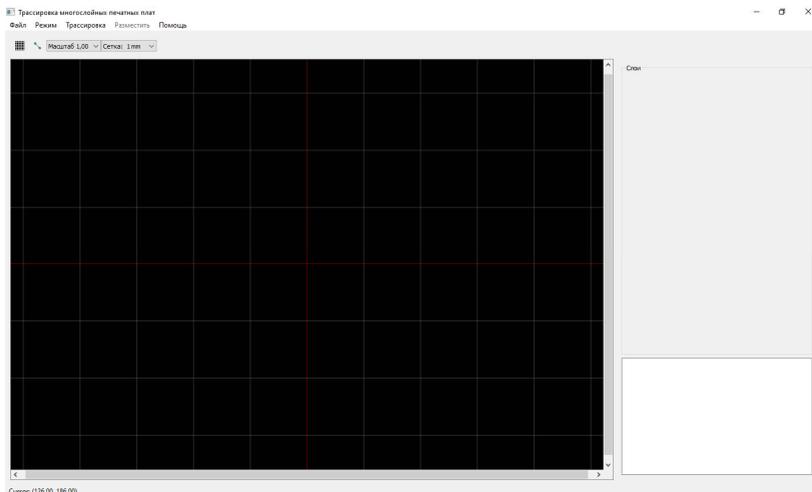


Рисунок 4 – Главное окно программы

Через меню «Трассировка» основного окна пользователь может вызвать диалоговое окно, где можно посмотреть и изменить список созданных им связей. Таким же образом открывается окно со списком контактных площадок, в котором можно поменять их название, координаты и слой.

В меню «Файл» можно создать новую плату, сохранить текущую, открыть ранее сохранённую или выйти из программы. При создании платы открывается диалоговое окно, где пользователь может задать ширину, высоту и количество слоёв платы. По нажатию кнопки диалогового окна «Создать» на рабочее окно добавляется объект (прямоугольник или квадрат), представляющий собой границы платы. Также на панели слоёв появляется объект типа «флажок», по нажатию на который, после трассировки платы, можно отключить отрисовку трасс и контактных площадок расположенных на соответствующем слое.

На рисунке 5 изображено главное окно программы после создания платы.

Для добавления на плату контактных площадок необходимо нажать кнопку «Контакт» меню «Разместить». Контактная площадка появится в центре координат графической сцены, откуда пользователь может в режиме drag-and-drop перетащить ее в любое другое место. Необходимо отметить, что расположить контактные площадки можно только в узлах координатной сетки. Это необходимо для функции трассировки, каждому узлу ограниченному границами платы, кроме

расположенных на самой границе, сопоставляется ячейка двумерной матрицы.

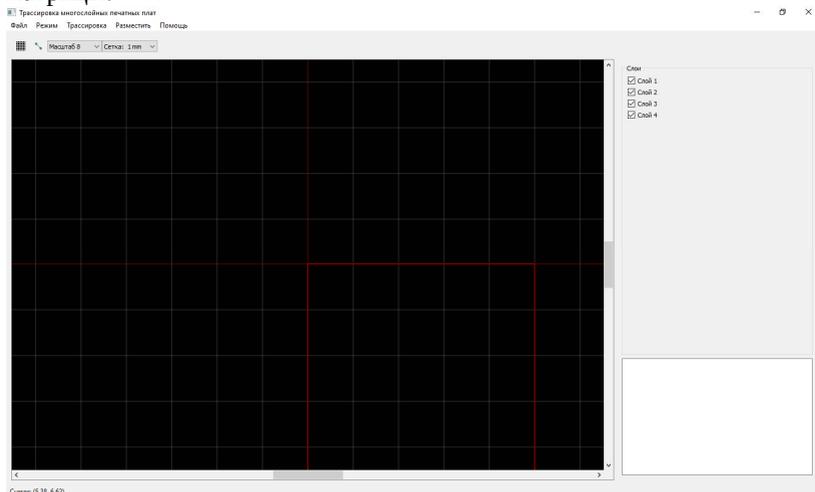


Рисунок 5 – Главное окно программы после создания платы

Трассировка начинается по нажатию кнопки «Автоматическая» меню «Трассировка». Вызывается функция со следующими входными данными:

- 1) Row - количество строк, равное ширине платы с вычетом шага сетки делённой на шаг сетки. Необходим для инициализации двумерного массива ДРП;
- 2) Col - количество столбцов, равное высоте платы с вычетом шага сетки делённой на шаг сетки. Необходим для инициализации двумерного массива ДРП;
- 3) Node\_coordinates - двумерный список координат узлов внутри границ платы;
- 4) Layers\_quantity - количество слоёв платы;
- 5) Contact\_list - список контактов;
- 6) Connection\_list - список связей;
- 7) Trace\_strategy - список направлений просмотра соседних ячеек.

В начале алгоритма происходит инициализация необходимых для дальнейшей работы структур данных. Создаются двумерные массивы в соответствии с количеством слоёв `layers_quantity`. Далее каждый массив заносится в словарь `discrete_field_dict` формата {номер слоя: массив}. Таким же образом создаются массивы для хранения значений `V`. Затем создаются списки списков `l` и `m`, где `l` - хранит очередные

ячейки фронта волны для каждого слоя,  $m$  - хранит соседние ячейки для каждой ячейки списка  $l$ . Создаётся очередь `queue`.

Далее во всех массивах отмечаются ячейки соответствующие контактными площадкам. Значением «-1» отмечаются контактные площадки, которые имеют связи, значением «-2» остальные. Индексы таких ячеек формируются в соответствии с индексами контактных площадок в двумерном списке `node_coordinates` В очередь `queue` заносятся пары ячеек, которые соответствуют связанным контактным площадкам. Первыми в очередь добавляются ячейки расположенные на одном слое.

Далее последовательно из очереди берётся пара ячеек (ячейка-источник, ячейка-цель) и выполняется алгоритм Хейса описанный выше в данной статье. Волна распространяется от ячейки-источника до ячейки-цели. Затем, если волна достигла ячейки цели строится путь. После построения пути, ячейки вошедшие в список пути кодируются значением «-3». Все ячейки с отрицательным значением являются запрещёнными для распространения числовой волны и прокладывания пути.

Функция возвращает список путей. Каждый путь - это список координат узлов, с указанием слоя, через которые проходит путь между контактными площадками.

Далее программа вызывает функцию отрисовки путей. Результат выполнения трассировки представлен на рисунке 6. В местах, где изменяется слой у координат, ставится переходное отверстие (серый круг с жёлтым контуром).

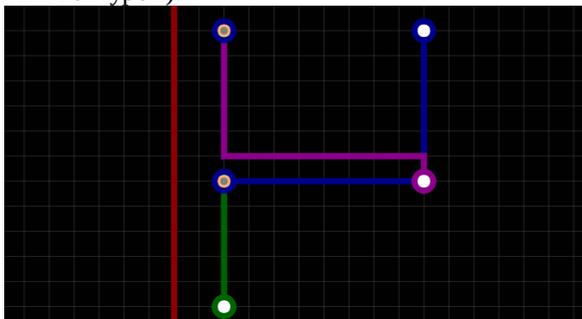


Рисунок 6 – Трассированные контактные площадки

Информацию о полученных путях и времени выполнения алгоритма можно посмотреть в текстовом окне программы (рисунок 7).

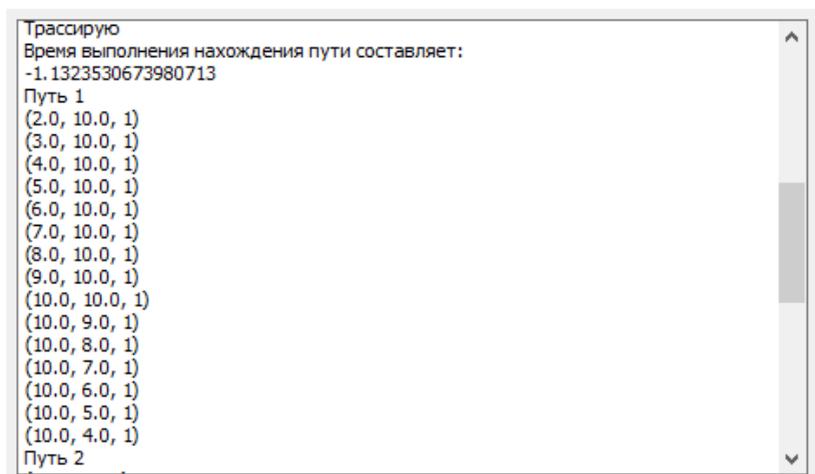


Рисунок 7 – Информация в текстовом окне

Время выполнения алгоритма можно использовать для исследования его эффективности. Таким образом, данное программное средство для трассировки МПП может использоваться для изучения этапа трассировки конструкторского проектирования, анализа и исследования алгоритма Хейса.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств. / В.А. Селютин. – М.: Сов. радио, 1977. – 381 с.
2. Сапрыкин А.Н. Алгоритмические методы автоматизации конструирования электронных средств: учебное пособие – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 116 с.

УДК 004.02

**АРТАМОНОВ К.В.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **АЛГОРИТМ РАССЛОЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ**

*В статье рассматриваются алгоритм расслоения многослойной печатной платы и возможность его применения на практике.*

Многослойные печатные платы (МПП) являются важным элементом в электронной промышленности, обеспечивая соединение множества электронных компонентов на небольшой поверхности. Однако процесс проектирования и изготовления МПП включает в себя сложные шаги, в том числе и разработку алгоритмов расслоения. Алгоритм расслоения – это процесс размещения проводников и пустот между слоями платы с учетом требований к сигналам, питанию, тепловыделению и другим аспектам проектирования.

Алгоритм расслоения является ключевым этапом в разработке МПП, поскольку правильное распределение проводников и промежутков между слоями существенно влияет на электрические характеристики платы. Неправильное размещение может привести к помехам, перекрытию сигналов и другим проблемам, влияющим на производительность и надежность устройства. Следовательно, разработчики МПП активно исследуют и создают эффективные алгоритмы расслоения для обеспечения оптимального функционирования печатных плат.

Основные шаги алгоритма расслоения:

1. Анализ требований дизайнера: Первый шаг в разработке алгоритма расслоения – это анализ требований дизайнера. Это включает в себя определение расположения компонентов на плате, требования к сигналам, питанию, тепловыделению и другие факторы, которые могут повлиять на конечный дизайн.

2. Формирование матрицы соединений: затем формируется матрица соединений, которая отражает связи между компонентами и платой. Это позволяет определить оптимальное размещение проводников для соединения нужных элементов.

3. Размещение слоев: на этом этапе определяется количество слоев МПП и их расположение. Это важно для обеспечения правильного соединения между компонентами и минимизации помех.

4. Маршрутизация проводников: после определения расположения слоев начинается маршрутизация проводников. Это процесс маршрутизации соединений между компонентами с учетом физических ограничений и электрических характеристик.

5. Оптимизация и анализ: Завершающий этап включает в себя оптимизацию размещения и маршрутизации, а также анализ полученного результата на соответствие требованиям дизайнера.

В разработке алгоритмов расслоения МПП используются различные методы и технологии, включая:

Алгоритмы оптимизации: Методы оптимизации, такие как генетические алгоритмы, алгоритмы имитации отжига и методы

искусственного интеллекта, применяются для поиска оптимального решения в пространстве размещения проводников.

3D-моделирование: 3D-моделирование позволяет визуализировать конечный дизайн МПП и обнаруживать потенциальные проблемы, такие как пересечения проводников или недостаточное пространство для маршрутизации.

Автоматизированные инструменты: Существуют специализированные программные инструменты, которые помогают автоматизировать процесс разработки алгоритмов расслоения и ускоряют процесс проектирования МПП.

### 1. Расслоение до трассировки

Перед началом трассировки соединений алгоритмическое распределение их по слоям может быть выполнено до или после анализа схемы. Один из распространенных методов — использование топологических методов для анализа планарности графа схемы и выявления возможности её реализации без пересечений в заданном числе слоёв. Однако, ограничения размеров конструкции и другие факторы могут создать трудности при использовании этого подхода.

Результат расслоения до трассировки представлен на рисунке 1:

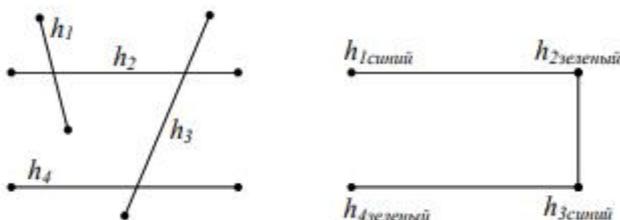


Рисунок 1 – Расслоение до трассировки

### 2. Расслоение после предварительной трассировки

На этом этапе строится граф конфликтов отрезков, соответствующий совмещенной топологии схемы. Отрезки последовательно распределяются по слоям, минимизируя количество пересечений. Алгоритм включает формирование списков отрезков, которые могут быть реализованы в одном слое без пересечений, и последующее распределение остальных отрезков с учетом минимизации пересечений.

### 3. Расслоение в процессе трассировки

Этот метод осуществляется одновременно с прокладкой соединений в многослойном дизайне с использованием различных модификаций волнового алгоритма трассировки. Задача расслоения

формулируется как квадратичная задача целочисленного программирования с булевыми переменными, минимизируя количество пересечений между отрезками.

Рассмотрим следующий пример.

Предположим, у нас есть граф конфликтов, представляющий собой совмещенную топологию схемы. Для простоты предположим, что этот граф содержит 5 отрезков ( $X = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ ) и 3 слоя ( $k=3$ ).

Мы должны определить, какие отрезки можно разместить на одном слое, минимизируя количество пересечений. Используя алгоритмы расслоения, мы определяем, что отрезки 1, 2 и 3 могут быть размещены на первом слое без пересечений, тогда как отрезки 4 и 5 будут распределены на остальные слои с учетом минимизации пересечений.

Алгоритм расслоения многослойной печатной платы (МПП) играет важную роль в проектировании современной электроники. Многослойные печатные платы позволяют эффективно организовывать сложные электрические соединения между компонентами, сокращая суммарную длину проводников, а также уменьшая вес и габариты устройства.

При разработке многослойных печатных плат возникает задача распределения соединений по отдельным слоям схемы, особенно если соединения претендуют на одни и те же области монтажного пространства и могут конфликтовать между собой. Целью решения этой задачи является обеспечение 100% разводки соединений, уменьшение числа слоев и межслойных переходов, а также наиболее рациональное использование объема монтажного пространства.

Алгоритмическое расслоение соединений может осуществляться до, после или в процессе трассировки отдельных соединений. Одним из наиболее распространенных методов является расслоение до трассировки, который включает в себя следующие этапы:

Построение графа конфликтов: Сначала строится граф конфликтов отрезков, отображающий совмещенную топологию схемы.

Удаление вершин: Из графа конфликтов последовательно удаляются вершины с низкой степенью, что позволяет определить отрезки, которые могут быть реализованы в определенном числе слоев без пересечений.

Формирование списков отрезков для каждого слоя: Осуществляется формирование списков отрезков, которые могут быть размещены в каждом из слоев без пересечений.

Распределение отрезков по слоям: Отрезки последовательно распределяются по слоям в соответствии с результатами предыдущих этапов.

Предположим, у нас есть граф конфликтов с 6 отрезками и 4 слоями. После применения алгоритма расслоения, мы получаем следующее распределение отрезков по слоям:

Слой 1: Отрезки 1, 3, 5

Слой 2: Отрезки 2, 4

Слой 3: Отрезок 6

Пример реализации алгоритма на языке Python:

```
def layer_allocation(graph, K):
    # Построение графа конфликтов и удаление вершин
    ...
    # Формирование списков отрезков для каждого слоя
    layers = []
    remaining_edges = graph.edges()
    for i in range(K):
        layer_i = []
        for edge in remaining_edges:
            if edge not in layers:
                layer_i.append(edge)
        layers.append(layer_i)
        remaining_edges = [edge for edge in
remaining_edges if edge not in layer_i]

    # Распределение отрезков по слоям
    for i, layer in enumerate(layers):
        for edge in layer:
            if no_intersections(edge, layers[:i]):
                place_on_layer(edge, i+1)
            else:
                min_intersections_layer =
find_min_intersections_layer(edge, layers)
                place_on_layer(edge,
min_intersections_layer)
```

Это пример простой реализации алгоритма на Python. Реальная реализация может быть более сложной и учитывать различные оптимизации и дополнительные условия проектирования.

Рассмотрим пример применения алгоритма расслоения МПП на следующей схеме, где компоненты представлены в виде компонентов и соединений между ними:

1: [4, 5, 6]

2: [5]

- 3: [4, 9, 10]
- 4: [1, 5, 6]
- 5: [1, 4]
- 6: [1, 4]
- 7: [13]
- 8: [11, 12, 13, 14]
- 9: [3, 5, 10, 11, 12]
- 10: [3, 9, 11, 12, 15]
- 11: [8, 9, 10, 12, 13, 16]
- 12: [8, 9, 10, 11, 14, 15]
- 13: [7, 8, 9, 11, 14]
- 14: [8, 9, 12, 13]
- 15: [10, 11, 12]

Шаг 1. Начнем с построения графа конфликтов в соответствии с топологией схемы.

Шаг 2. Затем последовательно удаляем вершины из графа конфликтов, чьи локальные степени меньше 3, и составляем список вершин  $S = \{2, 7, 6, 1, 4, 5, 3\}$ .

Шаг 3. Удаляем из графа  $G$  вершины, перечисленные в списке  $S$ , вместе с инцидентными ребрами, создавая новый граф  $G_1$ . Затем последовательно удаляем из  $G_1$  вершины с наибольшей локальной степенью. Оставшиеся вершины 14 и 15 формируют внутренне устойчивое множество, которое добавляется в список  $S_1$ .

Шаг 4. Продолжаем процесс удаления вершин из  $G_1$ , на этот раз удаляем вершины из списка  $S_1$ , и формируем граф  $G_2$ . После этого удаляем вершины с наибольшей локальной степенью из  $G_2$ . Оставшиеся вершины 12 и 13 также образуют внутренне устойчивое множество, которое добавляется в список  $S_2$ .

Шаг 5. Продолжаем процесс удаления вершин и формирования графов  $G_3$ ,  $G_4$  и т. д. Каждый раз, когда образуется внутренне устойчивое множество, оно добавляется в соответствующий список  $S$  (например,  $S_3$ ). Вершины, которые не образуют такие множества, добавляются в список  $S$ .

Шаг 6. Наконец, распределяем отрезки из списков  $S$  и  $S$  по слоям в обратном порядке. Например, отрезки, соответствующие вершинам 3 и 5, помещаются в первый слой, вершина 4 - во второй слой, и так далее.

Итоговое распределение отрезков по слоям:

$$S_1 = \{14, 15, 3, 5, 6, 7, 11\}$$

$$S_2 = \{12, 13, 4, 2\}$$

$$S_3 = \{8, 10, 1, 9\}$$

Этот алгоритм обеспечивает эффективное размещение соединений между компонентами на различных слоях печатной платы, минимизируя пересечения и обеспечивая эффективное функционирование устройства.

Алгоритм расслоения играет важную роль в разработке многослойных печатных плат, обеспечивая оптимальное размещение проводников и соединений между компонентами. Он представляет собой мощный инструмент, который облегчает процесс проектирования электронных устройств, улучшая их функциональность и эффективность. Его практическое применение может значительно сократить время и затраты на разработку электроники. Развитие методов оптимизации и использование современных технологий позволяют создавать все более сложные и эффективные дизайны МПП, отвечающие требованиям современной электроники.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Сапрыкин А.Н. Алгоритмические методы автоматизации конструирования электронных средств: учебное пособие – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 116 с.

УДК 621.3

**БАШКИН Ф.И.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ МОБИЛЬНОГО ИСПАРИТЕЛЯ ЖИДКОСТИ С ДИСПЛЕЕМ**

*Рассматриваются особенности проектирования мобильного испарителя жидкости с дисплеем.*

В современном мире существуют тенденции к уменьшению габаритных размеров элементной базы. Вследствие этого, использование элементов в чип корпусах является одним из лучших решений в проектировании электронных устройств. Миниатюризация транзисторов даёт возможность оптимизировать компоновку печатной платы. Для достижения лучшего эффекта оптимизации использование микроконтроллеров может служить отличным решением. В



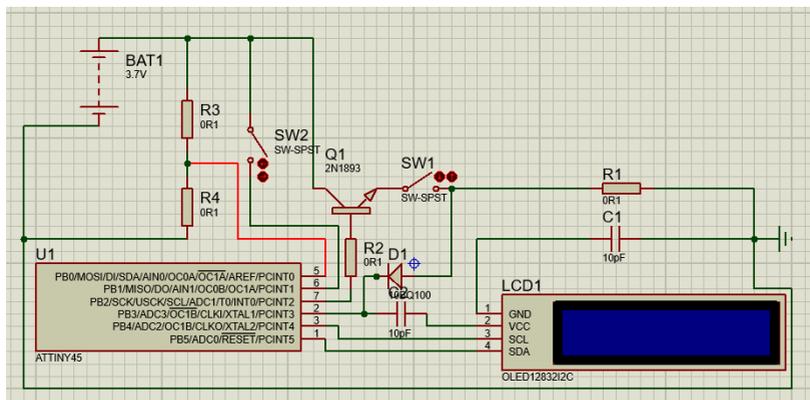


Рисунок 3 – Электрическая схема

Вывод датчика управляющего цепью нагрузки подключается через диод к выводу микроконтроллера и к выводу питания дисплея. Микроконтроллер опрашивает цепь на наличие напряжение, как только напряжение пропадает в цепи дисплей должен сразу отключиться, чтоб этого избежать в микроконтроллере реализована функция плавного затухания. При отсутствии напряжения в цепи микроконтроллер сам подаёт напряжение на выход в течении пяти секунд. Конденсатор в данной цепи служит буфером напряжения для предотвращения моментального выключения в интервале между отсутствия напряжения с датчика и подачи напряжения с микроконтроллера.

Питание микроконтроллера осуществляется из цепи контроля заряда и стабилизацию напряжения (рисунок 4). Транзистор в паре с стабилитроном даёт опорное напряжение для работы микроконтроллера. Контакт используется как аналого-цифровой преобразователь через резистивный делитель для оцифровки напряжения на батарее, далее полученной значение программно преобразуется в процентное значение заряда и выводится на дисплей. Для заряда батареи реализуется схемотехническое решение на основе микросхемы TP4056. Когда напряжение достигает 4.2 вольта сигнал с вывода `chrg` пропадает и транзистор закрывается.

Реализация управления мощностью происходит с помощью кнопки. Корректировка разности потенциала на нагрузке реализована по средствам нажатия кнопки. Короткое нажатие и удержание повышает напряжение, подаваемое микроконтроллером на базу транзистора, тем самым открывая его. При двойном нажатии и

удержании уровень напряжения на базе транзистора снижается, что приводит к его закрытию.

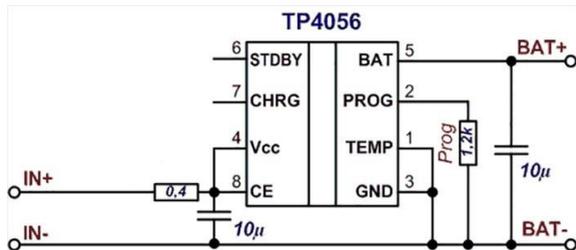


Рисунок 4 – Схема подключения микросхемы TP4056

Прошивка микроконтроллера будет осуществляться на печатной плате. Переходные отверстия спроектированы таким образом, что дорожки к ним подходящие соединены с выводами микроконтроллера, их назначение подключение программатора. Схема подключения программатора представлена на рисунке 5.

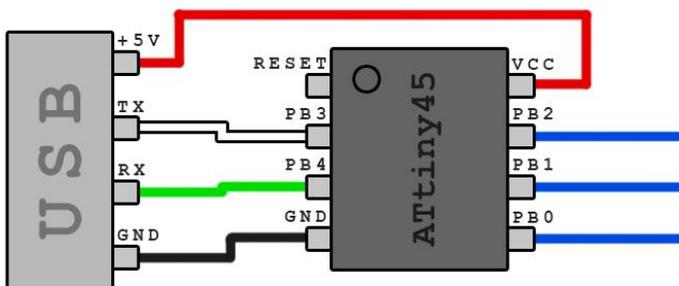


Рисунок 5 – Схема подключения программатора

Код программы для микроконтроллера пишется в среде разработки Arduino IDE. Из-за особенности архитектуры микроконтроллера для написания кода в среде разработки необходимо установить библиотеку совместимости. Для правильного отображения информации на экране необходимо использовать библиотеку "iarduino\_OLED".

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny фирмы ATMEЛ. Руководство пользователя / А.В. Евстифеев. – М.: ДМК, 2015. – 426 с.

2. Иванов В.Б. Программирование микроконтроллеров для начинающих Визуальное проектирование, язык С, ассемблер / В.Б. Иванов. – СПб.: Корона-Век, 2015. – 176 с.

3. Прокопенко В.С. Программирование микроконтроллеров АТМЕЛна языке С / В.С. Прокопенко. – СПб.: Корона-Век, 2015. – 320 с.

4. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino / У. Соммер. – СПб.: BHV, 2016. – 256 с.

УДК 621.791.35

**БЕЛИКОВ М.А.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПАЙКИ ЭЛЕКТРОННЫХ BGA-КОМПОНЕНТОВ**

*В этой статье обобщаются существующие знания и тенденции в области пайки компонентов BGA, подчеркиваются достижения, которые сформировали текущую практику и повлияют на будущие разработки в области производства электроники.*

Разработка технологии пайки компонентов с шаровидных выводов (BGA) представляет собой важную веху в производстве электроники, позволяющую добиться прогресса в миниатюризации и повышении производительности электронных устройств. В данной статье описана эволюция методов пайки, материалов и процессов обеспечения качества, используемых при пайке компонентов BGA, освещая технологические достижения, которые внесли свой вклад в современную практику.

Внедрение компонентов Ball Grid Array (BGA) в начале 1990-х годов произвело революцию в упаковке и сборке интегральных схем (ИС) в электронных устройствах. BGA обеспечивает превосходную производительность по сравнению с традиционными методами упаковки, такими как Quad Flat Package (QFP) и Dual In-line Package (DIP). Использование микросхем в корпусах типа BGA (от английского Ball Grid Array — матрицы шаровидных выводов) позволяет увеличить плотность поверхностного монтажа, однако при этом усложняется технология изготовления печатных плат а также возрастает риск возникновения дефектов при пайке микросхем такого

типа. Также увеличиваются требования к качеству материалов, оборудования и технологии пайки.

В отличие от корпусов классических микросхем, у которых выводы расположены по бокам устройства, компоненты BGA типа в качестве выводов имеют шаровидные площадки на нижней поверхности изделия. Поэтому выводы установленной микросхемы закрыты самим корпусом интегрального компонента. Такая конструкция в большой степени защищает их от скопления загрязнений между выводами и появлению нежелательных гальванических связей. Однако это накладывает ограничения на методы пайки, качество соединений и делает невозможным визуальный контроль.

Одним из свойств при пайке BGA компонентов является самоцентрирование. Эффект проявляется при оплавлении с добавлением флюса, когда посадочные места печатной платы соприкасаются с выводами микросхемы, то происходит смачивание соединяемых контактов припоем. В этом случае локальные силы, удерживающие припой в каплевидном состоянии, стремятся равномерно распределиться на поверхности контактов, чем максимально центрируют их расположение. Однако необходимо точное позиционирование микросхемы относительно посадочных мест на печатной плате, а также соблюдение дополнительных условий:

- контакты на всей поверхности должны обладать хорошей смачиваемостью припоем;
- корпус в момент соединения не должен быть жестко зафиксирован.

Корпуса BGA элементов классифицируются по чувствительности к влажности при разгерметизации для подготовки к монтажу. Для большинства компонентов время хранения составляет от 24 часов до 72 часов при относительной влажности не более 60%. Если условия нарушены, то требуется сушка при температуре +90°C - +125°C в течении 24 - 48 часов.

Первоначальные методы пайки компонентов BGA в значительной степени основывались на ручных процессах и элементарной технологии пайки оплавлением. Ранние проблемы были: достижение равномерного распределения тепла, контроль объема паяльной пасты и проверка скрытых дефектов под корпусами BGA [1].

Развитие технологии пайки оплавлением, а именно разработка контролируемой атмосферы и точного температурного профилирования, значительно повысили надежность соединений BGA. Такие инновации, как азотная атмосфера и парофазное оплавление

(технология, в которой используется инертная жидкость с высокой температурой кипения), обеспечили более высокие характеристики смачивания и снижение окисления во время пайки, что повысило качество соединений [2].

Переход на бессвинцовый припой из-за проблем с окружающей средой и здоровьем стал поворотным моментом в технологии пайки BGA. Внедрение сплавов олово-серебро-медь (SAC) и других бессвинцовых припоев потребовало корректировки профилей оплавления, рецептур паяльной пасты и материалов компонентов с учетом более высоких температур плавления и различных свойств смачивания бессвинцовых припоев.

Рецептура паяльной пасты претерпела значительные изменения для решения специфических задач пайки BGA. Достижения в области распределения шариков по размерам, химии флюса и реологических свойств улучшили качество печати, оплавления и надежность соединений. Помимо этого, внедрение паяльной пасты 4 типа и более тонкой позволило облегчить сборку микросхем и компонентов с очень мелкими шагами.

Контроль качества пайки BGA эволюционировал от ручного контроля к сложным автоматизированным методам. Технология рентгеновского контроля стала основной в обнаружении дефектов пайки, таких как неполное оплавление или слипание шаров. Разработка 3D-рентгеновских систем еще больше расширила возможности оценки качества соединений с беспрецедентной детализацией и точностью [3].

Будущее технологии пайки компонентов BGA, вероятно, будет сосредоточено на дальнейшей миниатюризации, повышении надежности в суровых условиях и внедрении более совершенных автоматизированных технологий производства. Такие инновации, как аддитивное производство для нанесения припоя и оптимизация процессов на основе искусственного интеллекта, позволяют развивать технологии пайки BGA для удовлетворения требований электронных устройств следующего поколения.

Развитие технологии пайки BGA компонентов было обусловлено необходимостью решения уникальных задач, связанных с данными корпусами. Благодаря достижениям в области пайки оплавлением, рецептуре паяльной пасты, бессвинцовых припоях и методах контроля, значительно повысилась надежность и производительность пайки BGA. Поскольку отрасль продолжает развиваться, постоянные инновации в технологии пайки будут иметь решающее значение для поддержания роста и развития электронных устройств.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. "Достижения в методах рентгеновского контроля паяных соединений BGA", Ежеквартальный журнал Electronics Manufacturing, том 17, № 4, стр. 22-26, 2023.
2. S.K. Kang, J.H. Lau, "Бессвинцовая пайка в электронике: наука, технология и воздействие на окружающую среду", CRC Press, 2004.
3. A.T. English, "Процессы пайки оплавлением и устранение неполадок: технологии SMT, BGA, CSP и Flip Chip", Newnes, 2002.

УДК 004.382.7

**БЕЛИКОВ М.А.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### РОЛЬ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В ФОРМИРОВАНИИ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

*В статье обобщаются существующие знания и тенденции в области микроконтроллеров, стоящими за широким спектром современной электроники, от улучшения повседневных устройств с помощью интеллектуальных функций в бытовой электронике, промышленной автоматизации и автомобильных системах до развития здравоохранения и стимулирования роста Интернета вещей.*

В основе большинства современных электронных устройств, от простейших бытовых гаджетов до самых сложных промышленных машин, лежит крошечный, но мощный компонент, известный как микроконтроллер. Эта компактная интегральная схема играет ключевую роль в определении функциональных возможностей современной электроники. Понимание микроконтроллеров сродни раскрытию секретов внутренней работы современной технологии.

Микроконтроллер — это компактный компьютер на одной интегральной схеме, состоящий из процессорного ядра, памяти и программируемых периферийных устройств ввода/вывода. Он служит единственной цели: выполнять конкретные задачи в электронных системах, от простых операций, таких как контроль температуры в холодильнике, до управления сложными системами на борту транспортного средства.

Первым однокристальным микропроцессором считается 4-битный Intel 4004, который вышел 15 ноября 1971 года. Это нововведение ознаменовало собой ключевой сдвиг, позволивший миниатюризировать электронные схемы и снизить их стоимость. На

протяжении десятилетий микроконтроллеры претерпевали значительные изменения, становясь более мощными, эффективными и универсальными, отражая экспоненциальный рост электронной промышленности.

Микроконтроллеры объединяют несколько критически важных компонентов в одном чипе. Такая интеграция способствует созданию компактной и эффективной архитектуры, необходимой для широкого спектра приложений.

Центральный процессор (CPU): Центральный процессор, являющийся мозгом микроконтроллера, выполняет инструкции программного обеспечения для выполнения задач. Они различаются по мощности и быстродействию: от простых 8-разрядных процессоров, до сложных 32- или 64-разрядных процессоров.

Память: Память микроконтроллера подразделяется:

Оперативная память (ROM): используется для хранения встроенного ПО или постоянного программного обеспечения, с которым работает микроконтроллер. Она энергонезависима, что означает, что она сохраняет информацию даже при выключенном питании.

Оперативная память (RAM): обеспечивает временное хранение данных и инструкций во время работы. Она энергозависима и работает быстрее, чем ПЗУ, но его содержимое теряется при выключении устройства.

Программируемая память только для постоянного использования с возможностью стирания (EEPROM) или флэш-память: позволяет сохранять данные постоянно, но их можно стирать и перепрограммировать. Она используется для хранения приложений или данных, которые, возможно, потребуются обновить.

Порты ввода-вывода (I/O): Эти порты позволяют микроконтроллеру взаимодействовать с внешним миром, получая входные данные от других устройств или датчиков и отправляя выходные данные на другие датчики. Они могут быть цифровыми или аналоговыми, в зависимости от характера обрабатываемых сигналов.

Периферийные устройства: Большинство микроконтроллеров поставляются со встроенными периферийными устройствами, такими как таймеры, счетчики, аналого-цифровые преобразователи (АЦП), цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) и интерфейсы связи, такие как SPI, I2C и UART. Эти периферийные устройства расширяют возможности микроконтроллера, позволяя ему взаимодействовать с различными устройствами и выполнять сложные задачи.

Микроконтроллеры могут быть классифицированы в зависимости от длины их слова (8-разрядные, 16-разрядные, 32-разрядные и т.д.), что обычно указывает на их вычислительную мощность и скорость. Более высокие разрядности обычно обеспечивают большую скорость и способность обрабатывать больше данных, что делает их пригодными для более сложных приложений.

8-разрядные микроконтроллеры используются в приложениях, где стоимость, энергопотребление и пространство являются критическими факторами. Они идеально подходят для простых систем управления.

16-разрядные микроконтроллеры обеспечивают хороший баланс между производительностью и стоимостью и подходят для умеренно сложных приложений, требующих более высокой точности и эффективности.

32-разрядные микроконтроллеры используются в приложениях, требующих высокой производительности, сложных вычислений и многозадачности, таких как автомобильные системы управления, сложная бытовая электроника и устройства связи [1].

Выбор языка программирования для микроконтроллеров зависит от сложности приложения, требований к производительности и знаний программиста.

**Ассемблер:** Этот низкоуровневый язык программирования обеспечивает прямое управление аппаратным обеспечением, но требует глубокого понимания архитектуры микроконтроллера. Он высокоэффективен, но может быть сложным и отнимать много времени для крупных проектов.

**C:** Язык среднего уровня, который уравнивает низкоуровневый доступ к оборудованию с языковыми возможностями высокого уровня. Это наиболее широко используемый язык программирования микроконтроллеров, предлагающий хорошее сочетание эффективности и удобочитаемости.

**Python:** Некоторые современные микроконтроллеры поддерживают Python, язык высокого уровня, известный своей простотой и удобочитаемостью. Python используется в образовательных контекстах и для быстрого создания прототипов, хотя для некоторых приложений он может быть не таким эффективным, как C или ассемблер.

Интегрированные среды разработки (IDE) и инструменты значительно влияют на эффективность и простоту разработки приложений для микроконтроллеров.

Интегрированные среды разработки (IDE): это программные пакеты, которые предоставляют программистам комплексные возможности для разработки программного обеспечения. IDE обычно включает редактор кода, компилятор или интерпретатор и отладчик. Популярные IDE для программирования микроконтроллеров включают Arduino IDE, MPLAB X IDE (для микроконтроллеров Microchip) и Keil MDK для процессоров ARM.

Помимо IDE, разработчики используют различные инструменты для контроля версий, моделирования и тестирования версий. Такие инструменты, как GitHub для контроля версий, Proteus для моделирования и JTAG-отладчики для отладки в реальном времени, являются неотъемлемой частью процесса разработки.

Среда программирования и выбор языка напрямую влияют на способность микроконтроллера эффективно и надежно выполнять свои функции. Таким образом, средства разработки и языки выбираются на основе требований проекта, аппаратных ограничений и опыта команды разработчиков [2].

Микроконтроллеры стали повсеместно использоваться в современной электронике, встраиваясь в широкий спектр приложений. Их адаптивность, эффективность и компактные размеры делают их идеальными для управления множеством устройств.

- Бытовая электроника и умный дом.

В секторах бытовой электроники и "умного дома" микроконтроллеры являются основой, позволяющей устройствам выполнять их сложные задачи. Они используются в таких приборах, как стиральные машины, микроволновые печи и кондиционеры, где они управляют всеми операциями, от базовых функций синхронизации до контроля температуры. Устройства "умного дома", включая системы освещения, камеры видеонаблюдения и термостаты, используют микроконтроллеры для обнаружения, обработки данных и беспроводной связи, что позволяет этим устройствам работать автономно или управляться удаленно с помощью смартфонов или голосовых команд.

- Промышленные системы и автоматизация.

Микроконтроллеры являются неотъемлемой частью промышленной автоматизации, повышая эффективность, безопасность и производительность производственных процессов. Они управляют роботизированными манипуляторами, конвейерными системами и отслеживают условия окружающей среды на промышленных объектах. Их точность и надежность поддерживают реализацию сложных алгоритмов управления, необходимых для систем промышленной

автоматизации, повышая оптимизацию процессов и энергоэффективность.

- Автомобильная промышленность и транспорт.

Автомобильный сектор широко использует микроконтроллеры для широкого спектра применений, от систем управления двигателем и тормозами до информационно-развлекательных систем и передовых систем помощи водителю (ADAS). Они позволяют современным транспортным средствам обеспечивать более высокий уровень безопасности, эффективности и комфорта за счет обработки данных с различных датчиков и исполнительных механизмов в режиме реального времени, обеспечивая оптимальную производительность и оперативность реагирования в различных условиях вождения.

- Медицинские приборы и здравоохранение.

В здравоохранении микроконтроллеры играют важнейшую роль в устройствах диагностики, лечения и мониторинга. Они используются в носимых медицинских мониторах, системах доставки лекарств и сложном оборудовании для визуализации, таком как аппараты МРТ и УЗИ. Микроконтроллеры управляют сбором данных, обработкой сигналов и функциональными возможностями пользовательского интерфейса, способствуя прогрессу в медицинской диагностике, уходе за пациентами и методологиях лечения.

- Интернет вещей (IoT).

Развитие Интернета вещей в значительной степени обусловлено возможностями микроконтроллеров по обеспечению интеллектуальности, подключаемости и управления повседневными объектами. Эти крошечные, но мощные устройства позволяют превращать обычные устройства в интеллектуальные устройства, способные собирать, обрабатывать данные и обмениваться ими с другими устройствами и облачными сервисами. От интеллектуальных счетчиков и сельскохозяйственных датчиков до промышленных устройств Интернета вещей - микроконтроллеры лежат в основе этой взаимосвязанной экосистемы, обеспечивая более разумное принятие решений, автоматизацию и расширенный опыт пользователей [3].

- Уменьшение габаритов и энергопотребления.

Одной из наиболее значимых тенденций в технологии микроконтроллеров является постоянное уменьшение габаритов и энергопотребления. Достижения в области технологий производства полупроводников позволили производить микроконтроллеры меньшего размера, более энергоэффективные, которые идеально подходят для портативных устройств, где пространство ограничено, а время автономной работы имеет решающее значение.

- Повышение производительности и возможностей.

Микроконтроллеры постоянно становятся более мощными благодаря увеличению скорости процессора, увеличению объема памяти и более совершенным встроенным периферийным устройствам. Это расширение возможностей позволяет использовать более сложные и требовательные приложения, от искусственного интеллекта и машинного обучения в периферийных устройствах до передовых систем управления в режиме реального времени.

- Вопросы безопасности и защиты данных.

Поскольку микроконтроллеры становятся все более подключенными, безопасность становится первостепенной задачей. Защита устройств от несанкционированного доступа и обеспечение целостности данных и конфиденциальности требуют надежных мер безопасности, включая аппаратные средства защиты и защищенные протоколы связи.

- Экологические аспекты использования и утилизации.

Воздействие производства и утилизации микроконтроллеров и электронных устройств на окружающую среду вызывает все большую озабоченность. Предпринимаются усилия по разработке более устойчивых производственных процессов, сокращению отходов и содействию вторичной переработке и ответственной утилизации электронных отходов.

- Будущее микроконтроллеров в электронике.

Будущее микроконтроллеров тесно связано с развитием технологий и потребностями общества. По мере роста требований к более интеллектуальным, подключаемым и устойчивым устройствам микроконтроллеры будут продолжать развиваться, предлагая более мощные вычислительные возможности, улучшенные функции безопасности и повышенную энергоэффективность. Их роль в продвижении современных технологий и электроники, несомненно, будет расширяться, стимулируя инновации во многих отраслях и улучшая качество жизни во все более взаимосвязанном мире.

Микроконтроллеры являются невоспетыми героями электронного мира, стимулирующими инновации и эффективность в широком спектре приложений. Их эволюция и адаптация продолжают вносить значительный вклад в развитие современных технологий и электроники, подчеркивая их незаменимую роль в формировании будущего.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хеннеси, Джон Л., и Паттерсон, Дэвид А. "Архитектура компьютера: Количественный подход" 2007. [Электронный ресурс]. – URL: <https://maltssystem.ru/images/book/Hennessy.Patterson.Computer%20Architecture.A%20Quantitative%20Approach.4th.pdf>

2. Барр, Майкл и Масса, Энтони Дж. "Встраиваемые системы: Архитектура, программирование и проектирование" 2023. [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/375597807\\_Embedded\\_Systems\\_Architecture\\_Programming\\_and\\_Design\\_by](https://www.researchgate.net/publication/375597807_Embedded_Systems_Architecture_Programming_and_Design_by)

УДК 004.048

**БЕРЕЖНОВ А.Д., СКВОРЦОВ С.В.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ПО СЛОЯМ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

*Рассматриваются особенности алгоритмов распределения проводников по слоям многослойной печатной платы, сравнивается их эффективность, указываются достоинства и недостатки, а также приводятся рекомендации по применению.*

В современной электронной индустрии многослойные печатные платы (МПП) являются ключевым компонентом большинства высокопроизводительных устройств. От эффективности распределения проводников по слоям зависят такие критически важные характеристики, как скорость передачи сигналов, электромагнитная совместимость и тепловое рассеяние [1, 2].

Многослойные печатные платы состоят из нескольких слоев меди, разделенных изоляционными слоями. Каждый слой содержит проводники, которые могут быть соединены с другими слоями через переходные отверстия. При разработке алгоритмов распределения проводников по слоям МПП необходимо учитывать следующие основные особенности и требования.

Интерференция сигналов. Проводники на разных слоях должны быть размещены таким образом, чтобы минимизировать взаимное воздействие сигналов с целью уменьшения помех и обеспечить надежную передачу данных.

Тепловые характеристики. Правильное распределение проводников способствует более эффективному распределению тепла

по плате, что снижает риск перегрева и повышает надежность устройства.

Минимальная площадь проводников. Эффективное использование пространства на каждом слое позволяет уменьшить общий размер платы, что важно для компактных устройств.

Сокращение числа перекрывающихся проводников. Перекрытия между проводниками на разных слоях должны быть минимизированы, чтобы предотвратить короткое замыкание и обеспечить правильную изоляцию.

Таким образом, одной из главных задач проектирования МПП является минимизация перекрестных помех и обеспечение эффективного электромагнитного экранирования между сигнальными линиями, что требует тщательного планирования расположения проводников и земляных слоев. Кроме того, с увеличением частоты сигналов возрастает важность уменьшения паразитных индуктивностей и ёмкостей, что делает задачу ещё более сложной.

*Алгоритмы распределения проводников по слоям МПП.* Традиционные подходы, основанные на интуиции и опыте инженеров, уже не способны справиться с возросшей сложностью современных МПП, что вызывает необходимость применения алгоритмических методов оптимизации.

Жадные алгоритмы представляют собой метод решения оптимизационных задач, который стремится к локально оптимальному решению на каждом этапе с надеждой найти глобальный оптимум. При проектировании МПП жадные алгоритмы могут быть использованы для распределения проводников по слоям, оптимизации маршрутизации сигналов и размещения компонентов [3, 4].

Основными достоинствами жадных алгоритмов являются простота реализации и быстрое получение решений, причем для некоторых задач, где глобальный оптимум совпадает с последовательностью локальных оптимумов, жадные алгоритмы могут быть очень эффективны.

К недостаткам жадных алгоритмов относят:

- негарантированность глобального оптимума, т.е. локально оптимальные решения не всегда приводят к глобальному оптимуму;
- сложность обработки зависимостей, возникающих при разработке МПП, где множество компонентов и проводников могут взаимодействовать сложным образом, что затрудняет эффективное применение жадных алгоритмов без предварительной обработки или упрощения задачи;

- возможность возникновения ситуаций, когда алгоритм "застревает" в локальном экстремуме и не может найти более качественное решение.

Методы, основанные на спектральной теории графов, представляют собой мощный инструмент для анализа и оптимизации структур, которые можно представить в форме графа. Эти методы используют собственные значения и собственные векторы матрицы смежности или лапласиана графа для решения различных задач, включая разбиение, оптимизацию расположения компонентов и минимизацию длины проводников. Основными особенностями методом этой группы являются:

- глобальная оптимизация (спектральные методы учитывают всю структуру графа, обеспечивая глобальное решение оптимизационных задач, что особенно важно при проектировании МПП для достижения оптимального распределения проводников и компонентов);

- визуализация и кластеризация, т.е. возможность визуализации сложных графов путём уменьшения размерности, а также кластеризации вершин графа, что может помочь в разбиении МПП на функциональные блоки или слои;

- гибкость, обеспечивающая адаптацию методов к различным типам задач оптимизации, изменяя способы расчёта и интерпретации собственных значений и векторов матриц графа.

К достоинствам спектральных методов относятся универсальность (подходят для широкого спектра задач, связанных с оптимизацией расположения проводников), возможность оптимизации комплексных структур (позволяют оптимизировать сложные многослойные структуры, учитывая множество факторов), а также точность и качество решений за счет глобального анализа структуры графа.

Недостатками спектральным методов являются большая вычислительная сложность (расчет собственных значений и векторов для больших матриц может быть вычислительно затратным, особенно для очень больших графов, характерных для сложных МПП), трудности в интерпретации решений, что может потребовать дополнительной обработки или адаптации полученных результатов для конкретных проектных задач, а также зависимость от модели, так как качество решения сильно зависит от точности моделирования МПП в виде графа и может включать сложное представление электрических и физических свойств компонентов и связей.

Генетические алгоритмы (ГА) представляют собой мощный инструмент оптимизации и поиска решений, основанный на

принципах естественного отбора и генетики. Их применение в проектировании МПП открывает новые возможности для автоматизации и оптимизации процесса размещения и трассировки проводников, особенно когда речь идет о сложных, высокоплотных дизайнах.

В ГА каждое потенциальное решение представлено в виде "хромосомы", которая может кодировать расположение компонентов на плате, пути трассировки и распределение по слоям [5, 6]. Это позволяет одновременно учитывать множество параметров проекта. Алгоритм выбирает "родителей" с лучшими характеристиками (например, меньшей длиной трасс или меньшим количеством пересечений проводников) для создания "потомства", которое может наследовать их положительные качества. Это способствует поиску оптимальных решений.

Случайные изменения в хромосомах (мутация) могут привести к неожиданным, но эффективным конфигурациям проводников и компонентов на плате, выходящим за рамки начального набора решений. Генетические алгоритмы хорошо адаптируются к изменяющимся условиям проектирования, таким как добавление новых компонентов или изменение требований к электромагнитной совместимости.

Достоинства применения ГА в проектировании МПП: гибкость, т.е. способность обрабатывать большое количество переменных и ограничений одновременно; новаторские решения, (мутации могут привести к нестандартным, но эффективным решениям); постепенное улучшение решений путем естественного отбора способствует высокой степени оптимизации; масштабируемость, означающая способность адаптироваться к проектам разного масштаба и сложности.

Недостатки ГА в проектировании МПП: для достижения оптимальных решений может потребоваться значительное количество времени и вычислительных ресурсов; неопределенность решений, т.е. ГА не гарантируют нахождение абсолютного оптимума, причем результаты могут варьироваться при каждом запуске; сложность настройки ГА, поскольку эффективность алгоритма сильно зависит от правильного выбора параметров, таких как размер популяции, вероятность мутации и способ кроссовера.

Метаэвристические методы представляют собой широкий класс алгоритмов для решения оптимизационных задач, которые особенно эффективны в условиях, когда традиционные подходы не способны найти приемлемое решение в разумные сроки. Эти методы

применяются для различных целей, включая распределение проводников по слоям МПП, оптимизацию размещения компонентов и минимизацию длины соединений [7].

К основным особенностям метаэвристических методов относятся гибкость, т.е. возможность применения к широкому спектру задач без необходимости их значительного изменения или адаптации под конкретные условия задачи, универсальность, т.е. способность находить решения для очень сложных задач оптимизации, которые встречаются в проектировании МПП, а также направленность на поиск глобального экстремума функции цели, минимизирующая риск застревания в локальных экстремумах.

Достоинства метаэвристических методов в проектировании МПП: способность эффективной обработки сложных задач с большим количеством переменных и ограничений; нетребовательность к форме представления задачи (в отличие от многих классических методов оптимизации, метаэвристики не требуют специфической формы функции цели или ограничений, например, линейности); адаптивность, которая позволяет алгоритму настраиваться в процессе поиска для улучшения качества решения.

Недостатки: метаэвристики отыскивают приближенные решения, что не гарантирует нахождения абсолютно оптимального решения задачи; для достижения высокого качества решения, особенно в случае сложных МПП, могут требоваться значительные затраты времени; эффективность метаэвристического алгоритма часто зависит от правильного выбора его параметров, что может потребовать дополнительных знаний и времени на эксперименты для тонкой настройки алгоритма.

Выбор алгоритма распределения проводников по слоям МПП зависит от специфики задачи, доступных ресурсов и требований к проекту. Генетические и метаэвристические методы подходят для сложных задач с высокими требованиями к качеству решения, но требуют значительных вычислительных ресурсов.

Жадные алгоритмы и методы, основанные на спектральной теории графов, предлагают более простые и быстрые решения, но могут быть ограничены в способности находить оптимальное распределение в сложных случаях. Оптимальный выбор будет зависеть от конкретных целей проекта, его сложности и доступных ресурсов.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств. – М.: Советское радио, 1977. – 384 с.
2. Федулова А.А., Устинов Ю.А., Котов Е.П., Шустов В.П., Явич Э.Р. Технология многослойных печатных плат. – М.: Радио и связь, 1990. – 208 с.
3. Пичутин А В., Горелик А. А., Непомнящих А. В. Алгоритм размещения соединений в многослойных печатных платах // Вестник Удмуртского университета. Серия 1: Математика. Механика. Компьютерные науки. 2015. № 25(2). С. 243-255.
4. Тим Рафгарден. Совершенный алгоритм. Жадные алгоритмы и динамическое программирование. – СПб.: Питер, 2020. – 256 с.
5. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы и их применение. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 242 с.
6. Лебедев Б.К., Воронин Е.И. Генетический алгоритм распределения соединений по слоям при многослойной глобальной трассировке СБИС // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. 2012. № 7. С. 14-22.
7. С. Н., Яшина Н. И., Кошелев Е. В., Иванов А. А. Метаэвристические алгоритмы в управлении инновациями: монография. – Нижний Новгород: ООО “Печатная Мастерская РАДОНЕЖ”, 2023. – 200 с.

УДК 004.9

**БЛАГОДАРОВ Е.А.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ТОПЛИВА ТЕПЛОВЗОВ**

*Рассматривается проектирование программного обеспечения системы.*

Проблема излишнего расхода топлива в депо локомотивов является важной и серьезной проблемой для РАО РЖД. Это может привести к значительным финансовым убыткам, а также к увеличению операционных расходов на транспортировку и хранение топлива.

Одной из основных причин излишнего расхода является недостаточная система контроля. В большинстве депо локомотивов отсутствуют эффективные системы контроля уровня топлива, что

может привести к утечкам топлива при поломках и случаям хищения топлива.

Для решения этой проблемы в депо локомотивов необходимо внедрить систему дистанционного контроля уровня топлива, что позволит операторам контролировать уровень топлива в реальном времени.

Основная программная часть системы представляет собой web-приложение, построенное по архитектуре клиент-сервер. Web-приложение размещается на внешнем хостинге. Общая структура взаимодействия клиента и сервера представлена на рисунке 1.

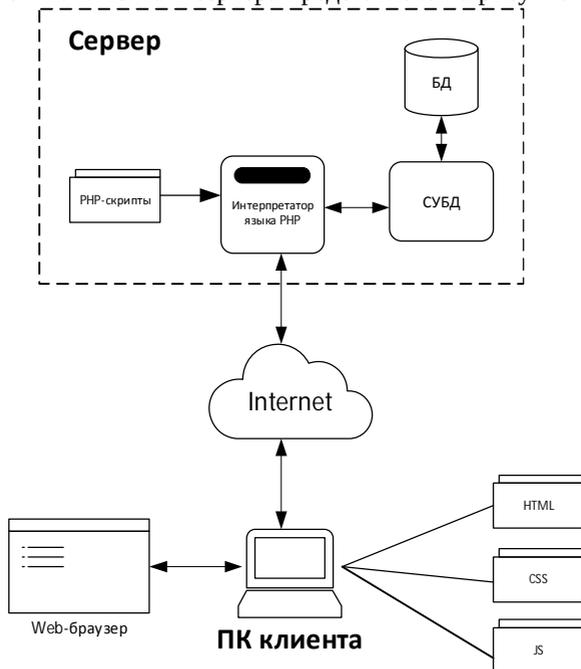


Рисунок 1 – Структура взаимодействия клиент-сервера

Программа веб-сервер с поддержкой скриптового языка, серверные скрипты, СУБД и БД располагаются на веб-сервере хостинг-провайдера. Пользователь заходит на сайт с помощью веб-браузера, подключив свой ПК к сети Интернет.

При отладке и тестировании веб-приложение может быть расположено на локальном компьютере (рисунок 2). Веб-сервер с поддержкой скриптового языка, серверные скрипты, БД и веб-браузер

размещаются на ПК, подключение к сети Интернет при этом не обязательно.

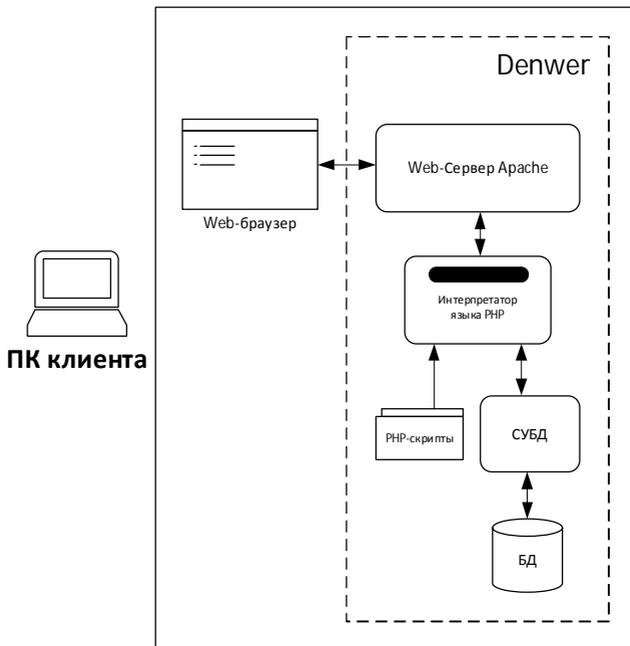


Рисунок 2 – Структура размещения сайта на локальном компьютере

Проектирование сайта на уровне стратегии включает определение целей, задач и потребностей сайта, а также разработку плана действий для достижения этих целей. Этот уровень проектирования включает в себя следующие этапы:

1. Анализ бизнес-целей (результатом анализа являются задачи, рассмотренные в разделе «Постановка задачи» проекта).

2. Изучение целевой аудитории. Так как данная система предназначена лишь для работы внутри депо, то пользователями данной системы являются только операторы, которые будут обрабатывать полученные данные.

3. Определение функциональности сайта. На рисунке 3 показана диаграмма прецедентов (Use Case Diagram) в нотации UML, которая отображает потребности пользователей.

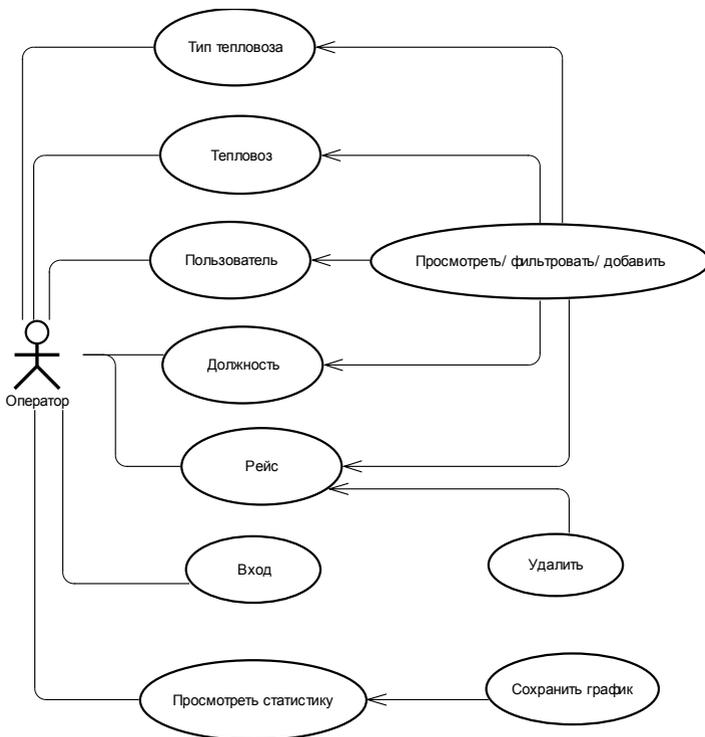


Рисунок 3 – Диаграмма прецедентов функциональности сайта

Так как разрабатываемый сайт является небольшим, а функционал не требует сложной логики, то разделение на frontend и backend является избыточным.

Physical Data Model (PDM), физическая модель БД – это описание базы данных на уровне физических объектов (с учетом особенностей выбранной СУБД), таких как таблицы, индексы, хранилища данных и другие элементы, которые используются для хранения и обработки данных (рисунок 4).

На основе полученной физической модели сгенерирован SQL-скрипт для развертывания БД на сервере.

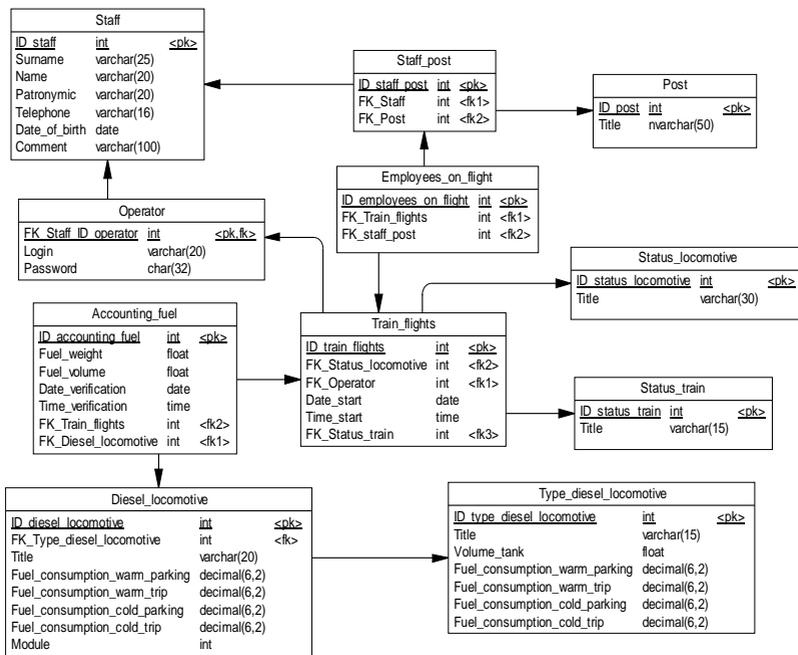


Рисунок 4 – Физическая модель данных

Использование ОРС-сервера для подключения ПЛК к программе контроля натекания расплава на центрифугу при производстве минеральной ваты является эффективным решением для обеспечения стабильности и надежности производственного процесса.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Петров И.С., Козлов А.Н. Автоматизация систем контроля уровня топлива в железнодорожных тепловозах. – Москва: Транспортное издательство, 2018.
- Федоров Н.Н., Григорьев Е.М. Системы дистанционного контроля и мониторинга в транспортной отрасли. Учебное пособие. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020.
- Расчет расхода топлива тепловозом: [Электронный ресурс]. URL: <https://poisk-ru.ru/s18674t17.html>.

УДК 004.9

**БЛАГОДАРОВ Е.А.**Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ  
КОНТРОЛЯ ТОЧКИ НАТЕКАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ  
ПРОИЗВОДСТВЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ**

*Рассматривается применение OPC-сервера для связи с программируемым логическим контроллером.*

Разработка программного обеспечения для системы контроля точки натекания расплава при производстве минеральной ваты является важным аспектом автоматизации процесса и обеспечения качества продукции. Основная задача ПО состоит в нахождении точки падения расплава, определении правильности данной точки и корректировка направления струи.

Регулировка направления струи производится с помощью специального устройства – программируемого логического контроллера (ПЛК).

ПЛК – это специализированное устройство, используемое для автоматизации и управления различными производственными процессами. ПЛК является центральным элементом в системах автоматизации, обеспечивая контроль и управление различными устройствами, механизмами и производственными линиями. Он обрабатывает входные сигналы от датчиков, принимает решения в соответствии с программой управления и управляет выходными устройствами (например, моторами, клапанами, световыми индикаторами).

Задача разрабатываемой системы читать/отправлять необходимые команды с ПЛК. Одним из удобных способов взаимодействия клиентского приложения с ПЛК является OPC-сервер.

OPC (OLE for Process Control) сервер – это программное обеспечение, которое предоставляет возможность обмена данными между различными системами автоматизации и управления процессами. OPC сервер является ключевым компонентом в промышленной автоматизации, так как он обеспечивает стандартизированный способ обмена данными между различными устройствами и системами.

OPC серверы обычно используют протокол OPC для обмена данными. Протокол OPC (OLE for Process Control) был разработан

Microsoft для обеспечения стандартизированного способа обмена данными между различными устройствами и системами в промышленной автоматизации. OPC серверы могут работать с различными типами устройств, такими как контроллеры, датчики, приводы и другие устройства, и обеспечивать обмен данными между ними.

Одним из ключевых преимуществ OPC серверов является их способность обеспечивать стандартизированный интерфейс для обмена данными, что упрощает интеграцию различных устройств и систем в промышленной среде. OPC серверы также обеспечивают защиту данных и безопасность обмена данными, что делает их надежным и безопасным решением для автоматизации процессов.

OPC серверы играют важную роль в промышленной автоматизации, обеспечивая стандартизированный и безопасный способ обмена данными между различными устройствами и системами. Они помогают улучшить эффективность и надежность производственных процессов, а также упрощают интеграцию новых устройств и систем в промышленной среде.

ПЛК должен быть подключен к OPC-серверу посредством соответствующего интерфейса (например, Ethernet, RS-232). При этом данные из ПЛК будут передаваться на OPC-сервер.

Для подключения ПЛК к программе контроля натекания расплава на центрифугу при производстве минеральной ваты можно использовать Multi Protocol MasterOPC Server.

Multi Protocol MasterOPC Server – это ПО, которое позволяет устанавливать связь между ПЛК и компьютером, на котором запущена программа контроля процесса. С его помощью можно настроить обмен данными между устройствами различных производителей и различными протоколами связи.

Для подключения ПЛК к программе контроля натекания расплава на центрифугу при производстве минеральной ваты через Multi Protocol MasterOPC Server необходимо выполнить следующие шаги:

1. Установить и настроить Multi Protocol MasterOPC Server на компьютере, который будет использоваться для контроля процесса.
2. Настроить соединение между ПЛК и компьютером, используя необходимые настройки протокола связи.
3. Создать соответствующие теги в программе контроля процесса, которые будут отражать данные с ПЛК о натекании расплава на центрифугу.

4. Установить связь между тегами в программе и данными, полученными от ПЛК через Multi Protocol MasterOPC Server.

После выполнения всех этих шагов ПЛК будет успешно подключен к программе контроля натекания расплава через Multi Protocol MasterOPC Server. Это позволит эффективно контролировать процесс производства и оперативно реагировать на изменения в нем. На рисунке 1 показаны настройки OPC-сервера, его конфигурация.

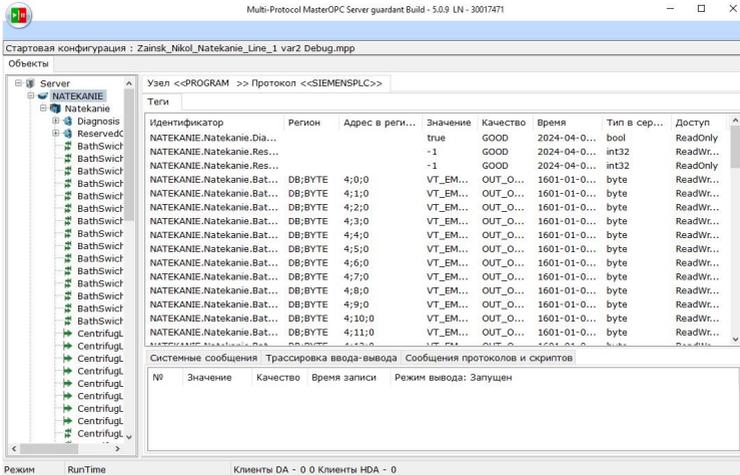


Рисунок 1 – Конфигурация OPC-сервера

Для чтения данных в клиентском приложении (язык разработки –C#) можно использовать библиотеку *TitaniumAS.Opc.Client*. Сначала происходит подключение к серверу OPC, затем чтение данных происходит с помощью специальных тегов (листинг 1).

Листинг 1 – Код подключения клиентского приложения к OPC-серверу

```
class Program
{
    static void Main(string[] args)
    {
        // Создание экземпляра OPC DA клиента
        using (var server = new OpcDaServer("InSAT.Multi-
        ProtocolMasterOPCServer.DA"))
        {
            // Подключение к серверу
            server.Connect();
            // Создание нескольких тегов для чтения
            var tagsToRead = new[]
            {
                "Channell1.Device1.Tag1", // пример тега 1
            }
        }
    }
}
```

```
        "Channell.Devicel.Tag2" // пример тега 2
    };
    // Чтение значений тегов
    var values = server.Read(tagsToRead);
    // Вывод результатов
    foreach (var value in values)
    {
        Console.WriteLine($"Tag: {value.ItemName},
Value: {value.Value}");
    }
    // Отключение от сервера
    server.Disconnect();
}
}
```

Использование OPC-сервера для подключения ПЛК к программе контроля натекания расплава на центрифугу при производстве минеральной ваты является эффективным решением для обеспечения стабильности и надежности производственного процесса.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федоров Н.Н., Григорьев Е.М. Автоматизация производства минеральной ваты. Учебное пособие. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019.
2. Логинов И.С., Петров С.В. Программирование логических контроллеров в системах промышленной автоматизации. – Москва: Техника, 2017.
3. OPC сервер: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.reallab.ru/bookasutp/9-programmnoe-obespechenie/9-2-ors-server/>.

УДК 004.422.81

**БОРЗЫХ Д.А.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА КОМПОНОВКИ НА ОСНОВЕ СПИСКОВ ST-RST

*Рассматриваются вопросы разработки программы для реализации последовательного алгоритма компоновки на основе списков ST-RST.*

Последовательные алгоритмы являются одним из способов решения задачи компоновки электронных средств. Задача заключается в распределении элементов по блокам, komponующим схему. Эффективная компоновка позволяет получить малое количество межблочных связей, что уменьшает сложность и увеличивает быстродействие схемы. Суть последовательных алгоритмов заключается в последовательном заполнении блоков еще не распределенными элементами по различным критериям. Особенность алгоритма на основе списков ST-RST – использование в качестве исходных данных списка цепей по элементам ST и списка разделителей RST.

Программная реализация выполнялась на языке программирования Python. Для создания пользовательского интерфейса использовалась библиотека PyQt. PyQt — набор расширений графического фреймворка Qt для языка программирования Python, выполненный в виде расширения Python. PyQt обеспечивает доступ к функциональности Qt через Python, что делает разработку GUI-приложений более удобной и эффективной для разработчиков, знакомых с Python. Установка PyQt производится в командной строке командой `pip`. Разработка интерфейса производилась в программе Qt Designer. Qt Designer — кроссплатформенная свободная среда для разработки графических интерфейсов для программ, использующих библиотеку Qt. После создания интерфейса полученный файл с расширением “.ui” необходимо конвертировать в файл с расширением “.py” при помощи команды консоли `ruic`. Конвертированный файл содержит в себе класс интерфейса окна, который необходимо наследовать для вывода на экран. После создания интерфейса в программе Qt Designer было получено следующее дерево элементов интерфейса (рисунок 1).

Для решения задачи необходимо иметь конфигурацию схемы. Для чего в интерфейсе присутствует рабочее поле, на котором с использованием кнопок можно создать необходимую конфигурацию схемы. Рабочее поле представляет собой виджет, для которого определен класс `QRixmap`. Класс `QRixmap` – класс, используемый для работы с изображениями, его также можно использовать в качестве устройства для рисования.

Объект	Класс
MainWindow	QMainWindow
centralwidget	QWidget
label	QLabel
label_2	QLabel
label_3	QLabel
label_4	QLabel
label_5	QLabel
label_6	QLabel
lineEditP	QLineEdit
lineEditRES	QLineEdit
lineEditRST	QLineEdit
lineEditS	QLineEdit
lineEditST	QLineEdit
pushButton	QPushButton
pushButtonC	QPushButton
pushButtonGET	QPushButton
pushButtonR	QPushButton
menubar	QMenuBar
menu	QMenu
action	QAction
action_2	QAction
menu_2	QMenu
разделитель	QAction
statusbar	QStatusBar

Рисунок 1 – Дерево элементов интерфейса

Для рисования на виджете использовался класс QPainter. Класс QPainter – класс, используемый для формирования изображений на устройствах, поддерживающих графику, таких как QPixmap или виджеты. С помощью данного класса в рабочем поле происходит рисование элементов, цепей и текста.

Для рисования необходимо создать объект данного класса и в конструктор передать виджет, на котором будет происходить рисование. При помощи функции setPen() можно задать свойства рисования, такие как цвет, толщина и тип линий, для этого в функцию требуется передать объект класса QPen. После завершения работы с объектом класса QPainter необходимо вызвать функцию end().

Для того, чтобы изменения отобразились на экране необходимо вызвать функцию update() класса окна.

Для рисования создана функция drawAllRects, в которой происходит рисование всех элементов рабочего поля данным записанным в переменных. Функция drawAllRects вызывается каждый раз, когда в рабочем поле произошло изменение.

Были переопределены функции mousePressEvent и mouseMoveEvent, вызываемые при нажатии и перемещении мыши соответственно. Функция mousePressEvent получает координаты

нажатия и в зависимости от значения переменных выполняет следующие действия:

- Создание нового элемента;
- Выбор элементов входящих в цепь;
- Обработка нажатия на элемент или цепь.

Функция `mouseMoveEvent` получает координаты курсора в текущий момент, и если уже выбран какой либо элемент, то выполняет его перемещение, в ином случае проверяет координаты на попадание по какому либо элементу и выполняет его перемещение.

Переопределена функция `keyPressEvent`, вызываемая при нажатии любой кнопки на клавиатуре. Функция выполняет проверку, и если нажата кнопка `Del` и выбран какой либо элемент или цепь, то осуществляет удаление соответствующего элемента или цепи.

В программе реализована возможность сохранения и загрузки конфигурации. Для этого в строке меню создан пункт «Файл», в котором находятся два пункта – «Сохранить» и «Загрузить». При нажатии на них выполняется сохранение или загрузка основных переменных, отвечающих за конфигурацию схемы. При нажатии на кнопки производится создание и вызов объекта класса `QFileDialog`, позволяющего выбирать файлы на диске.

В результате разработки программы был создан пользовательский интерфейс, представленный на рисунке 2.

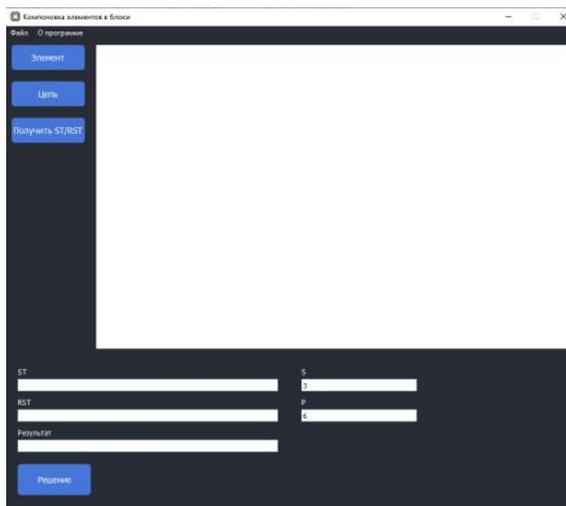


Рисунок 2 – Интерфейс программы

Решение осуществляется по спискам ST-RST, полученным из созданной или загруженной схемы. Пример работы программы приведен на рисунке 3.

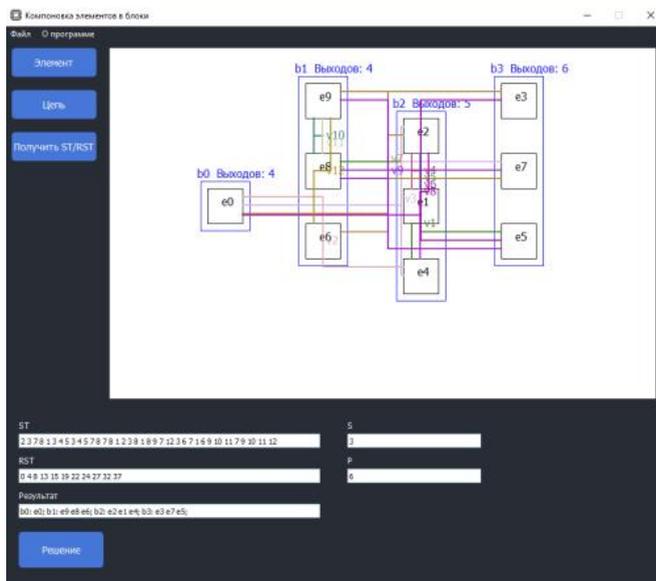


Рисунок 3 – Результат решения задачи в программе

В программе был реализован вывод информационных сообщений. Для этого описан класс CustomDialog, наследующий класс QDialog и принимающий на вход текст сообщения.

В статье рассмотрены особенности разработки интерфейса программы, реализующей последовательный алгоритм компоновки на основе списков ST-RST. Рассмотрена реализация интерфейса программы с использованием библиотеки PyQt.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сапрыкин А.Н. Алгоритмические методы автоматизации конструирования электронных средств: учебное пособие – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 116 с.

2. Andrew Steele PyQt5 Tutorial Documentation: 2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://pyqt5.files.wordpress.com/2017/06/pyqt5tutorial.pdf>.

УДК 004.422.81

**БОРЗЫХ Д.А.**Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина**ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РЕГИСТРАЦИИ ПЕРВИЧНОЙ  
СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ МОРСКОГО  
ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА***Рассматриваются вопросы разработки программы для регистрации первичной сейсмоакустической информации морского геофизического комплекса.*

В настоящее время возрос интерес к исследованиям морских акваторий для изучения строения морского дна и разведки запасов углеводородного сырья. Исследования проводятся с использованием специальных геофизических комплексов. Задачей является получение и обработка информации, получаемой с регистрирующей аппаратуры. В данной статье рассматривается разработка модуля регистрации первичной сейсмоакустической информации для последующей обработки программными средствами.

Получение информации необходимо производить с сейсмических кос. Сейсмическая коса (сейсмокоса) – мобильная система сейморазведки, включающая в себя гидрофоны, которые последовательно соединены секциями кабеля в одну линию приема. Сейсмические косы являются важным инструментом в сейморазведке, используемые для генерации сейсмических волн и записи их отражений от подземных геологических структур. Эти данные используются для создания изображений подповерхностных слоев Земли и поиска месторождений полезных ископаемых, таких как нефть и газ.

Существует два типа сейсмокос – вибрационные и ударные. Первые используют вибраторы, установленные на тяжелых опорных плитах, для создания сейсмических волн, а вторые используют взрывчатые вещества или другие источники энергии для генерации сейсмических волн.

Сейсмокосы буксируют или располагают ниже уровня поверхности моря в районе места расположения исследовательского судна. Гидрофоны представляют собой датчики, преобразующие сигнал отраженной волны в электрический сигнал. Секции состоят из нескольких датчиков и аналого-цифровых преобразователей, преобразующих входной цифровой сигнал с датчиков в дискретный код. Каждая секция также содержит коммутатор, передающий

информацию с датчиков, и контроллер секции, через который осуществляется конфигурирование коммутатора. Секции последовательно передают первичную сейсмоакустическую информацию в центр обработки по основному и резервному каналам. Сейсмокоса состоит из большого количества секций (до 120 шт.), максимальная длина сеймокосы может достигать шести километров.

Сейсмическая коса работает следующим образом:

- Источник вибрации или взрывное устройство генерирует сейсмические волны, которые распространяются через землю.
- Сейсмические волны отражаются от подземных геологических структур и регистрируются геофонами.
- Сигналы от гидрофонов собираются системой сбора данных.
- Система управления синхронизирует генерацию волн и запись данных.

Сейсмические косы используются для поиска и разведки месторождений нефти и газа, изучения геологической структуры Земли, инженерных исследований и археологии. Сейсмические косы могут предоставлять детальные изображения подземных слоев Земли, помогая геологам и геофизикам лучше понять геологическое строение и распределение ресурсов.

Сейсмическая разведка является неинвазивным методом, который не требует бурения или раскопок, что делает его более экологичным и экономичным по сравнению с другими методами разведки полезных ископаемых. Сейсмические косы могут использоваться в различных геологических условиях и для исследования различных целей, что делает их универсальным инструментом для изучения подповерхности Земли. По мере развития технологий сейсмические косы продолжают совершенствоваться, предоставляя еще более точные и подробные данные о подповерхности нашей планеты.

Полученные первичные сейсмоакустические данные преобразуются в специальный формат SEG-D, потому что исходный формат первичной сейсмоакустической информации является слишком большим для хранения и обмена. Формат SEG-D - это промышленный стандартный формат файла данных, используемый в сейсморазведке для обмена данными между различными программными и аппаратными средствами. Он был разработан Обществом геофизиков-разведчиков (SEG) в 1973 году. Последняя его версия была разработана в 2015 году и имеет номер 3.1.

Файл SEG-D имеет следующую структуру:

1) Заголовок файла. Содержит метаданные, такие как информация о трассировке, параметрах записи и координаты.

2) Данные. Данные сейсмических сигналов, дискретизированные во времени.

3) Дополнительные заголовки. Дополнительные метаданные, которые могут включать информацию о местоположении, геологии и параметрах обработки.

Формат SEG-D поддерживается различными программными и аппаратными средствами, что делает его удобным для обмена данными между различными системами. Данный формат позволяет хранить различные типы сейсмических данных, включая 2D, 3D и объёмные данные. Формат SEG-D может обрабатывать большие объёмы данных, что делает его подходящим для сейсмических исследований в крупных масштабах. SEG-D является стандартизированным форматом, что сводит к минимуму вариации в форматах файлов и упрощает обмен данными между поставщиками оборудования и программного обеспечения.

Данный формат широко используется в сейсморазведочной отрасли для обмена данными между различными программными пакетами, хранения и архивирования сейсмических данных, обработки и интерпретации сейсмических данных.

Формат SEG-D является важным стандартом в сейсморазведке, который обеспечивает совместимость данных и упрощает обмен данными между различными системами. Он играет важную роль в обработке и интерпретации сейсмических данных, помогая геофизикам и геологам лучше понять геологическое строение Земли и обнаруживать месторождения полезных ископаемых.

К разрабатываемой программе предъявляются следующие требования:

- Получение первичной сейсмоакустической информации в виде кадров по двум каналам;
- Вывод получаемой информации на экран ЭВМ;
- Построение графиков полученной первичной сейсмоакустической информации;
- Обработка потерь фреймов при передаче;
- Сохранение полученной информации в файл “.frm”;
- Ведение записей о событиях.

Программный модуль разработан на языке программирования C++ с использованием библиотеки Qt. Далее представлен интерфейс программы (рисунки 1):

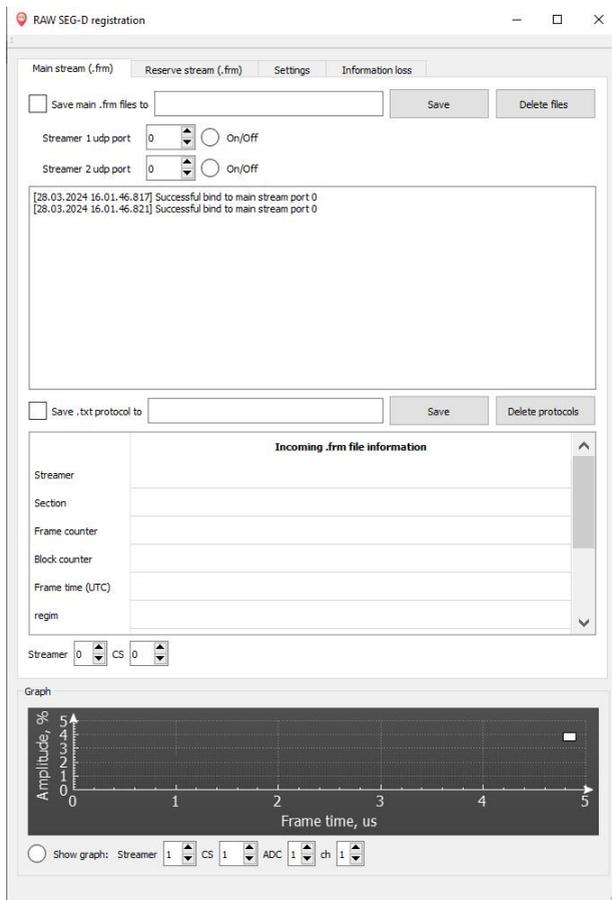


Рисунок 1 – Интерфейс программы

Программа позволяет получать первичную информацию с двух основных и двух резервных каналов. Прием информации осуществляется по протоколам TCP и UDP. Для получения первичной информации с основного и резервного каналов в программе реализована многопоточная обработка с использованием класса QThread. QThread – это класс в библиотеке Qt, который предоставляет возможности многопоточности в C++. Он позволяет создавать и управлять потоками, которые могут выполняться параллельно с основным потоком приложения. Вывод информации производится в класс QTableView, что позволяет избежать задержки в работе программы.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Г.А. Максимов, Д.Н. Денисов, В.А. Ларичев, Д.Н. Лесонен, А.Г. Григорьев, З.А. Корольков Цифровая твердотельная буксируемая сейсмокоса малого диаметра для морской инженерной сейсморазведки. – «Ученые записки физического факультета московского университета № 5», 2017.
2. Шлее М. Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 928 с.
3. Горяинов Н.Н. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии. – Недра, Москва, 1992. – 264 с.

УДК 004.65

**БОЧАРОВА К.Е.**Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ  
КОНСТРУКЦИЙ ИЗДЕЛИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ***Рассматривается исследование параметров (технологий) лазерной резки различных форм конструкций изделий радиоэлектронных средств.*

Своё существование лазерная резка представила на рынке более двух десятилетий тому назад и сейчас она признается одной из лидирующих технологий. Лазерная технология не стоит на месте и продолжает развиваться каждый день. Для лучшего исследования и понимания, а также применения лазерной резки, необходимо тщательно изучать и разбираться в параметрах, а также способах данной технологии.

Лазерная резка представляется популярной технологией резки. Она представляет собой использование мощного сфокусированного лазерного луча для резки разнообразного материала, расплавляя и испаряя его на кромке разреза. Остатки материала, которые образуются после расплавления могут подвергаться механической обработке и очистке после проведенной операции, а также сдуваются струйным газом во время резки. Данный вид резки на сегодняшний день находится на лидирующих ступенях в большинстве промышленных производственных процессах благодаря своим достаточно точным результатам, способности разнообразия обработки материалов разной толщины, превосходной эффективности и экономичности.

Как и в других всевозможных технологиях помимо лазерной резки, настройка и понимание параметров имеют главную роль для получения высококачественной продукции. Правильная и грамотная настройка, а также улучшение параметров лазерной резки дает возможность ее использования в любых отраслях, например, медицине или военной отрасли.

Параметры использования лазера включают в себя: мощность и интенсивность, скорость резки, качество лазерной резки, поляризация луча, длина волны, технологический газ, фокус, а также характеристики используемых материалов. Параметры лазерной резки важны для определения качества реза. Идеальная лазерная резка зависит от использования сразу нескольких параметров, которые прямо или косвенно влияют на качество продукции. Параметры необходимо изменять при работе с различными конструкциями, с различной толщиной и конфигурацией материалов. Будут рассмотрены параметры самого луча: длина волны, тип луча, мощность луча, интенсивность луча, а также поляризация луча.

#### 1. Длина волны лазера

Длина волны лазерного излучения должна находиться в спектральной области, где материал будет иметь самый высокий коэффициент поглощения. Для металлов целесообразно использовать излучение в видимой области спектра. От длины волны зависит зона воздействия лазера  $d$  (диаметр светового пятна в фокальной плоскости), которое находится по формуле:

$$d = 1,22\lambda \frac{f}{D} M^2 \quad (1)$$

где  $f$  - фокусное расстояние объектива;  $D$  – диаметр несфокусированного луча;  $M^2$  – коэффициент, определяющий отличие излучение технологического лазера от идеального гауссовского пучка с минимальной дифракционной расходимостью. Следовательно, чем короче будет длина волны и меньше угловая расходимость лазерного излучения, тем меньше будет диаметр лазерного луча, и тем самым меньше зона воздействия.

#### 2. Мощность и интенсивность лазера

Используемая мощность лазера для лазерной резки будет зависеть от вида материала, толщины используемой заготовки, а также от результатов обработки, которые мы хотим получить. Если стоит задача получения высокой точности при использовании сложной геометрии заготовки, то потребуются уменьшить мощность лазера переходом на импульсный режим. Одним из важных параметров имеет значение и постоянство мощности лазера, который влияет на

стабильность результата резки в течение всего времени обработки заготовки. Для удаления следов расплава и расплавленного материала, необходимо обеспечить высокую мощность лазера, которая должна обеспечить хорошую плотность мощности на поверхности обрабатываемого материала. Для непрерывного режима работы лазера пороговая плотность мощности испарения определяется как:

$$q_n = kT_u \frac{kT_u}{Ar_0} \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(мК);  $T_u$  – температура испарения, К;  $A$  – коэффициент поглощения, 1/м; ( $A=1-R$  ( $R$  – коэффициент отражения));  $r_0$  – радиус поперечного сечения луча в фокальной плоскости, мм. Для лазера, работающего в импульсном режиме:

$$q_n = \frac{kT_u}{2A} \left( \frac{\pi}{\alpha\tau} \right)^{1/2} \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплопроводности;  $\tau$  – длительность лазерного импульса, с. Необходимый уровень мощности лазерного излучения можно определить по формуле:

$$P_{пор} = qS \quad (4)$$

где  $S$  – площадь лазерного пятна в фокусе линзы ( $S = 4\pi r_0^2$ ).

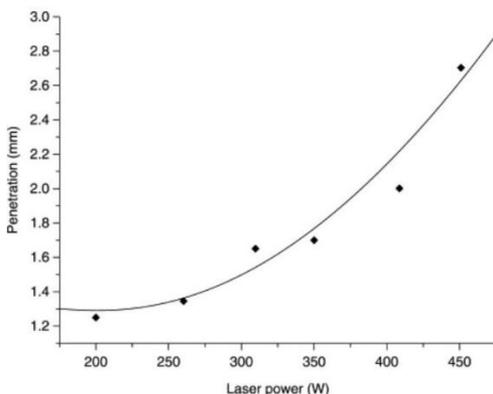


Рисунок 1 – Зависимость распространения от мощности лазера

Мощность лазера и интенсивность лазера могут использоваться вместе, а иногда бывают и взаимозаменяемы. Под мощностью лазера понимается - количество энергии, которая излучается в секунду. Интенсивность лазера подразумевает под собой мощность, деленная на единицу площади используемого материала, которая зависит от

ширины фокуса. Мощные лучи могут привести к сильному рассеиванию тепла по краям реза, из-за чего увеличится ширина пропила. Маломощные лазерные лучи отражаются от поверхностей металлов. Для толстостенных материалов важно использовать мощные лучи, которые проникнут в используемый материал быстрее и глубже.

### 3. Поляризация луча

Поляризации луча представляет ориентацию электрического поля относительно направления распространения.

В зависимости от ориентации самого поля рассматривают круговую, плоскую, случайную и эллиптическую поляризацию. Каждая из видов отражается и поглощается от поверхности в разной степени.

В зависимости от направления резки и поверхности поляризации, поляризация луча влияет на качество получаемого разреза. Меньшая ширину пропила получается, когда резка осуществляется в направлении поляризации (а), по сравнению с резкой под углом 90 градусов к поляризации (с).

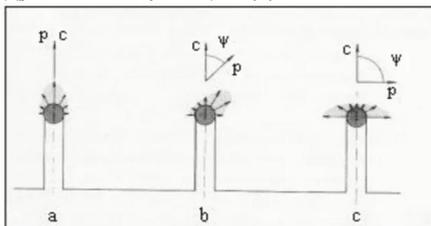


Рисунок 2 – Поверхности поляризации и направление резки

### 4. Фокусное положение относительно поверхности заготовки

Для резки материалов используют команду настройки фокуса (или смещение по оси Z). Важную роль играет расстояние, так как если оно велико или мало, материал не сможет эффективно разрезаться из-за снижения плотности энергии.

При газовой резке конструкционной стали толщиной до 6 мм фокус должен располагаться на поверхности листа, при толщине 8 мм и выше – над поверхностью листа. При резке высокого давления положение фокуса перемещается в лист. Положение фокуса определяется методом контура плазмы (изменения цвета плазмы) или определением минимальной толщины образуемой прорези на материале. На рисунке 3 показано положение фокуса.

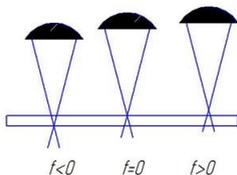


Рисунок 3 – Положение фокуса

Важно, чтобы точка фокусировки располагалась в центре толщины металла. Это необходимо, чтобы лазер не разрезал заготовку неравномерно (сверху вниз) и не образовывал коническую кромку. Увеличение или уменьшение фокусного положения может потребоваться в лазерной гравировке.

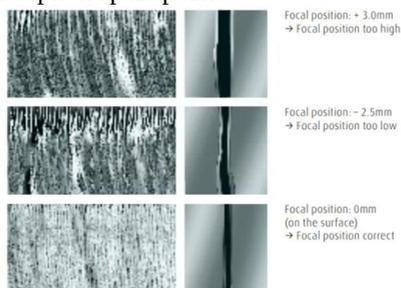


Рисунок 4 – Фокусное положение на материале

Фокусное расстояние определяется в зависимости от толщины материала. Короткое (для тонкой заготовки менее 4 мм) равномерно режет материал. Для толстых материалов важно большее фокусное расстояние и глубина фокуса. Фокусное положение (рисунок 5) необходимо держать неизменным в течении всей обработки металла.

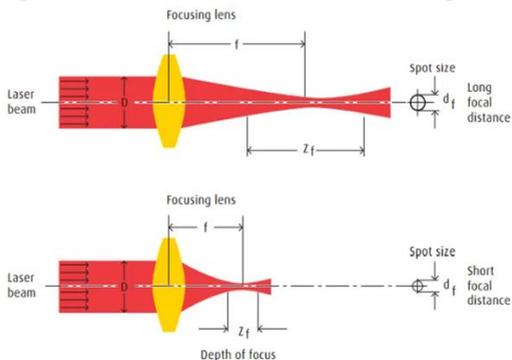


Рисунок 5 – Фокусное положение

Положение фокуса также зависит от формы лазерного луча, режима, загрязнения линзы и температуры охлаждающей воды.

#### 5. Скорость лазерной резки

Скорость резки зависит от материала и толщины заготовки (рисунок 6). Чем толще заготовка и чем выше требуется температура для процесса плавления, тем дольше луч лазерного излучения должен воздействовать на место будущего реза. Сильно завышенная или заниженная скорость резки может привести к повышенной шероховатости, образованию заусенцев, проплавлениям. Скорость зависит и от мощности лазера. Увеличение мощности способствует увеличению скорости резки.

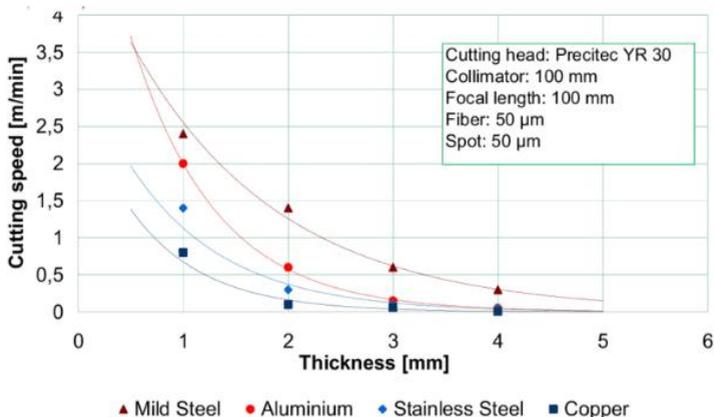


Рисунок 6 – Скорость лазерной резки различных материалов

#### 6. Давление газа и вспомогательные газы

В случае обработки материалов с использованием газа требуемый результат резки определяет вид применяемого газа. Например, при обработке древесины, нельзя использовать кислород, а также и для металла, так как происходит окисление кромок реза. Большое значение имеет качество применяемого газа. Из-за наличия в кислороде воды и азота на кромках реза могут образовываться заусенцы. Давление газа зависит от толщины заготовки материала. При газовой резке тонкие заготовки из металла разделяются лучше под большим давлением, чем толстые заготовки. Это компенсирует недостаток кислорода при больших скоростях резки. При резке высокого давления толстых заготовок используют большое давление газа, чтобы удалить расплавленный материал из прорези. При кислородной резке давление газа уменьшается с увеличением толщины заготовки.

Одной из главных целей вспомогательного газа является защита оптических компонентов от возможных деформаций в процессе их обработки, а также удаление расплавленного материала (металла) с краев

#### 7. Расстояние зазора и диаметр сопла

Расстояние зазора подразумевает под собой расстояние между самой заготовкой и непосредственно соплом. Следовательно, качество достигаемого реза и возможный характер потока будет зависеть расстояния зазора (рисунок 7). Если расстояния между зазорами будут большие, то это может приводить к резким перепадам давления и к высокой турбулентности. Поэтому важно придерживаться расстояния не более 1мм. Несοοсность используемого сопла приводит к порезам, ожогам и дефектам.

Соосно лазерному лучу находится сопло, которое предполагает в себе вспомогательный газ. Его функции предполагают ответственность за стабилизацию давления на используемую поверхность и за подачу вспомогательного газа в область осуществляемого реза. С помощью этого происходит сведение к минимуму разбрызгивание расплавленного металла.

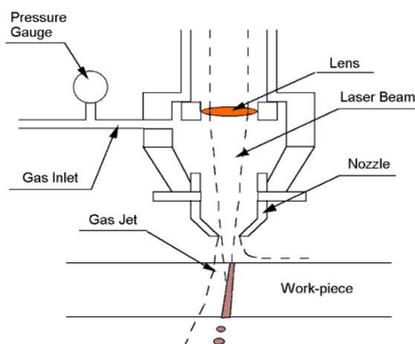


Рисунок 7 – Диаметр сопла и расстояние зазора

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Скрипченко В.И., Скрипченко А.И., Григорьев С.В. Принципы создания и развития лазерных обрабатывающих систем в машиностроении // Вестник машиностроения. – 1988. – № 10.

2. Голубев В.С., Лебедев Ф.В. Лазерная техника и технологии // Кн.2. Инженерные основы создания технологических лазеров. – М.:Высшая школа.1988. – 176 с.

УДК 621.3

**БУЛИМОВ М.Л.**Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина**ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПЛИС  
MODELSIM НА РАЗВИТИЕ КОНСТРУИРОВАНИЯ**

*В данной статье рассматривается влияние среды программирования ПЛИС ModelSim на развитие конструирования в сфере электроники. Современная электроника проникает во все сферы нашей жизни, от бытовых устройств до промышленного оборудования. С каждым годом спрос на новые и более продвинутые электронные устройства только увеличивается. В таком динамичном окружении важно иметь эффективные инструменты для проектирования и разработки электронных систем. Одним из ключевых элементов этого процесса является среда программирования ПЛИС, а ModelSim стал одним из самых широко используемых инструментов в этой области.*

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) представляют собой интегральные схемы, которые можно программировать для выполнения различных функций. Они предоставляют гибкость и высокую производительность при проектировании электронных устройств. Однако для работы с ПЛИС необходимы специализированные инструменты программирования, которые обеспечивают удобное создание, моделирование и отладку схем.

ModelSim – это программное обеспечение для симуляции Verilog, SystemVerilog и VHDL кода. Оно предоставляет интегрированную среду разработки для проектирования и верификации цифровых систем на основе ПЛИС. ModelSim позволяет разработчикам создавать и проверять модели цифровых устройств до их физической реализации, что значительно ускоряет процесс разработки и позволяет выявлять ошибки на ранних этапах.

Ускорение процесса разработки: ModelSim позволяет разработчикам быстро создавать и проверять цифровые системы, что сокращает время, необходимое для разработки новых устройств.

Высокая точность моделирования: благодаря точной симуляции Verilog, SystemVerilog и VHDL кода, ModelSim обеспечивает высокую точность моделирования, что позволяет выявлять и исправлять ошибки на ранних стадиях разработки.

Интеграция с другими инструментами: ModelSim интегрируется с другими инструментами разработки ПЛИС, такими как Quartus Prime

и Vivado, обеспечивая единый рабочий процесс для проектирования и верификации цифровых систем.

Обширные возможности отладки: ModelSim предоставляет разнообразные инструменты для отладки цифровых систем, включая визуализацию сигналов, трассировку и анализ времени выполнения, что упрощает процесс исправления ошибок.

ModelSim широко применяется в различных областях электроники, включая:

**Авиационная промышленность:** В авиационной промышленности ModelSim используется для разработки и верификации авионных систем управления и навигации.

**Телекоммуникации:** В сфере телекоммуникаций ModelSim помогает разработчикам создавать и тестировать цифровые схемы, используемые в сетевых коммутаторах, маршрутизаторах и другом оборудовании.

**Медицинская техника:** В медицинской технике ModelSim применяется для разработки электронных устройств, используемых в медицинских приборах, таких как мониторы пациентов и медицинские сканеры.

С постоянным развитием технологий в области электроники ожидается, что ModelSim будет продолжать играть ключевую роль в процессе разработки цифровых систем на основе ПЛИС. Ожидается, что разработчики будут продолжать улучшать и расширять функциональность ModelSim, чтобы удовлетворять потребности быстроразвивающегося рынка электроники.

Среда программирования плис ModelSim играет важную роль в развитии конструирования в области электроники. Ее преимущества включают ускорение процесса разработки, высокую точность моделирования, обширные возможности отладки [2].

Одним из ключевых преимуществ ModelSim является возможность проведения детальной симуляции и отладки цифровых систем. Это позволяет разработчикам тщательно проверить функциональность своих устройств ещё на этапе проектирования, что значительно сокращает время, затрачиваемое на тестирование и отладку физических прототипов. Благодаря обширным инструментам отладки, таким как трассировка сигналов и анализ временных диаграмм, разработчики могут быстро выявлять и устранять ошибки, что повышает качество и надежность конечного продукта.

С появлением новых технологий и стандартов в области электроники ModelSim продолжает развиваться, предоставляя разработчикам новые возможности для проектирования и

верификации цифровых систем. В частности, последние версии ModelSim внедряют поддержку новых стандартов языков описания аппаратуры (HDL), таких как SystemVerilog, что расширяет функциональность инструмента и обеспечивает большую гибкость при разработке сложных цифровых устройств.

ModelSim имеет широкий спектр областей применения, включая проектирование процессоров, цифровых схем, систем связи и многое другое. С ростом рынка Интернета вещей (IoT), развитием искусственного интеллекта (ИИ) и расширением области применения программно-конфигурируемой логики (FPGA), ModelSim остается востребованным инструментом для разработки новых технологий и устройств.

Несмотря на все преимущества, ModelSim также сталкивается с некоторыми вызовами, такими как увеличение сложности цифровых систем, рост объемов данных и требований к производительности. Для того чтобы оставаться конкурентоспособным, разработчики ModelSim должны постоянно совершенствовать свой продукт, улучшая производительность, расширяя функциональность и обеспечивая совместимость с новыми технологиями.

Среда программирования плис ModelSim играет ключевую роль в развитии конструирования в области электроники. Ее преимущества включают ускорение процесса разработки, высокую точность моделирования, обширные возможности отладки, а также поддержку новых технологий и стандартов. С появлением новых вызовов и возможностей в области электроники, ModelSim остается важным инструментом для разработчиков, помогая им создавать инновационные и надежные цифровые системы.

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) представляют собой тип интегральных схем, в которых логическая функциональность может быть программно настроена и изменена после изготовления. Это отличается от традиционных интегральных схем, где функциональность определяется во время производства и не может быть изменена.

ПЛИС имеют ряд преимуществ, которые делают их неотъемлемой частью современных электронных систем:

**Гибкость:** ПЛИС позволяют разработчикам реализовывать различные цифровые функции, в том числе сложные алгоритмы и обработку сигналов, с помощью программного конфигурирования. Это обеспечивает высокую гибкость в проектировании электронных систем и позволяет быстро адаптироваться к изменяющимся требованиям рынка.

Сокращение времени до выпуска на рынок: Использование ПЛИС позволяет существенно сократить время до выпуска на рынок новых продуктов. Разработчики могут быстро создавать и изменять прототипы, проводить тестирование и внесение изменений в цифровые схемы без необходимости создания новых физических прототипов.

Экономия затрат: ПЛИС позволяют сэкономить на затратах на производство, так как они могут быть использованы для реализации нескольких функций на одном устройстве, что сокращает количество компонентов и общую стоимость системы.

Простота обновления: поскольку функциональность ПЛИС определяется программным образом, их можно легко обновлять и модифицировать даже после выпуска на рынок. Это позволяет расширять возможности устройств и улучшать их производительность без необходимости выпуска новых версий аппаратного обеспечения.

Все эти преимущества делают программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) важным инструментом для разработчиков электроники во многих областях, включая авиацию, телекоммуникации, медицинское оборудование, промышленное управление и многое другое. Они предоставляют гибкость, производительность и экономическую эффективность, необходимые для создания современных электронных систем.

ПЛИС широко используются в различных областях современных технологий благодаря своей гибкости и производительности. Вот несколько областей, где ПЛИС находят свое применение:

Автомобильная промышленность: ПЛИС используются в системах безопасности и управления автомобилями, таких как системы стабилизации, системы помощи при парковке, системы автоматического управления и другие. Они обеспечивают быстрое действие и надежность в критических ситуациях на дороге.

Телекоммуникации: В области телекоммуникаций ПЛИС применяются в сетевых коммутаторах, маршрутизаторах, базовых станциях и другом оборудовании для обработки и маршрутизации сигналов связи. Они обеспечивают высокую производительность и надежность в сетях с высокой пропускной способностью.

Промышленная автоматизация: ПЛИС используются в системах промышленной автоматизации для управления процессами производства, контроля качества, сбора и анализа данных. Они обеспечивают точность и эффективность в производственных операциях [1].

Медицинская техника: В медицинской технике ПЛИС используются в медицинских приборах и оборудовании для

мониторинга пациентов, диагностики заболеваний, проведения медицинских исследований и других приложений. Они обеспечивают точность, надежность и безопасность в медицинских системах.

Интернет вещей (IoT): ПЛИС играют важную роль в развитии Интернета вещей, обеспечивая высокую производительность и энергоэффективность в устройствах с ограниченными ресурсами. Они используются в умных домах, умных городах, промышленных IoT-системах и других приложениях.

Аэрокосмическая промышленность: ПЛИС применяются в аэрокосмической промышленности для управления полетом, навигации, коммуникации и других аспектов космических и авиационных систем. Они обеспечивают высокую надежность и производительность в условиях экстремальных нагрузок и окружающей среды.

Авиационная промышленность: ПЛИС используются в авионике для управления системами авиационной навигации, автопилотов, управления двигателями и других важных аспектов самолетов и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Телекоммуникации: В сфере телекоммуникаций ПЛИС применяются для обработки и маршрутизации сигналов, управления сетями связи, создания средств шифрования и многое другое.

Медицинское оборудование: В медицинском оборудовании ПЛИС используются для создания медицинских измерительных приборов, медицинских сканеров, аппаратов для проведения хирургических операций и других медицинских устройств.

Промышленное управление: В промышленном управлении ПЛИС применяются для автоматизации производственных процессов, управления промышленными роботами, контроля качества продукции и многое другое.

Автомобильная промышленность: ПЛИС используются в автомобильной промышленности для управления системами безопасности, антиблокировочными тормозами (ABS), системами управления двигателем и другими системами автомобилей.

Интернет вещей (IoT): В связи с расширением интернета вещей (IoT) ПЛИС находят применение в умных домах, умных городах, системах контроля за окружающей средой, медицинских устройствах и многих других приложениях.

Таким образом, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) находят широкое применение в современных технологиях, обеспечивая высокую производительность, гибкость и надежность в различных областях, от автомобильной

промышленности до медицинской техники. Их возможности программируемой конфигурации делают их незаменимым инструментом для разработки инновационных и высокотехнологичных устройств.

ModelSim имеет несколько преимуществ, которые делают его предпочтительным выбором для многих разработчиков:

**Обширные возможности симуляции:** ModelSim обеспечивает богатый набор инструментов для симуляции Verilog, SystemVerilog и VHDL кода. Это позволяет разработчикам проводить детальное моделирование поведения цифровых систем и выявлять потенциальные проблемы еще на ранних стадиях разработки.

**Интеграция с другими инструментами:** ModelSim хорошо интегрируется с другими инструментами проектирования ПЛИС, такими как Quartus Prime от Intel и Vivado от Xilinx. Это обеспечивает единый рабочий процесс для разработки и верификации цифровых систем.

**Поддержка различных языков программирования:** ModelSim поддерживает несколько языков описания аппаратуры (HDL), включая Verilog, SystemVerilog и VHDL, что обеспечивает гибкость для разработчиков и позволяет им выбирать наиболее подходящий язык для своих потребностей.

**Высокая точность моделирования:** ModelSim обеспечивает высокую точность моделирования временных и логических характеристик цифровых систем, что позволяет разработчикам создавать надежные и эффективные устройства.

**Обширные возможности отладки:** ModelSim предоставляет разнообразные инструменты для отладки цифровых систем, включая визуализацию сигналов, трассировку выполнения кода, анализ времени выполнения и другие возможности, что упрощает процесс исправления ошибок и повышает качество разрабатываемых устройств.

Эти преимущества делают ModelSim популярным выбором среди разработчиков электроники для создания надежных и эффективных цифровых систем.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Покаместов Д.А. Программирование логических интегральных схем: учебно-методическое пособие / Д.А. Покаместов, Я.В. Крюков, Ж.Т. Эрдынеев. – Москва: ТУСУР, 2021. – 101 с.

2. Строгонов А.В. Реализация алгоритмов цифровой обработки сигналов в базе программируемых логических интегральных схем:

учебное пособие для вузов / А.В. Строгонов. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 352 с

УДК 004.43

**ДЕШОВ В.В.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА В СРЕДЕ QT CREATOR НА ЯЗЫКЕ C++**

*Рассматривается один из вариантов создания программной реализации волнового алгоритма.*

Qt Creator является одной из самых популярных интегрированных сред разработки (IDE) для создания приложений, основанных на фреймворке Qt. Qt Creator предоставляет мощные инструменты для разработки кроссплатформенных приложений с использованием языка программирования C++. В этой статье мы рассмотрим пример программы в этой среде, которая реализует волновой алгоритм трассировки.

C++ - это основной язык программирования для реализации логики алгоритма. C++ предоставляет высокую производительность и возможности низкоуровневого управления, что особенно важно для эффективной работы с графическими данными и алгоритмами.

Qt Creator представляет собой интегрированную среду разработки (IDE) для создания приложений на базе Qt. Qt Creator обеспечивает удобное создание графического пользовательского интерфейса (GUI) с использованием элементов Qt, а также управление проектом, отладку и развертывание.

Qt Framework - мощный фреймворк для разработки кроссплатформенных приложений с графическим интерфейсом. Qt предоставляет богатый набор инструментов для работы с элементами GUI, обработки событий (например, нажатия кнопок, перемещения мыши) и визуализации данных.

Использование Qt Creator и Qt Framework обеспечит нам эффективное создание и разработку приложения с интуитивно понятным пользовательским интерфейсом, а также обеспечит высокую степень гибкости и кросс-платформенности благодаря возможностям Qt.

Создание проекта в Qt Creator: Начнем с создания нового проекта в Qt Creator. Выберем шаблон "Qt Widgets Application", который позволит нам создать приложение с использованием GUI.

Реализация основной логики алгоритма: Напишем классы и функции на C++, которые будут реализовывать волновой алгоритм. Это будет включать в себя логику распространения волны по сетке и определение кратчайшего пути с учетом заданных ограничений.

Интеграция с GUI: Создадим интерфейс в Qt Creator для визуализации сетки и взаимодействия с пользователем. Мы сможем отображать результаты работы алгоритма на графической сетке, позволяя пользователю указывать препятствия на пути.

Тестирование и отладка: Протестируем приложение, запуская его на различных тестовых сценариях. Убедимся, что волновой алгоритм работает корректно, находя кратчайший путь, учитывая все ограничения.

Оптимизация и доработка: Проведем оптимизацию кода и интерфейса при необходимости. Добавим дополнительные функции для улучшения пользовательского опыта.

Наш проект содержит следующие файлы: заголовочные – cell.h и wave.h; исходные – main.cpp, wave.cpp, cell.cpp.

CELL.H – код в этом файле определяет класс Cell, который используется для представления ячеек или точек в некоторой сетке или карте.

WAVE.H – в этом файле представлена реализация методов класса Wave. Компоненты, содержащиеся в нем вместе формируют функциональность класса, который представляет собой часть приложения для поиска пути на карте.

MAIN.CPP – код в этом файле инициализирует и запускает приложение, а также отображает его основной интерфейс, представленный классом Wave.

WAVE.CPP – этот код представляет собой определение методов класса Wave, который является подклассом QMainWindow, представляющим главное окно приложения. Также в нем содержится основная логика приложения, связанная с его интерфейсом и функциональностью работы с картой.

CELL.CPP – в этом файле предоставлена базовая структура данных для представления информации о ячейке на карте или в сетке, включая ее позицию, родительскую ячейку (если есть), значение, индекс и номер итерации. Он используется в контексте алгоритма обхода карты или поиска пути для хранения информации о каждой ячейке.

Qt библиотеки: `QMainWindow`, `QTableWidget`, `QLabel`, `QResizeEvent`. Эти классы предоставляют функциональность для создания графического пользовательского интерфейса в Qt-приложениях.

`QPoint`: Этот класс предоставляет точку в двумерном пространстве.

`QApplication`: Основной класс приложения Qt, управляющий выполнением приложения и обработкой событий.

Стандартные библиотеки C++:

`QList`: Контейнер Qt, представляющий список элементов.

`QString`: Класс Qt для работы со строками.

`QFont`: Класс Qt для управления шрифтами.

`QAbstractItemView`: Абстрактный класс Qt для представления и редактирования данных из модели.

`QTableWidgetItem`: Класс Qt для представления элемента в виджете таблицы.

`QResizeEvent`: Класс Qt для представления события изменения размера виджета.

Стандартные библиотеки C++ STL:

`QList`: Этот класс из Qt внутренне использует STL-контейнеры, такие как `std::list`, чтобы реализовать список элементов.

`QPoint`: Qt обычно использует типы данных STL, такие как `std::pair`, чтобы представлять точки в двумерном пространстве.

При запуске проекта мы видим таблицу, с уже проставленными начальными точками А и В, которые заданы координатами в файле `wave.h` (рисунок 1).

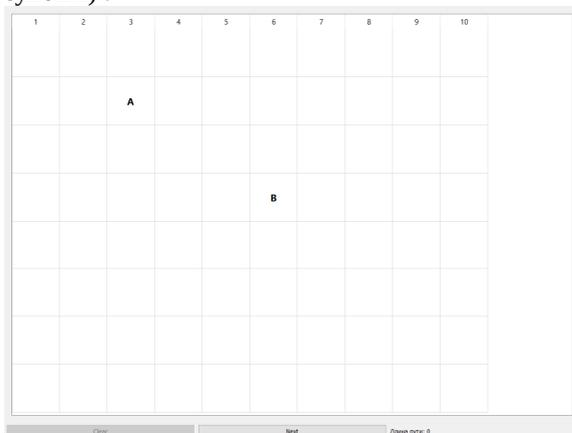


Рисунок 1 – Начало работы программы



УДК 528.526.6

**ДЕШОВ В.В.**Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина**ПРИМЕНЕНИЕ ГИРОСКОПОВ В УСТОЙЧИВОСТИ И  
НАВИГАЦИИ ВЕРТОЛЕТОВ***Рассматривается роль гироскопов в обеспечении безопасности и эффективности полетов вертолетов.*

Вертолеты являются одними из наиболее универсальных воздушных транспортных средств, используемых в широком спектре областей, начиная от гражданской авиации и транспортировки до военных операций, медицинских эвакуаций и спасательных миссий. Однако их эффективное управление и маневрирование требуют высокой степени точности, стабильности и устойчивости в различных атмосферных условиях. В данной статье мы рассмотрим роль гироскопов в обеспечении устойчивости и точной навигации вертолетов, а также их влияние на безопасность и эффективность полетов.

Гироскоп – это устройство, которое используется для измерения и поддержания ориентации объекта в пространстве (рисунок 1). Оно базируется на принципе сохранения углового момента и обеспечивает стабильность и устойчивость объекта во время его движения или поворотов.



Рисунок 1 – Гироскоп

Принцип работы гироскопа основан на законе сохранения углового момента, согласно которому угловой момент объекта остается постоянным в отсутствие внешних воздействий. Гироскоп состоит из вращающегося диска или ротора, оси вращения которого перпендикулярны оси объекта, и подвеса, который позволяет ротору вращаться свободно вокруг своей оси. Когда объект поворачивается,

ротор гироскопа сохраняет свое направление в пространстве, что позволяет гироскопу реагировать на изменения ориентации объекта. Применение гироскопов включает множество областей, включая авиацию, навигацию, морскую и космическую технику, робототехнику, а также медицинские и научные приборы. В авиации и навигации гироскопы используются для обеспечения стабильности и управления полетом воздушных судов, включая вертолеты. Они также широко применяются в автономных системах управления, где обеспечивают точную ориентацию и навигацию объектов в пространстве. Гироскопы бывают разных типов, включая механические, электромеханические, оптические и микроэлектромеханические (MEMS) гироскопы. Каждый тип имеет свои особенности и применение, в зависимости от требований конкретной задачи или области применения. В целом, гироскопы играют важную роль в множестве технических систем, обеспечивая стабильность, точность и управляемость объектов в пространстве, что делает их неотъемлемой частью современной техники и технологий.

Принцип работы гироскопов в вертолетах базируется на законах сохранения углового момента и инерции. Вертолеты обычно оснащены несколькими гироскопами, размещенными в различных частях воздушного судна, чтобы обеспечить полную охватывающую систему контроля и стабилизации. Рассмотрим подробнее принцип работы гироскопов в вертолетах:

Основной принцип работы гироскопа основан на законе сохранения углового момента. Когда вертолет вращается или выполняет маневры, гироскопические системы создают угловой момент, направленный противоположно вращению. Этот угловой момент позволяет вертолету поддерживать стабильное положение в пространстве и компенсировать любые изменения в ориентации.

Гироскоп состоит из вращающегося диска, оси вращения и подвеса. Когда вертолет изменяет свое положение, вращающийся диск гироскопа сохраняет свою ориентацию в пространстве благодаря инерции. Это позволяет гироскопу оставаться ориентированным в определенном направлении, что помогает вертолету удерживать свое положение и стабильность.

Гироскопы используются для стабилизации вертолета в различных ситуациях, таких как взлет, посадка и маневры. Они компенсируют внешние воздействия, такие как ветер и турбулентность, и помогают вертолету оставаться в вертикальном положении. Благодаря гироскопам вертолет может стабильно держаться в воздухе даже при изменяющихся атмосферных условиях.

Гироскопы играют ключевую роль в управлении вертолетами, обеспечивая стабильность в полете и помогая пилоту управлять воздушным судном в различных атмосферных условиях. Они компенсируют воздействие внешних факторов, таких как ветер и турбулентность, и помогают вертолету оставаться в вертикальном положении при взлете, посадке и маневрировании. Гироскопы также играют важную роль в навигации вертолетов, обеспечивая точное определение ориентации и положения в пространстве. Они интегрируются с другими навигационными системами, такими как GPS, и используются для обеспечения надежной навигации и точного следования маршруту. Это позволяет вертолету безопасно и эффективно перемещаться в воздушном пространстве и выполнять различные миссии. Помимо стабилизации и навигации, гироскопы играют важную роль в других аспектах управления вертолетом. Например, они используются для компенсации кренования вертолета при взлете и посадке, что позволяет поддерживать горизонтальное положение воздушного судна и обеспечивает безопасность пассажиров и экипажа. Кроме того, гироскопы активно применяются в автопилотах вертолетов, обеспечивая автоматическое управление воздушным судном и уменьшая нагрузку на пилота, особенно в длительных полетах или при выполнении сложных маневров. Помимо базовых функций стабилизации и навигации, гироскопы играют важную роль во многих других аспектах управления вертолетами. Например, они применяются для компенсации момента инерции при смене направления движения вертолета, что позволяет минимизировать риск кренования или переворачивания во время выполнения маневров. Кроме того, гироскопы используются для поддержания постоянной высоты полета и устойчивости при выполнении вертикальных взлетов и посадок.

Одной из новых областей применения гироскопов является уменьшение вибрации вертолета. Вибрация, возникающая от вращения лопастей, двигателя и других компонентов, может негативно сказываться на комфорте пассажиров и даже на работе экипажа. Вибрация, возникающая в процессе работы вертолета, может быть вызвана различными факторами, такими как несовершенства конструкции, аэродинамические эффекты, колебания двигателя и другие. Она не только ухудшает комфорт для пассажиров и членов экипажа, но и может повлиять на долговечность и надежность оборудования. С помощью гироскопов можно создать системы активной стабилизации, которые компенсируют вибрацию и обеспечивают более плавный полет.

Еще одним направлением развития является улучшение маневренности вертолетов. Гироскопы могут использоваться для создания более точных и быстрых систем управления, которые позволяют вертолетам выполнять сложные маневры с увеличенной точностью и эффективностью. Это особенно важно в военных операциях или при выполнении спасательных миссий, когда каждая секунда имеет значение.

Применение гироскопов для автономного управления представляет собой важную область развития в авиации. Вот некоторые из ключевых аспектов этого применения:

**Автопилоты и автоматическая стабилизация:** Гироскопы используются в автопилотах вертолетов для автоматического управления полетом. Они обеспечивают стабильность и устойчивость воздушного судна, позволяя автопилоту поддерживать заданный курс и высоту. Это особенно полезно в длительных полетах или при выполнении миссий, требующих стабильного полета на протяжении длительного времени.

**Повышение безопасности:** Автономные системы, использующие гироскопы, могут быстро реагировать на изменения внешних условий и автоматически корректировать полетный режим для предотвращения аварийных ситуаций. Например, они могут компенсировать сильные боковые ветры или автоматически стабилизировать вертолет в случае внезапного сбоя двигателя.

**Полеты без пилота:** Современные гироскопические системы позволяют разрабатывать и реализовывать полеты вертолетов без прямого участия пилота. Это может быть полезно в различных ситуациях, включая выполнение миссий в опасных или недоступных для человека зонах, мониторинг и наблюдение за большими территориями, а также аварийные операции спасения.

**Точная навигация и маршрутизация:** Гироскопы в сочетании с другими навигационными системами, такими как GPS, обеспечивают точное определение положения и ориентации вертолета в пространстве. Это позволяет автономным системам эффективно планировать и выполнять маршруты, минимизируя время и затраты на перемещение.

**Экономия ресурсов и повышение эффективности:** Автономное управление, поддерживаемое гироскопами, может помочь снизить расход топлива и износ оборудования благодаря оптимизации полетных режимов и маршрутов. Это способствует повышению экономической эффективности и увеличению производительности вертолетных операций.

Стабильность полета: Гироскопы позволяют вертолету поддерживать стабильное положение в воздухе, даже при воздействии внешних факторов, таких как сильные ветры или турбулентность. Это обеспечивает плавное и уверенное перемещение воздушного судна в пространстве, что является ключевым для безопасного и комфортного полета.

Компенсация воздействия внешних факторов: Гироскопы помогают вертолету компенсировать внезапные изменения направления и силы ветра, а также другие внешние воздействия, которые могут повлиять на его устойчивость. Это позволяет пилоту легче управлять воздушным судном и поддерживать желаемый курс полета

Увеличение безопасности полетов: Стабильность и предсказуемость полета, обеспечиваемые гироскопами, существенно улучшают безопасность полетов вертолетов. Это особенно важно в условиях сложных метеоусловий или при выполнении аварийных маневров, когда на высокую устойчивость воздушного судна ставится особый акцент.

Снижение нагрузки на пилота: Гироскопические системы автоматически корректируют положение вертолета, что позволяет пилоту сконцентрироваться на выполнении других задач, таких как навигация, общение с диспетчерами и контроль систем воздушного судна. Это снижает усталость и стресс пилота, улучшая его работоспособность и принимаемые решения.

С развитием искусственного интеллекта и автоматизации, в современных вертолетах все чаще используются адаптивные гироскопические системы. Эти системы способны анализировать данные о состоянии вертолета и внешних условиях полета в реальном времени, и автоматически регулировать свою работу для оптимизации управления и стабилизации. Такие системы могут быстро адаптироваться к изменяющимся условиям полета и обеспечивать более точное и эффективное управление вертолетом.

Интеграция гироскопов с другими авиационными системами играет ключевую роль в обеспечении эффективности, надежности и безопасности полетов вертолетов. Это позволяет создавать более комплексные и интеллектуальные системы управления, которые способны автоматически реагировать на различные ситуации и условия полета. Рассмотрим основные аспекты интеграции гироскопов с другими авиационными системами:

Гироскопы интегрируются с автопилотами и системами автоматического управления, что позволяет вертолету выполнять автоматические маневры и удерживать заданный курс и высоту.

Использование данных, полученных от гироскопов, позволяет автопилоту быстро реагировать на изменения в атмосферных условиях и управлять вертолетом соответствующим образом.

Гироскопы интегрируются с системами контроля и управления полетом для обеспечения стабильности и точности управления вертолетом.

Они предоставляют необходимые данные для коррекции положения и ориентации вертолета в пространстве, что повышает устойчивость и безопасность полета.

Системы стабилизации:

Гироскопы играют важную роль в системах стабилизации вертолета, компенсируя внешние воздействия, такие как ветер и турбулентность, и поддерживая его в стабильном положении.

Интеграция гироскопов с системами стабилизации позволяет вертолету оставаться в вертикальном положении при взлете, посадке и маневрировании.

Гироскопы интегрируются с системами навигации, такими как GPS, для обеспечения точного определения ориентации и положения вертолета в пространстве.

Использование данных от гироскопов позволяет обеспечивать надежную навигацию и точное следование маршруту, что повышает эффективность и безопасность полета.

Интеграция гироскопов с другими авиационными системами создает комплексные и универсальные системы управления вертолетами, способные автоматически реагировать на различные ситуации и выполнять широкий спектр задач без участия пилота.

Современные инженерные разработки в области гироскопов ведут к созданию более компактных, точных и энергоэффективных устройств. Новейшие технологии включают в себя использование микромеханических систем (MEMS), которые позволяют интегрировать гироскопы прямо на микрочипы, что значительно уменьшает их размеры и повышает надежность. Также исследуются методы активной стабилизации с применением адаптивных алгоритмов искусственного интеллекта, что позволяет автоматически корректировать работу гироскопической системы в реальном времени и адаптировать ее к различным условиям полета.

С развитием технологий и научных исследований можно ожидать дальнейшего расширения возможностей применения

гироскопов в вертолетах. Возможные направления развития включают улучшение точности измерений, расширение функционала гироскопов для решения широкого спектра задач и интеграцию с другими автоматизированными системами, такими как системы искусственного интеллекта и беспилотные технологии. Это открывает новые перспективы для создания еще более безопасных, эффективных и многофункциональных вертолетов, способных успешно справляться с вызовами современной авиации.

Применение гироскопов в устойчивости и навигации вертолетов играет ключевую роль в обеспечении их безопасности, надежности и эффективности. Благодаря непрерывному развитию технологий и инженерных разработок, гироскопические системы становятся все более совершенными и интегрированными, что способствует улучшению характеристик вертолетов и расширению их возможностей. С учетом активного внедрения новых технологий и научных достижений, можно с уверенностью ожидать дальнейшего прогресса в области использования гироскопов в вертолетах и повышения их эффективности в различных сферах применения.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. J. Gordon Leishman. "Principles of Helicopter Aerodynamics." Cambridge University Press, 2006.
2. Wayne Johnson. "Helicopter Theory." Dover Publications, 1980.
3. John Watkinson. "The Art of the Helicopter." Elsevier, 2009.

УДК 004.65

**ДОНЦОВ Д.В.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ В САПР SOLIDWORKS**

*Рассматривается задача моделирования крепления для 3D-печати в САПР SolidWorks.*

В современном мире технология трехмерной печати становится все более распространенной в различных отраслях электронной промышленности, таких как прототипирование, изготовление крепежных элементов, разработка корпусов и многих других.

3D-печать или аддитивное производство – это технология производства, которая позволяет создавать трехмерные объекты путем наложения материала по слоям в соответствии с цифровой моделью.

Существует несколько типов 3Dпринтеров, каждый из которых предназначен для различных задач и материалов. Некоторые из типов 3D принтеров используемых в электронной промышленности:

- Fused Deposition Modeling (FDM): Этот тип принтера использует пластиковые нити, которые плавятся и наносятся слой за слоем для создания 3D моделей.

- Stereolithography (SLA): Принтеры SLA используют ультрафиолетовый лазер для отверждения смолы в точках, образующих слой модели.

- Selective Laser Sintering (SLS): Принтеры этого типа используют лазер для спекания тонкого слоя порошкового материала, такого как нейлон или металл.

- Direct Metal Laser Sintering (DMLS): Этот тип принтера использует металлический порошок, который спекается лазером, обеспечивая возможность создания металлических деталей высокой прочности и сложной геометрии.

В данной статье будет рассмотрена 3D печать крепления с помощью САПР SolidWorks.

Первым шагом в создании модели для трехмерной печати является выбор системы автоматизированного проектирования (САПР).

При выборе САПР для создания модели нужно учесть что, 3Dпринтеры работают с такими форматами файлов, как STL, OBJ, AMF, 3MFи другими. Эти форматы обеспечивают совместимость между программами моделирования и 3D принтерами, позволяя передавать цифровые модели в формате, который принтер может интерпретировать и распечатать. Вот некоторые программы САПР, которые способны сохранять файлы в формате, поддерживаемом 3Dпринтерами: AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360.

В данной статье в качестве САПР для создания модели, был выбран SolidWorks, а в качестве детали было выбрано крепление (рисунок 1).



Рисунок 1 – 3D модель крепления

После создания модели крепления ее необходимо сохранить в нужном формате (в нашем случае это формат STL), после чего нам нужно разбить нашу модель на слои.

Слайсинг (или срезка) представляет собой процесс разбиения трехмерной модели на тонкие слои, которые затем используются 3Dпринтером для создания объекта.

Программное обеспечение, которые позволяют подготовить модель к 3D печати называются слайсерами, они разбивают модель на множество тонких слоев, определяют путь движения печатающей головки, настраивают параметры печати и создают файлы инструкций, которые 3D принтер может использовать для создания объекта. Эти инструкции включают информацию о температуре, скорости, направлении печати и других параметрах, которые необходимы для точного воспроизведения модели. Вот некоторые из часто используемых слайсеров:

- Cura: Широко распространенный, бесплатный слайсер с открытым исходным кодом, предлагающий множество опций настройки печати.
- PrusaSlicer: Простой в использовании слайсер с ориентированным на пользовательский опыт интерфейсом, который поддерживается компанией Prusa.
- IceSL: Программа с открытым исходным кодом, специализированная на сложных 3D печатных проектах.
- Lychee Slicer: Обладает удобным пользовательским

интерфейсом и предлагает различные инструменты для создания качественных 3D печатных моделей.

В данной статье в качестве слайсера для нашего крепления будем использовать LycheeSlicer.

Сначала нам необходимо загрузить нашу модель крепления в формате STL, которую мы до этого сделали в САПР SolidWorks, после чего во вкладке экспорт выбираем наш 3D принтер, толщину слоев, место сохранения файла и формат слайсинга, далее нажимаем «Slice». Теперь мы можем сохранить нашу модель готовую для 3Дпечати в файл нажав «ExportGcodeToFile».

Разрезанная на слои модель крепления представлена на рисунке

2.

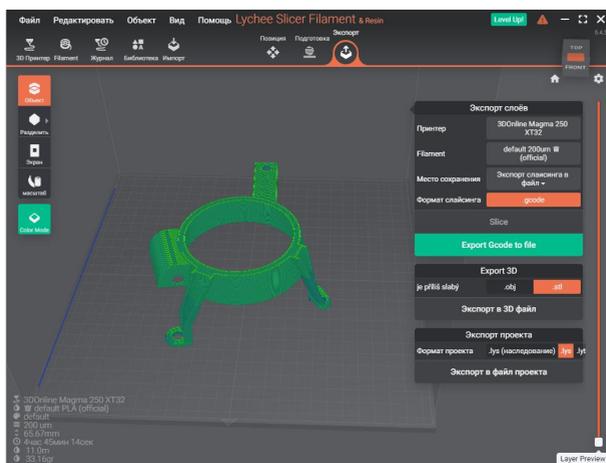


Рисунок 2 – Разрезанная на слои модель крепления

3D сканирование деталей имеет широкое применение в 3D печати. 3D сканирование представляет собой процесс получения точной цифровой копии физического объекта. Этот метод использует специализированные устройства, такие как 3D сканеры, которые могут работать на принципах структурированного освещения, лазерного сканирования или фотограмметрии. Оно позволяет быстро реплицировать физические объекты, создавать модели сложной формы.

3Dсканеры после сканирования сохраняют отсканированный объект в файл в форматы: STL, OBJ, PLY, ASCи другие, поддерживаемые в таких САПР как AutodeskFusion 360, SolidWorksи другие.

Таким образом, 3D сканирование значительно упрощает процесс моделирования объектов для 3D печати.

Внедрение технологии трехмерной печати приводит к революционным изменениям в различных отраслях электронной промышленности. Она позволяет создавать объекты сложной геометрии и уникальных форм, сокращает время производства и улучшает гибкость производственных процессов. В качестве САПР для создания модели и детали крепления был выбран SolidWorks, также использовался Luchee Slicer для подготовки модели к 3D печати.

3D сканирование объединяет физический мир с цифровым, открывая возможности для точного реплицирования объектов и создания моделей сложной формы. Совместное применение 3D печати и 3D сканирования дает новый взгляд на создание и модификацию объектов, предлагая быстрые и эффективные методы обработки информации.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. 3D Engineering: [Электронный ресурс]. – URL: <https://3dengineering.ru/blog/tehnologii-3d-pechati-kakie-byvayut-plyusy-i-minusy/>.
2. КомпьюАрт: [Электронный ресурс]. – URL: <https://compuart.ru/article/25392>.

УДК 004.65

**ДОНЦОВ Д.В.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **СОЗДАНИЕ ЧАСОВ НА ОСНОВЕ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ИНДИКАТОРОВ**

*Рассматривается задача создания часов на основе газоразрядных индикатор ИИ-1.*

Газоразрядный индикатор — это устройство, предназначенное для визуальной индикации электрических сигналов в цифровой форме в устройствах широкого применения. Механизм его работы основан на принципе газового разряда внутри заполненной газом ампулы, и широко используются в различных технических устройствах, где требуется отображение информации с помощью светового или

электрического сигнала. Они также могут быть использованы для создания часов.

Создание часов на основе газоразрядных индикаторов может быть интересным проектом для любителей электроники. Для это нужно будет использовать микроконтроллер, который будет управлять индикаторами, а также резисторы, конденсаторы, дешифратор генератор и оптопары для управления каждым индикатором. На рисунке 1, схематично изображен газоразрядный индикатор.

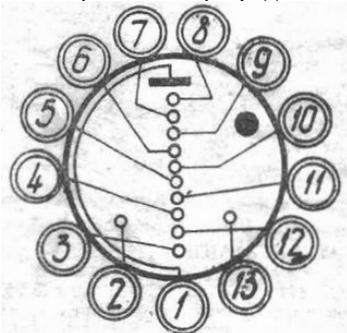


Рисунок 1 – Схематичное изображение газоразрядного индикатора

Первым шагом в создании часов на основе газоразрядных индикаторов является выбор микроконтроллера. Для нашего проекта был выбран контроллер ArduinoNano.

Проектирование печатной платы проводилось в среде EasyEDA (рисунок 2), монтаж элементов смешанный, разнесенный, питающие проводники — 0,5мм, остальные — 0,25мм, диаметр отверстий — 0,75мм и 1мм, медного пояска — 1,5мм и 2мм соответственно.

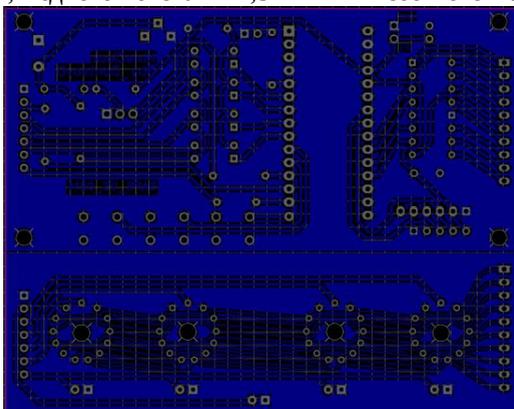


Рисунок 2 – Трассировка печатной платы

Печатная плата была изготовлена лазерно-утюжной технологией (рисунок 3).

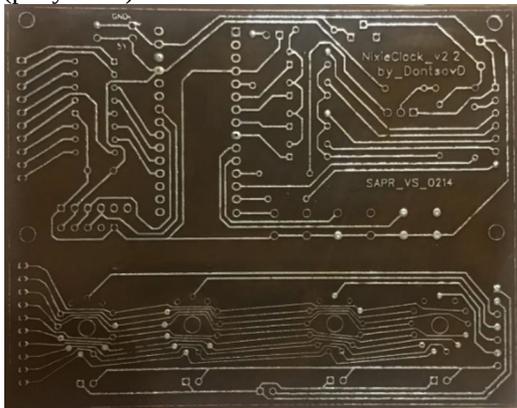


Рисунок 3 – Печатная плата

Перечень необходимых элементов для проектирования указаны в таблице №1.

Таблица 1 – Электронные компоненты для проектирования

№ н/э	Наименование	Тип компонента	Количество
1	Arduino Nano	Контроллер	1
2	DS3231	Микросхема	1
3	K155ИД1	Дешифратор	1
4	IRF840PBF	Транзистор	1
5	220 мкГн	Индуктивность	1
6	TLP627(F) DIP-4	Оптопара	4
7	0,25w 5% 470 Ohm	Резистор подстроечный	1
8	0,25w 5% 470 Ohm	Резистор	1
9	0,25w 5% 10 kOhm	Резистор	1
10	0,25w 5% 100 Ohm	Резистор	3

Важной особенностью разрабатываемого проекта, является возможность добавить дополнительно оборудование, например динамик и с помощью программы реализовать будильник. Пример кода часов:

```
class timerMinim
{
public:
    timerMinim(uint32_t interval);
```

```

    void setInterval(uint32_t interval);
    boolean isReady();
    void reset();
private:
    uint32_t _timer = 0;
    uint32_t _interval = 0;
};
timerMinim::timerMinim(uint32_t interval) {
    _interval = (interval != 0) ? interval : 5;
    _timer = millis();
}
void timerMinim::setInterval(uint32_t interval) {
    _interval = (interval != 0) ? interval : 5;
    _interval = interval;
}
boolean timerMinim::isReady() {
    uint32_t thisMls = millis();
    if (thisMls - _timer >= _interval) {
        do {
            _timer += _interval;
            if (_timer < _interval) break;
        } while (_timer < thisMls - _interval);
        return true;
    } else {
        return false;
    }
}
void timerMinim::reset() {
    _timer = millis();
}

```

Также реализована возможность выбора стиля изменения цифр, выводимых на индикаторы: плавный переход, перебор от 0 до 9 по очереди на каждом индикаторе. Реализация функции перебора цифр, представлена в следующем фрагменте кода:

```

#define DELAY 1000
#define DUTY 180
#define BOARD_TYPE 2
#define PIEZO 2
#define KEY0 3
#define KEY1 4
#define KEY2 5
#define KEY3 6
#define BTN1 7
#define BTN2 8
#define GEN 9
#define DOT 10

```

```
#define BACKL 11
#define BTN3 12
#define DECODER0 A0
#define DECODER1 A1
#define DECODER2 A2
#define DECODER3 A3

#elif (BOARD_TYPE == 2)
byte digitMask[] = {9, 8, 0, 5, 4, 7, 3, 6, 2, 1};
byte opts[] = {KEY3, KEY2, KEY1, KEY0};
#endif

#include "GyverHacks.h"
void setDig(byte digit) {
    digit = digitMask[digit];
    setPin(DECODER3, bitRead(digit, 0));
    setPin(DECODER1, bitRead(digit, 1));
    setPin(DECODER0, bitRead(digit, 2));
    setPin(DECODER2, bitRead(digit, 3));
}
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(DECODER0, OUTPUT);
    pinMode(DECODER1, OUTPUT);
    pinMode(DECODER2, OUTPUT);
    pinMode(DECODER3, OUTPUT);
    pinMode(KEY0, OUTPUT);
    pinMode(KEY1, OUTPUT);
    pinMode(KEY2, OUTPUT);
    pinMode(KEY3, OUTPUT);
    pinMode(PIEZO, OUTPUT);
    pinMode(GEN, OUTPUT);
    pinMode(DOT, OUTPUT);
    pinMode(BACKL, OUTPUT);
    TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | 1;
    setPWM(9, DUTY);
    setPWM(BACKL, 1);
}
void loop() {
    for (byte i = 0; i < 4; i++) {
        setPin(opts[i], 1);
        for (byte k = 0; k < 10; k++) {
            setDig(k);
            Serial.println("ind #" + String(i) + " digit: " +
                String(k));
            delay(DELAY);
        }
    }
}
```

```
    setPin(opts[i], 0);  
  }  
}
```

В ходе проектирования были сконструированы часы на основе микроконтроллера ArduinoNano, дисплей реализован с помощью набора 4-х разрядных газоразрядных индикаторов. В дальнейшем возможна модификация, спроектированного устройства, планируется добавить: динамик и различные датчики.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Часы на ГРИ: [Электронный ресурс]. – URL: [https://alexgyver.ru/nixieclock\\_v2/](https://alexgyver.ru/nixieclock_v2/)
2. Официальный сайт Arduino: [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.arduino.cc/en/software>.
3. Газоразрядный индикатор: [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Газоразрядный\\_индикатор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Газоразрядный_индикатор)

УДК 004.932

**ЕЛАТНИКОВ Н.В.**

Рязанский государственный радиотехнический университет имени  
В.Ф. Уткина

### **ВЫСОКОТОЧНОЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ СОВМЕЩЕНИЕ РАЗНОВРЕМЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОТ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Рассматриваются вопросы разработки программы для совмещения разновременных изображений, полученных от гидрометеорологических космических систем.*

Изображения, получаемые от спутников дистанционного зондирования Земли, используются для различных целей, включая анализ движения облаков и скорости ветра. Для эффективного решения таких задач необходимо высокоточно совмещать и привязывать изображения, полученные в разные моменты времени. В данной статье рассматривается подход к автоматическому определению геометрического расхождения между изображениями, полученными в разные моменты времени, а также алгоритм их последующего совмещения.

Подход основан на использовании взаимно-корреляционной функции, которая оценивает степень сходства двух изображений [1,3].

Исходные и анализируемые изображения разбиваются на фрагменты, для которых вычисляется коэффициент корреляции. Максимум корреляционной функции, вычисленной для соответствующих фрагментов указывает на сдвиг по осям X и Y, при котором достигается наибольшее совпадение фрагментов. Набор опорных фрагментов, для которых известны смещения, используется для построения полинома, который аппроксимирует итоговую функцию геометрического совмещения изображений. Аппроксимация производится с помощью метода наименьших квадратов, который минимизирует сумму квадратов отклонений итоговой функции от рассчитанных на предыдущем этапе смещений.

Программа написана на языке C++ (использовался стандарт 14), графический интерфейс создан с помощью библиотеки .NET, которая предоставляет возможность легко и быстро создавать и вносить изменения в графический интерфейс с помощью встроенного конструктора. Также применялась библиотека OpenCV для использования оператора Кенни [2].

Вид стартового окна программы представлен на рисунке 1.

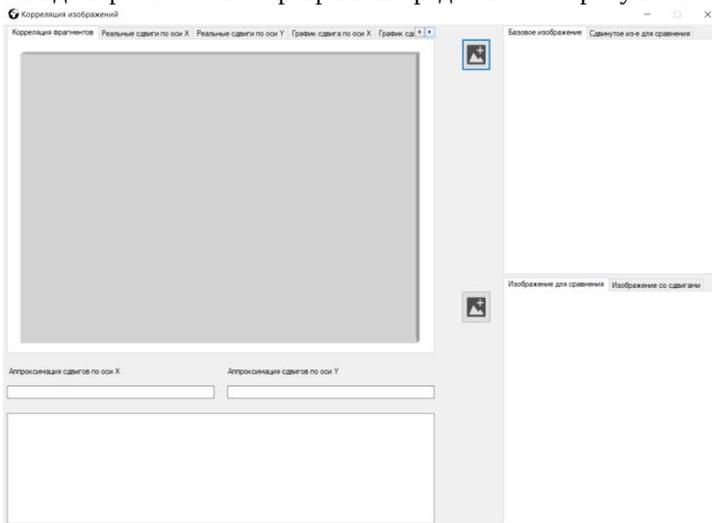


Рисунок 1 – Стартовое окно программы

На вход программы подаются два изображения в формате tiff, одно базовое, а второе – сдвигаемое, оно совмещается с первым.

После разбора изображений по тегам, производится выделение контуров на изображениях с помощью оператора Кенни. Затем, с учетом размеров входных изображений производится разбиение

снимков на фрагменты, по которым будет определяться сдвиг. После этого производится их фильтрация – отбрасываются фрагменты с малым среднеквадратическим отклонением, например, участки космоса.

Далее, каждый фрагмент сдвигается в заданном диапазоне по осям X и Y и для каждого положения вычисляется значение взаимно-корреляционной функции. Затем выбирается сдвиг, при котором достигается максимальное значение корреляционной функции, он и считается относительным сдвигом для пары фрагментов. Производится уточнение сдвига до долей пикселя с помощью метода наименьших квадратов путем построения по соседним отсчетам аппроксимирующей функции и поиска ее экстремума.

По найденному набору сдвигов вычисляются аппроксимирующие степенные функции третьего порядка, описывающие смещения по осям X и Y. Далее по этим функциям производится сдвиг одного из изображений с использованием механизма билинейной интерполяции.

На рисунке 2 приведен пример трехмерного графика сдвигов, вычисленных с помощью корреляционной функции, а на рисунке 3 - функции, аппроксимирующей смещения по всему полю снимка.

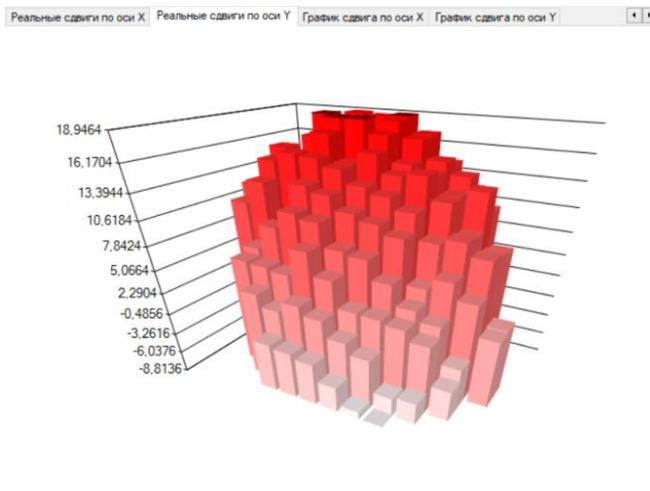


Рисунок 2 – График сдвигов

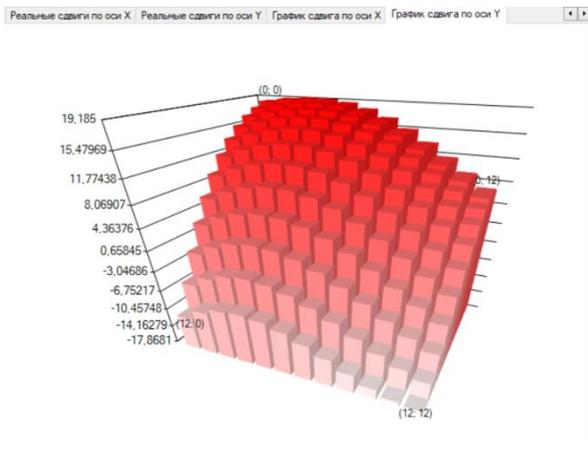


Рисунок 3 – Значения аппроксимирующей функции

Пример окна программы после успешного совмещения двух разновременных снимков представлен на рисунке 4.

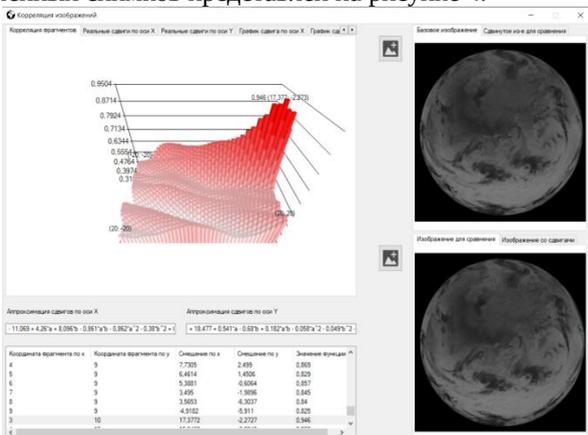


Рисунок 4 – Вид программы после успешной работы

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антонушкина С.В., Гуров В.С., Егоскин Н.А. и др. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли / Под. ред. В.В. Еремеева. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2015. – 460 с.

2. Прохоренок Н.А. OpenCV и Java. Обработка изображений и компьютерное зрение / Н.А. Прохоренок. – СПб.: BHV, 2018. – 320 с.

З. Гусев С. И., Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Москвитин А.Э., Кузнецов А.Е., Ушенкин В.А. Цифровая обработка данных радиолокационного зондирования Земли из космоса. – М: КУРС, 2022. – 272 с.

УДК 004.023

**ЕЛАТНИКОВ Н.В.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

**РАЗРАБОТКА И ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ  
РЕАЛИЗАЦИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА  
КОМПОНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПИСКОВ SP-RSP**

*Рассматриваются разработка программы компоновки элементов в блоки с использованием списков SP и RSP.*

Компоновка электронных схем является критически важным этапом проектирования аппаратного обеспечения, определяющим сложность, быстродействие и надежность конечного устройства. Эффективная компоновка позволяет минимизировать количество межблочных связей, что снижает задержки сигналов, уменьшает электромагнитное излучение и повышает общую производительность схемы.

Последовательный алгоритм компоновки с использованием списков SP-RSP распределяет элементы по блокам на основе критерия максимальной связности с уже размещенными в блоке элементами.

В данной работе рассматривается разработка и особенности программной реализации последовательного алгоритма компоновки с использованием списков SP-RSP. Список SP является списком элементов по цепям, а RSP – разделителем SP, определяющим, к каким именно цепям относятся элементы.

Программа написана на языке программирования Python (версия 3.9) с использованием PyQt5 – модуля для создания GUI приложений в Python. Главным основанием для его использования был PyQt Designer, с помощью которого можно легко и быстро создать графический интерфейс приложения. Созданный интерфейс сохраняется с расширением «.ui», который можно преобразовать в файл «.py» с помощью консольной команды «pyuic5 design.ui –o design.py».

Вид интерфейса, созданного в PyQt Designer, а также список используемых элементов (рисунки 1).

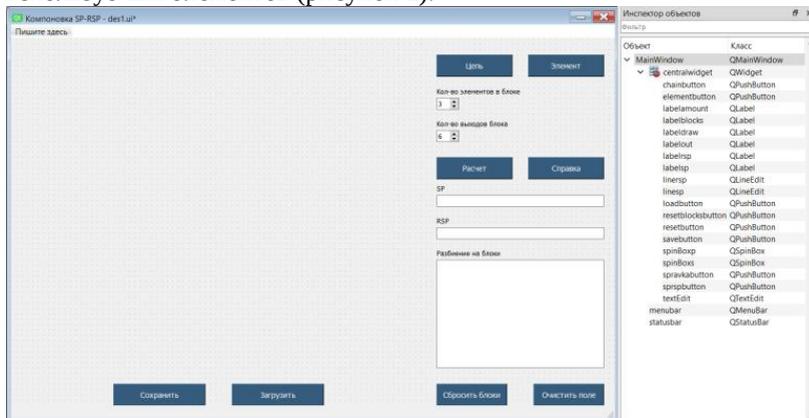


Рисунок 1 – Интерфейс программы

Для отрисовки элементов, цепей, блоков и обозначений используется класс QPainter, который предоставляет набор методов и функций для создания и управления графическими объектами. Работа с ним начинается с вызова метода begin(). Далее используются функции для отрисовки графических примитивов – drawRect() (прямоугольники), drawEllipse() (эллипсы). Также используется drawText() – для отображения текста. Функция setPen() применяется для изменения цвета, толщины, стиль рисования линий, с помощью которых производится отрисовка, setBrush() – для заполнения геометрических фигур, им также можно задать цвет и стиль. Для отображения ломаных линий используется QPainterPath(). Изменения появляются на экране при вызове метода update(), для окончания работы вызывается end().

Все описанные выше методы и функции используются в методе paintEvent, который вызывается каждый раз, когда требуется перерисовка окна программы.

При нажатии на кнопку мыши вызывается метод mousePressEvent, которая может, в зависимости от состояния программы выполнять несколько действий:

- выделение элементов;
- выделение цепей;
- выделение элементов для последующего соединения цепью;
- добавление элементов;
- сброс выделения элементов и цепей.

При нажатии на клавиши клавиатуры вызывается метод `keyPressEvent`. Если была нажата клавиша «Delete», то происходит удаление выбранных заранее цепей и/или элементов.

При движении мыши вызывается метод `mouseMoveEvent`. В случае, если левая кнопка мыши зажата на одном из элементов, то происходит его перемещение в пределах поля отрисовки.

Предусмотрен вызов справки с главного окна программы. Она кратко описывает возможности и функции приложения.

Для добавления элемента требуется нажать на кнопку «Элемент», и выбрать позиции для размещения. Элементам автоматически будут присвоены наименования.

Для создания цепи необходимо нажать кнопку «Цепь», далее выделить не менее двух элементов, которые будут соединять цепь. Далее необходимо нажать кнопку «Завершить выбор», и созданная цепь будет отображена в окне программы. Ей автоматически будет присвоено наименование.

На рисунке 2 показана созданная в программе схема элементов.

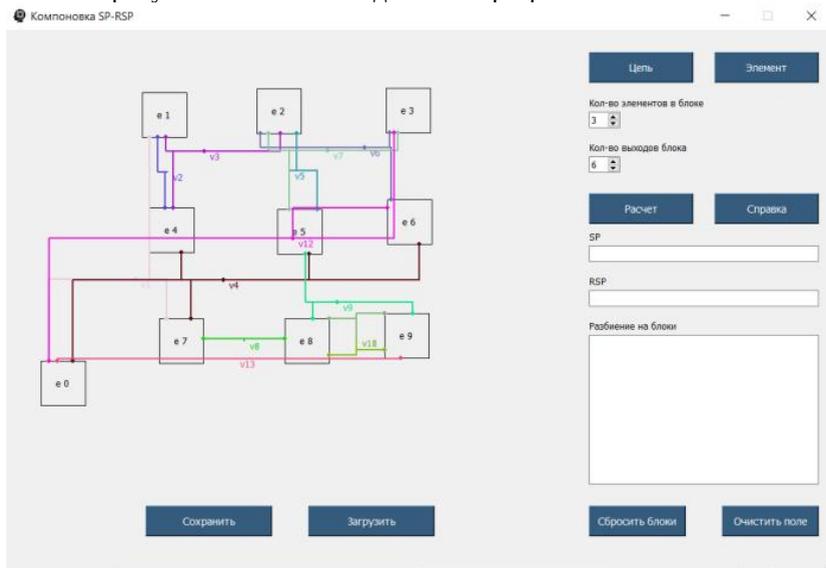


Рисунок 2 – Созданная вручную схема

Имеется возможность записи схемы в файл. В документ с расширением «.txt» записываются координаты элементов, а также списки SP и RSP. Для этого необходимо нажать кнопку «Сохранить» и

ввести имя. Соответственно, допускается и загрузка схем из файла с помощью нажатия на «Загрузить» и выбора нужного файла.

При нажатии кнопки «Расчет» будет произведена компоновка по блокам, элементы будут перемещены на поле отрисовки и объединены в блоки (рисунок 3).

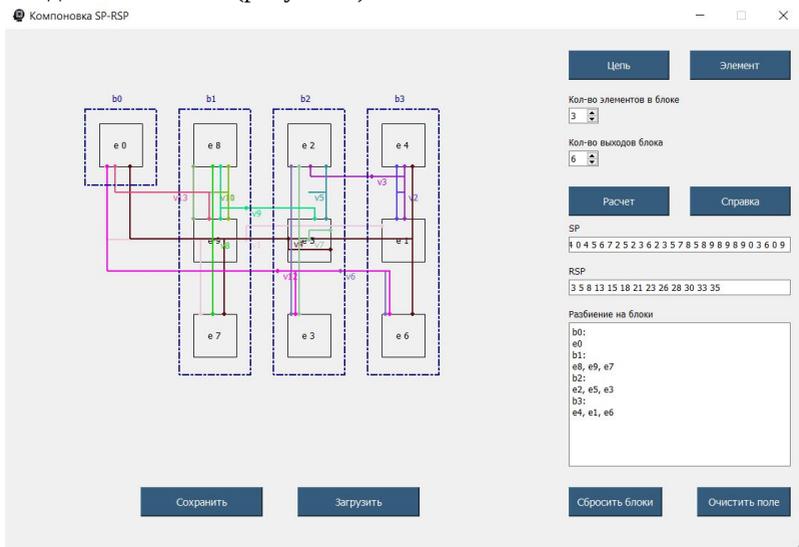


Рисунок 3 – Результат компоновки

При нажатии на «Сбросить блоки» будут удалены блоки, созданные при компоновке.

Нажатие на «Очистить поле» произведет удаление всех элементов, цепей, блоков и надписей с поля.

В программе предусмотрен вывод ошибок при создании цепи, связанной только с одним элементом, неверном формате входных файлов или удалении элементов, которые связаны хотя бы с одной цепью.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сапрыкин А.Н. Алгоритмические методы автоматизации конструирования электронных средств: учебное пособие – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 116 с.

2. Прохоренко Н.А. Python 3 и PyQt 5 Разработка приложений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018 – 832 с.

УДК 658.512.22

**ЕРЗЫЛЕВ Д.А.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

*В статье рассматривается широкий спектр преимуществ, особенностей использования и будущих направлений развития автоматизированных систем в проектировании несущих конструкций.*

Рассмотрим преимущества автоматизированных систем проектирования.

**Сокращение времени разработки:** Автоматизированные системы проектирования позволяют значительно ускорить процесс создания проектов. Они автоматизируют выполнение рутинных задач и позволяют параллельно работать над различными аспектами проектирования. Такое сокращение времени на проектирование позволяет быстрее приступить к фазе реализации проекта, что особенно важно в условиях сжатых сроков и жестких требований заказчика.

**Улучшение коммуникации и совместной работы:** Интеграция различных систем проектирования позволяет легко обмениваться данными между участниками проекта и координировать их действия. Это способствует более эффективной работе команды, улучшает понимание требований проекта и способствует созданию более качественных решений благодаря совместным обсуждениям и анализу данных.

**Стандартизация и снижение рисков:** Автоматизированные системы позволяют создавать стандарты и шаблоны проектирования, что способствует унификации процесса работы и снижает вероятность ошибок. Использование проверенных методов и стандартов также помогает сократить риски в процессе разработки, так как проекты выполняются в соответствии с установленными нормами и правилами.

**Улучшение управления проектами:** Системы проектирования предоставляют инструменты для эффективного управления проектами, включая отслеживание прогресса, контроль бюджета и ресурсов, а также возможность реагировать на изменения в реальном времени. Это позволяет управляющим лицам более эффективно распределять

ресурсы и принимать стратегические решения для успешного завершения проекта.

Повышение конкурентоспособности: благодаря всем вышеперечисленным преимуществам, компании, использующие автоматизированные системы проектирования, могут достичь более высокой конкурентоспособности на рынке. Они способны предложить более качественные продукты и услуги, выполнить проекты быстрее и эффективнее, что делает их более привлекательными для заказчиков и партнеров.

Когда инженеры прибегают к использованию автоматизированных систем для оптимизации несущих конструкций, это открывает перед ними множество новых возможностей и инструментов.

Использование автоматизированных систем для моделирования и анализа конструкций предоставляет инженерам возможность создавать подробные трехмерные модели, а также выполнять разнообразные анализы. Среди таких анализов могут быть статические расчеты для оценки распределения напряжений и деформаций в конструкции под статическими нагрузками, динамические расчеты для учета динамических нагрузок и колебаний, а также оптимизационные расчеты для поиска наиболее эффективных решений. Этот процесс позволяет инженерам предсказывать поведение конструкций при различных условиях эксплуатации, таких как изменение нагрузок или воздействие окружающей среды, что в свою очередь помогает оптимизировать дизайн и обеспечить нужную прочность, устойчивость и эффективность конструкции.

Системы проектирования автоматически производят анализ различных материалов и помогают выбирать оптимальные варианты с учетом требований к прочности, весу, и стоимости. Это позволяет создавать конструкции, которые обеспечивают оптимальное сочетание экономической эффективности и качества.

Автоматизированные системы проектирования проверяют соответствие создаваемых конструкций требованиям безопасности и строительных стандартов. Это гарантирует, что проектируемые объекты будут соответствовать всем необходимым нормам и требованиям.

Использование автоматизированных систем для оптимизации несущих конструкций предоставляет инженерам широкий набор инструментов и возможностей. Одной из ключевых возможностей является прогнозирование поведения конструкций в различных условиях эксплуатации. С помощью этих систем инженеры могут

проводить разнообразные анализы и симуляции, позволяющие оценить нагрузки, деформации, напряжения и другие характеристики конструкции в различных сценариях. Такой подход позволяет выявлять потенциальные проблемы и уязвимые места еще на этапе проектирования, что позволяет принимать меры для их устранения или модификации. Благодаря этому инженеры могут создавать более надежные и долговечные конструкции, способные эффективно работать в различных условиях эксплуатации и удовлетворять требованиям заказчика.

Оптимизация процесса проектирования является одним из ключевых преимуществ использования автоматизированных систем в инженерной практике. Эти системы значительно ускоряют процесс проектирования, освобождая время инженеров для более творческой работы и повышая производительность в целом. Вместо того чтобы тратить время на рутинные операции, такие как создание и анализ чертежей вручную, инженеры могут использовать автоматизированные системы для выполнения этих задач более быстро и эффективно. Это позволяет сосредоточиться на более важных аспектах проектирования, таких как разработка инновационных решений, анализ альтернативных вариантов и оптимизация конструкций.

Применение автоматизированных систем проектирования в различных отраслях, таких как строительство мостов и дорожных сооружений, промышленное строительство, архитектурное проектирование, а также в авиационной и автомобильной промышленности, имеет решающее значение для достижения оптимальных результатов. Рассмотрим примеры использования этих систем в каждой из перечисленных отраслей.

Строительство мостов и дорожных сооружений: В данной области автоматизированные системы проектирования используются для создания более эффективных и надежных конструкций. Они помогают оптимизировать форму и материалы мостов, путепроводов и дорожных покрытий, учитывая различные факторы, такие как нагрузки, геологические особенности и климатические условия. Это позволяет повысить прочность и устойчивость сооружений, улучшить безопасность и долговечность дорожной инфраструктуры.

В промышленном строительстве автоматизированные системы проектирования играют ключевую роль в создании разнообразных промышленных объектов, таких как заводские здания, склады, производственные цеха и другие сооружения. Они позволяют инженерам и архитекторам оптимизировать конструкции с учетом специфических требований к прочности, вентиляции, освещению и

безопасности. Например, системы проектирования могут автоматически распределять пространство в соответствии с лучшими практиками для оптимальной организации производственных процессов. Они также могут оптимизировать системы вентиляции и освещения, учитывая потоки людей и оборудования, что способствует созданию комфортных и безопасных условий труда. Благодаря использованию автоматизированных систем проектирования, промышленные объекты могут быть более эффективными и функциональными, что повышает общую производительность и экономическую эффективность предприятия.

**Архитектурное проектирование:** В сфере архитектурного проектирования автоматизированные системы играют важную роль, обеспечивая архитекторам мощные инструменты для воплощения оригинальных и инновационных концепций. Они позволяют создавать комплексные трехмерные модели зданий с высокой степенью детализации и реализма. Благодаря этому архитекторы могут проводить анализ не только внешнего вида зданий, но и их несущей способности, эргономики и эстетических характеристик. Это способствует созданию уникальных архитектурных объектов, которые не только красивы, но и функциональны. Кроме того, автоматизированные системы позволяют быстрее и эффективнее экспериментировать с различными вариантами проектирования, что способствует развитию творческого потенциала архитекторов и возможности создания более современных и уникальных архитектурных решений.

**Авиационная и автомобильная промышленность:** В этих отраслях автоматизированные системы проектирования применяются для оптимизации конструкций летательных аппаратов и автомобилей. Они позволяют инженерам создавать легкие, прочные и безопасные транспортные средства, что способствует уменьшению расхода топлива, повышению эффективности и безопасности перевозок. Также эти системы позволяют внедрять новейшие технологии, такие как автономное управление и электрические двигатели, что делает авиацию и автомобильную промышленность более экологически устойчивыми.

В целом, использование автоматизированных систем проектирования позволяет создавать более эффективные, надежные и инновационные несущие конструкции в различных отраслях промышленности и строительства. Это способствует улучшению качества жизни, сокращению издержек и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

Чтобы обеспечить успешное развитие автоматизированных систем проектирования и преодолеть вызовы, необходимо принять во внимание ряд дополнительных аспектов.

Развитие автоматизированных систем должно включать работу с разнообразными типами данных, включая географические информационные системы (ГИС), данные датчиков, геоданные и прочие. Интеграция таких данных в процесс проектирования позволит создавать более точные и адаптивные решения.

Одним из путей совершенствования автоматизированных систем является создание гибридных моделей, комбинирующих преимущества искусственного интеллекта с экспертными знаниями человека. Это позволит справиться с задачами, требующими комплексного анализа и принятия решений.

Применение технологий виртуальной и дополненной реальности в проектировании предоставляет инженерам возможность взаимодействовать с трехмерными моделями конструкций в реальном времени. Виртуальная реальность позволяет создавать иммерсивные среды, в которых специалисты могут исследовать и модифицировать проекты, будто находясь внутри них. Это значительно улучшает понимание проекта и его особенностей, позволяя выявлять потенциальные проблемы еще на ранних стадиях проектирования. С другой стороны, дополненная реальность позволяет накладывать виртуальные объекты и данные на реальный мир, что помогает инженерам оценить, как проект будет взаимодействовать с окружающей средой. Например, они могут визуализировать, как новая конструкция будет выглядеть на месте будущего строительства или как она будет вести себя при определенных условиях окружающей среды, таких как изменения погоды или освещения. Такой подход снижает риск ошибок и несоответствий, а также способствует созданию более точных и эффективных проектов.

Помимо технических аспектов, важно также учитывать социальные и экономические факторы при разработке автоматизированных систем. Это включает в себя оценку влияния на рабочие места, обеспечение доступности для различных категорий пользователей и обеспечение справедливого распределения выгод от использования технологии.

Стандартизация и совместная работа между различными организациями и компаниями в области разработки и использования автоматизированных систем могут способствовать более эффективному использованию ресурсов и ускорению внедрения новых технологий.

С увеличением использования цифровых технологий становится все более важным обеспечение безопасности и защиты данных. Разработка средств защиты от кибер атак и обеспечение конфиденциальности информации становятся приоритетными задачами для разработчиков автоматизированных систем.

Решение данных аспектов позволит создать более устойчивые и адаптивные автоматизированные системы проектирования, способные эффективно решать вызовы современной инженерной практики.

Использование автоматизированных систем проектирования для оптимизации несущих конструкций играет ключевую роль в современной инженерной практике. Они предоставляют целый ряд преимуществ, которые существенно улучшают процесс проектирования и конечное качество создаваемых сооружений.

Автоматизированные системы значительно сокращают время, необходимое для разработки проекта, благодаря своей способности автоматизировать множество рутинных задач. Это позволяет инженерам сконцентрироваться на более творческих аспектах проектирования и сокращает время вывода продукта на рынок.

Благодаря минимизации человеческих ошибок и использованию точных алгоритмов расчета, автоматизированные системы обеспечивают высокую точность и надежность проектирования. Это снижает вероятность возникновения дефектов и повышает безопасность создаваемых конструкций.

Использование автоматизированных систем помогает оптимизировать использование ресурсов, сокращает затраты на проектирование и строительство, а также позволяет снизить операционные расходы и увеличить доходы за счет более эффективного использования ресурсов.

Автоматизированные системы позволяют создавать более сложные и инновационные проекты, которые могут удивить клиентов и дать конкурентное преимущество на рынке. Инженеры могут использовать передовые технологии и алгоритмы для реализации новаторских идей и создания уникальных решений.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Иванов П.И. Преимущества автоматизированных систем проектирования в строительной отрасли. Журнал "Строительная техника и технологии", №7(2), 2020. С. 56-68
2. Смирнов А.Н. Вызовы и перспективы развития автоматизированных систем проектирования. Материалы научной

конференции "Современные технологии в строительстве", 2019. С. 120-135.

3. Козлов В.И. Роль искусственного интеллекта в автоматизированных системах проектирования. Журнал "Инженерные науки и технологии", №5(3), 2021. С. 89-102.

4. Петрова Е.К. Экологические аспекты использования автоматизированных систем в строительстве. Конференция "Устойчивое развитие городской инфраструктуры", 2022. С. 45-50.

5. Соколов Д.М. Обучение инженеров для работы с автоматизированными системами проектирования. Журнал "Инженерное образование", №10(4), 2019. С. 78-91.

УДК 622.013

**ЖИЛКИН С.С.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО И СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА: СИСТЕМА СБОРА СЕЙСМОДАННЫХ МОРСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

*В данной статье рассматривается принцип организации системы сбора и передачи информации. Приведены стандарты и технологии, используемые в рассматриваемой системе.*

Одной из глобальных экологических проблем современности является сохранение и рациональное использование ресурсов Мирового океана. Вследствие этого одним из приоритетных направлений деятельности России и других государств является обеспечение безопасности и конкурентоспособности государства при освоении ресурсов Мирового океана. Перспективным в данной сфере является производство и применение специализированных технических средств приема и регистрации сейсмоакустической информации, однако данный вопрос имеет слабую технологическую и научную разработку. Так, в научной литературе данный вопрос затронут в статье "Современные технологии гидроакустического и сейсмического мониторинга: анализ, задачи, структура комплекса", где определены лишь общая структура морского геофизического комплекса и сведения о цикле сбора сейсмоакустических данных, однако не рассмотрены конкретные этапы цикла сбора

сейсмоакустических данных. В настоящей статье предлагается более подробное изучение одного из этапов цикла сбора сейсмоакустических данных, а именно - передача принятой и преобразованной в цифровой код информации от гидрофонов по каналу связи в бортовой комплекс для ее регистрации, обработки, анализа и отображения.

Предлагаемая структура системы сбора морского геофизического комплекса (для одного стримера) представлена на рисунке 1.

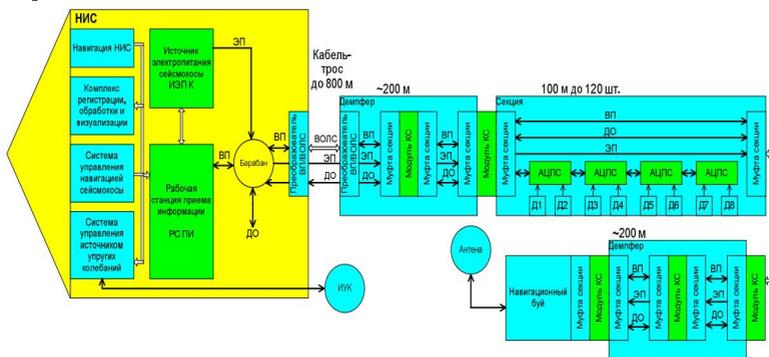


Рисунок 1 – Предлагаемая структура системы сбора сейсмоданных

- ВП – витые пары
- Д1...Д8 – датчики (группы гидрофонов)
- ДО – дополнительное оборудование
- ИУК – источник упругих колебаний
- НИС – научно-исследовательское судно
- ЭП – электропитание

Модуль контроллера секций (КС) осуществляет накопление и передачу информации в линию связи интерфейса Ethernet для регистрации на сервере из состава рабочей станции приема информации. Кроме того, КС осуществляет ретрансляцию переданной информации из последующих секций стримера.

Опрос выходной информации осуществляется по команде КС для каждого АЦПС – 2 байта. Цикл опроса 4-х КС осуществляется после события готовности данных в АЦПС, которое формирует ближайший АЦПС – 2 байта. Таким образом, процесс цикла опроса 4-х АЦПС требует передачу 44 байтов: 38 байт суммарных и 6 байта межбайтового интервала. Учитывая максимальную частоту опроса гидрофонов – 2000 Гц, интерфейс сопряжения модуля КС должен обеспечивать скорость передачи информации не менее 1 Мбит/с.

АЦПС в секции осуществляют прием, аналого-цифровое преобразование аналоговой информации 8-ми гидрофонов. Передача принятой информации в локальную систему сбора секции осуществляется модулем контролера секций. Максимальная частота опроса 8-ми гидрофонов секции – 2000 Гц. В составе стримера до 120 информационных секций, которые одновременно опрашивают до 960 гидрофонов, и еще одна секция концевого буя.

Модуль КС сопрягается с модулем АЦПС физическим интерфейсом RS-485 по протоколу UART, где 1 байт равен 1 стартовый бит + 8 информационных бит + 1 паритетный бит + 1 стоповый бит.

Формат выходного кадра КС основывается на структуре стандартного фрейма интерфейса Ethernet размером не более 1526 кбайт. Наибольшая эффективность процесса передачи информации достигается при размере сформированного кадра пользователя, приближающегося к данному значению.

Из этого формата следует, что частота формирования выходного кадра КС – не более 44 Гц (2000 Гц/46 циклов опроса). Таким образом, для передачи кадра одной секции требуется пропускная способность интерфейса не менее 66528 байт/с.

Исходя из принципа модуляции Fast Ethernet 100 мбит/с с кодированием 8/10, принятого в реализации физического уровня интерфейса Fast Ethernet, 1 байт=10 бит, пропускная способность канала связи интерфейса Fast Ethernet, обеспечивающая передачу измерительной информации от стримера к регистрирующему серверу, должна быть не менее 80498880 бит/с (77 Мбит/с).

Для Gigabit Ethernet применяется помехозащищенная четырехпроводная связь с обычным представлением байта 1 байт=8 бит, соответственно на 20 % Gigabit Ethernet увеличивает пропускную способность на физическом уровне.

Стандарт интерфейса Ethernet предлагает для данного случая две спецификации:

а) IEEE 802.3 u – интерфейс Fast Ethernet 100 Мбит/с, реализация канала связи 2 витые пары;

б) IEEE 802.3 ab – интерфейс Gigabit Ethernet 1Гбит/с, реализация канала связи 4 витые пары.

Необходимость повышения надежности процесса передачи данных требует использования коэффициента загрузки канала не более 0,7-0,8. Кроме того, задержки передачи информации, обусловленные последовательной структурой канала, увеличивающей реальное время доставки полного пакета фреймов в 2 раза, требует уменьшения

коэффициента загрузки до 0,35-0,4. Таким образом, при использовании Gigabit Ethernet 1 Гбит/с получим пропускную способность не более 350-400 Мбит/с, для интерфейса 100 Мбит/с – не более 35-40 Мбит/с. Следуя этому, реализацию информационного канала связи стримера обеспечивает интерфейс Gigabit Ethernet 1 Гбит/с.

При возможности уменьшения максимальной частоты опроса гидрофонов стримера до 1000 Гц для количества секций 121 или уменьшения максимального количества секций до 61 для частоты опроса 2000 Гц, возможно применение в реализации информационного канала связи стримера стандарта IEEE 802.3 u – интерфейс Fast Ethernet 100 Мбит/с.

Последовательное соединение секций стримера подразумевает последовательную структуру организации информационного канала связи. Обобщенная структура такой организации для интерфейса взаимодействия Ethernet представлена на рисунке 2.

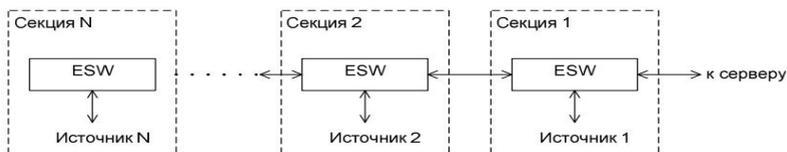


Рисунок 2 – Обобщенная структура связи в стримере

Здесь измерительная информация секции, преобразованная в формат кадра интерфейса Ethernet (фрейм), поступает в один из портов коммутатора Ethernet (ESW), который транслирует коммутируемую информацию в порт линии связи. В порт линии связи также транслируются фреймы следующей секции – с порта линии связи ее коммутатора. Таким образом, организуется распределенная система передачи информации на один приемник (сервер) в виде цепи локальных передатчиков, обеспечивающая передачу N фреймов за время T, не превышающее требуемое по заданным параметрам.

Каждый коммутатор обеспечивает выдачу фрейма с задержкой равной времени выдачи одного фрейма. Таким образом, N последовательно подключенных коммутаторов создадут задержку передачи одного фрейма равную времени передачи N фреймов. Из этого следует, что для передачи в данной структуре N фреймов (по 1 фрейму на каждый из N коммутаторов) требуется время 2T или при T заданном, увеличение пропускной способности в 2 раза. В реальном коммутаторе, при наличии глубокого буфера входных фреймов, это соотношение будет уменьшаться.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Виктор Никамин: Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Справочник – СПб.: КОРОНА принт; М.: «Альтекс-А», 2003. – 224с.
2. Джонсон, Говард В. Высокоскоростная передача цифровых данных. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2005. – 1024 с.
3. Жилкин С.С. Современные технологии гидроакустического и сейсмического мониторинга: анализ, задачи, структура комплекса / Информационные технологии, межвузовский сборник научных трудов. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2023.
4. Магда Ю.С. Программирование последовательных интерфейсов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 304 с.
5. Brian W. Kernighan Understanding the Digital World: [Электронный ресурс]. URL: <https://djvu.online/file/XqSOEIamRnKYp>

УДК 004.89

**ЗАЙЦЕВ Е.С.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

**АКТУАЛЬНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ  
РЕГУЛИРОВКИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА**

*Рассматриваются инновационные подходы и технологии, применяемые в интеллектуальных городах для управления и обслуживания инфраструктуры, такие как сенсоры и интернет вещей, а также умное управление транспортом.*

В современном мире города становятся центрами развития и инноваций, привлекая все большее количество людей и предоставляя уникальные возможности для жизни, работы и развлечений. Однако с увеличением населения и развитием городской инфраструктуры возникают новые задачи, связанные с управлением и обслуживанием городских систем.

С ростом популярности жизни в городе и увеличением общего количества машин, проблема трафика является как никогда актуальной. Поскольку большинство городов России не были спроектированы под такое количество машин, одним из самых действенных решений проблем дорожных пробок является применение интеллектуальных систем регулировки движения транспорта.

Основной метод увеличения эффективности городской транспортной сети заключается в применении скоординированных схем управления светофорами, включая централизованные адаптивные системы. Локальный адаптивный режим позволяет автоматически корректировать работу светофоров на основе данных от дорожных детекторов, которые напрямую поступают в контроллер.

Светофор — ключевой элемент управления транспортным потоком. В контексте цифрового двойника он представляет собой уникальный элемент графа улично-дорожной сети (УДС), который динамически изменяет связи графа, открывая и закрывая направления движения на определенные промежутки времени.

Благодаря полной цифровизации системы управления, становится возможным использовать математическую оптимизацию для улучшения потоков транспорта. Электронный паспорт светофора — это машиночитаемая схема управления трафиком, интегрированная в граф дорожного движения и обогащенная данными проектов дорожной организации. Добавление реальных данных мониторинга от дорожных детекторов делает цифровой двойник достаточно точным и позволяет значительно усовершенствовать управление трафиком за счет использования алгоритмических подходов, эвристик и методов на базе нейронных сетей.

Сенсоры, камеры и интернет вещей (IoT) играют ключевую роль в развитии интеллектуальных городов, предоставляя ценные данные о состоянии городской инфраструктуры и окружающей среды. Установленные в различных точках города, эти сенсоры непрерывно собирают информацию о транспортных потоках.

Камеры, установленные на дорогах и перекрестках, автоматически собирают данные о движении транспорта, скорости движения и наличии пробок. Эти данные используются для оптимизации работы светофоров, регулирования трафика и предотвращения заторов.

Так же, помимо камер, на некоторых перекрестках устанавливают индукционные петли, которые закладываются под асфальт и при размещении над ней автомобиля, передают информацию в контроллер.

Но наиболее перспективным и быстроразвивающимся решением являются дорожные камеры с компьютерным зрением.

Несанкционированное использование локального адаптивного режима может привести к проблемам, превосходящим его пользу. Такое управление часто нарушает координацию между светофорами, так как оно не учитывает общую продолжительность фаз основных

потоков, которые могут быть нарушены из-за сигналов от местных детекторов.

Это затрудняет корректную настройку временных интервалов между светофорами, что приводит к тому, что основной трафик регулярно останавливается на каждом светофоре. Это резко снижает общую пропускную способность, усугубляемую отсутствием координации (например, не учитываются условия на других перекрестках или пропускная способность других участков). В результате, когда система сталкивается с перегрузкой на узком участке (например, въезд на Садовое кольцо), светофоры начинают перекладывать избыточную нагрузку на уже перегруженные узлы. Это может привести к перегрузке критической точки и последующему застою даже на локально адаптивном перекрестке, вызывая серьезные пробки в часы пик, которые трудно разрешить.

В случаях, когда локальный адаптив приводит к проблемам или не работает оптимально, дорожные органы могут взять управление светофором на себя, переведя его в координированный или диспетчерский режим для распределения потоков в нужных направлениях. Это может помочь разгрузить даже кажущиеся безнадежными пробки. Однако одной из проблем локальных адаптивных систем остается то, что их контроллеры не поддерживают возможность корректного удаленного управления.

В современном мире управление транспортными потоками в городах становится все более сложной задачей в условиях растущего числа автомобилей и ограниченных дорожных ресурсов. Однако применение интеллектуальных технологий, таких как скоординированные схемы управления светофорами и системы компьютерного зрения, открывает новые перспективы для оптимизации городской транспортной инфраструктуры.

Использование сенсоров, камер и других технологий позволяет непрерывно собирать данные о транспортных потоках и принимать на основе этих данных автоматизированные решения. Особое внимание следует уделить развитию локальных адаптивных систем, способных автоматически корректировать работу светофоров в реальном времени на основе данных о текущей ситуации на дорогах.

Однако необходимо учитывать возможные проблемы, связанные с несанкционированным использованием локальных адаптивных режимов, которые могут привести к нарушению координации между светофорами и снижению пропускной способности трафика. Тем не менее, при правильной настройке и управлении такие системы могут

значительно улучшить транспортную ситуацию в городах, снизив затраты времени и ресурсов на перемещение.

Таким образом, применение интеллектуальных технологий в управлении городским транспортом является ключевым направлением развития современных городов, способствующим созданию более эффективной, безопасной и устойчивой транспортной.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Антонова, Ю.И., Мироненко, В.Н., Калужный, В.Г. и др. Интеллектуальные города: концепция и перспективы развития // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2019. – No 42. – С. 103-112.

2. Smith, J., Johnson, A., Brown, K. Smart Cities and Urban Governance: The Need for New Approaches // Journal of Urban Technology. – 2020. – Vol. 27, Issue 3. – P. 41-56.

3. Li, M., Kourtellis, N., Benczúr, A., Leung, C.K., Hui, P. Data-Driven Smart City: Concepts, Methodologies, and Applications // IEEE Transactions on Big Data. – 2021. – Vol. 7, Issue 2. – P. 313-327.

4. Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N., Meijers, E. Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities // Centre of Regional Science, Vienna UT. – 2007.

5. United Nations. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision // Department of Economic and Social Affairs, Population Division. – 2018.

УДК 004.65

**ЗАМЯТИНА В.А.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В ПРОИЗВОДСТВЕ**

*В этой статье будет рассматриваться основное применение генетического алгоритма в различных областях и где можно его использовать на производстве для оптимизации процесса.*

В данный момент с развитием технологий вопрос оптимизации процесса начал подниматься всё чаще. Повышение функциональности и эффективности большинства процессов являются крайне желанными в современное, быстро развивающиеся время. Поэтому не удивительно, что на сегодняшний день существует множество методов

оптимизации. Одним из таких методов является генетический алгоритм.

Генетический алгоритм — это алгоритм, предназначенный для решения задач оптимизации. Данный метод предполагает подбор таких значений весов, при которых достигается минимальное расхождение с итоговым результатом [1].

Оценка генетического алгоритма имеет сравнительный характер, ему неизвестна близость данного решения к оптимальному. Операторы выбора родителей и селекции управляют множеством индивидов, которые переходят из одного поколения в следующее. На основе выбранных родителей создаются потомки, а остальные удаляются из популяции. Родителями выбирают такие особи, которые приведут к образованию лучше приспособленного потомка. Основной сложностью разработки оператора выбора родителей является незнание генетического алгоритмом таких индивидов, которые наилучшим образом подошли бы в качестве родителей.

Генетический алгоритм имеет большую роль в инженерном деле для решения задач оптимизации, где традиционные методы могут оказаться неэффективными.

Так в строительстве ГА используется для оптимизации проектирования таких конструкций, как мосты, здания и транспортные средства. Представляя параметры конструкции в виде генов в генетическом алгоритме, инженеры могут эффективно искать оптимальную конфигурацию, которая минимизирует вес, стоимость или максимизирует прочность и стабильность.

В электротехнике генетические алгоритмы применяются для оптимизации проектирования электронных схем. В оптической инженерии генетические алгоритмы используются для оптимизации конструкции оптических систем, таких как линзы, зеркала и фильтры.

В целом, генетические алгоритмы предлагают инженерам мощный инструмент оптимизации для решения сложных инженерных задач в различных областях, что приводит к более эффективным, экономичным и инновационным решениям [2].

Кроме инженерии генетический алгоритм применяется и в других областях, таких как финансы.

Генетические алгоритмы используются в приложениях по управлению рисками, таких как кредитный скоринг, ценообразование на страхование и обнаружение мошенничества. Его можно использовать для задач финансового прогнозирования, таких как прогнозирование цен на акции, обменных курсов и рыночных тенденций.

Так же генетический алгоритм используется в таких областях как:

1. Биоинформатика.
2. Разработка игр.
3. Интеллектуальный анализ данных и машинное обучение.
4. Телекоммуникации.
5. Транспорт и логистика.

Во время перечисления методов использования мы можем подметить, что использование генетического алгоритма возможно во многих областях. Но как это поможет в производстве?

Предположим, мы уже начали оптимизировать производство, с помощью введения бережливого производства и ряда методик (таких как Кайдзен, 5S, управление качеством).

Для дальнейшей оптимизации производства нам поможет генетический алгоритм. Например, в генерации пути для диаграммы «Спагетти».

Диаграмма "Спагетти" (spaghrtti chart) — это наглядный инструмент, который позволяет описать траекторию движения работника, продукта, транспорта, инструментов или сырья по предприятию. Название связано с тем, что сама диаграмма зачастую выглядит как тарелка спагетти.

Суть метода заключается в нанесении на план-схему предприятия траектории движения сотрудников, транспорта или других объектов (Рисунок 1). После этого руководитель разрабатывает решения, которые бы позволили сократить ненужные передвижения, тем самым сократив потери времени.

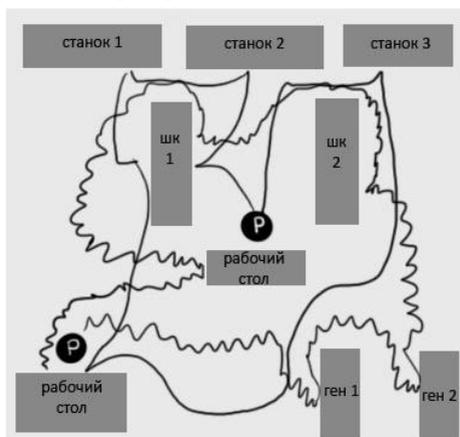


Рисунок 1 – Пример диаграммы Спагетти

Использование данной диаграммы может быть обширно, поэтому для разработки программы будем брать процесс оптимизации времени передвижения сотрудников или транспорта по цехам. Введение генетического алгоритма в этот метод может сильно упростить процесс выбора идеальной траектории с меньшей потерей времени. Передвижение персонала мы будем представлять в виде хромосом в генетическом алгоритме, которые и будут проходить весь процесс. Как только алгоритм сойдется или достигнет критерия остановки, пользователю представится выбор наилучшей траектории.

Формулировка поставленного алгоритма представляет расчёт общего уравнения траектории и общего времени, предполагая линейную интерполяцию между точками маршрута и постоянную скорость. Станки мы представим в виде точек  $P_i = (x_i; y_i)$ ; где  $x_i$  и  $y_i$  - координаты станка.

$T_i$  - Время передвижения от точки  $P_i$  к  $P_{i+1}$ .

$t$  - Общее время прохождения пути.

$u$  - скорость передвижения между точками.

$t_i$  - Время передвижения от одной точки к другой

Начало пути мы будем считать за  $P_0 = (x_0; y_0)$ , а начало отсчета времени за  $t_0=0$ .

Принцип расчета траектории будет строится на линейной интерполяции

Для расчёта траектории движения будем использовать данную формулу:

$$x(t) = \begin{cases} x_0 \\ x_i + \frac{(x_{i+1} - x_i)}{T_i} * (t - t_i) \end{cases};$$

$$y(t) = \begin{cases} y_0 \\ x_i + \frac{(y_{i+1} - y_i)}{T_i} * (t - t_i) \end{cases};$$

где  $t \leq t_0; t \leq t_{i+1}$

Найдя координаты новой точки  $P_i$ , мы можем найти и  $T_i$  по формуле:

$$T_i = \frac{d}{u}$$

Где  $d$  - расстояние между точками  $P_i$  и  $P_{i+1}$ . [3]

После нахождения последней точки будет производиться расчёт общего времени прохождения пути:

$$T_{\text{общ}} = \sum_{i=0}^{k-1} T_i$$

Таким образом, на сегодняшний день использование генетического алгоритма в производстве — это потенциально выигрышный вариант в процессе оптимизации отдельных областей производства.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Панченко Т. В. Генетические алгоритмы. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 87
2. Гарколь Н.С., Гунер М.В. Применение генетических алгоритмов в решении задачи планирования производства и реализации продукции. – Томск, 2011.
3. Трубицын А.А. Расчет траектории движения материальной точки в двумерном (осесимметричном) консервативном поле // Журнал вычислит, матем. и матем. физики. – 1990. – Т. 30, № 7. – С. 1113-1115.

УДК 621.39

**КИРЮХИН В.В.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### ИНЖЕНЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ELCUT

*Рассматривается задача теплопередачи и теории упругости в программной среде ELCUT, теоретическая база и шаги проведения анализа.*

ELCUT является современной программой для инженерного моделирования методом конечных элементов в областях электромагнетизма, теплопередачи и механики [1].

Рассмотрим следующую задачу в программной среде ELCUT:

1. Теплопередача методом конечных элементов.
2. Теории упругости методом конечных элементов.

Решение задачи теплопередачи в программе ELCUT может быть выполнено как в линейной, так и в нелинейной формулировках. Уравнение теплопроводности для таких задач выражается следующим образом [2]:

- в линейной:

- плоскопараллельных

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q$$

- осесимметричных

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda_r r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q$$

• в нелинейной:

- плоскопараллельных

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q(T)$$

- осесимметричных

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda(T) r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q(T)$$

где  $T$  – темп.;  $\lambda_{x(y,z,r)}$  - в линейной, компоненты тензора теплопроводности;  $\lambda(T)$ - коэффициент теплопроводности, берётся из таблицы, в нелинейной;  $q$  - удельная мощность тепловыделения: в линейной постановки является постоянная, в нелинейной будет задаваться таблицей.

Параметры уравнений в пределах каждого блока модели в рамках линейной постановке остаются постоянными.

ELCUT предоставляет возможность определить источники тепла в различных элементах модели, таких как блоки, рёбра и вершины. Например, источник тепла, заданный в вершине модели, представляет собой нагреватель в форме струны, проходящей через эту вершину перпендикулярно плоскости модели. Его характеристика задаётся мощностью тепловыделения на единицу длины. В случае осесимметричной модели точечный источник поля описывает нагреватель в форме окружности вокруг оси симметрии или точечный источник, расположенный на оси. Для охвата обоих этих случаев точечный источник всегда описывается полной тепловой мощностью. Источник тепла, заданный на ребре модели, соответствует тепловыделяющей поверхности в трехмерном пространстве. Он характеризуется поверхностной плотностью тепловыделения и описывается при помощи граничного условия второго рода для этого ребра.

Источник тепла, заданный для блока модели, представляет собой объемный источник тепла и характеризуется объемной плотностью тепловыделения.

Граничные условия в задачах температурного поля могут быть следующими:

Условие заданной температуры: определяет заранее заданное значение температуры  $T_0$  на ребре или в вершине модели. Условие первого рода.

Условие заданного теплового потока: описывает тепловой поток через внешние и внутренние границы.

$$F_n = -q_s \text{ - на внешних границах,}$$

$$F_n^+ - F_n^- = -q_s \text{ - на внутренних границах,}$$

Для внутренней границы  $q_s$  означает поверхностную мощность источника, а для внешней - известное значение теплового потока через границу  $q$ . Если мощность источника нулевая, условие называется однородным второго рода.

Граничное условие конвекции: описывает конвективный теплообмен с окружающей средой. Задается формулой:  $F_n = \alpha(T - T_0)$ , где  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи,  $T_0$  - температура окружающей среды. Параметры  $\alpha$  и  $T_0$  могут меняться от ребра к ребру. Граничное условие этого типа иногда называют граничным условием третьего рода.

Граничное условие радиации: Описывает конвективный теплообмен с окружающей средой. Задается формулой

$$F_n = k_{SB}(T^4 - T_0^4),$$

где  $k_{SB}$  - константа Стефана-Больцмана,  $\beta$  - коэффициент поглощения поверхности,  $T_0$  - температура поглощающей среды.

Для корректной постановки задачи необходимо задать хотя бы одно из следующих условий на границе: заданную температуру, условие конвекции или радиации.

Также возможно использование граничного условия равной температуры для тел с высокой теплопроводностью, где вся поверхность описывается как имеющая одинаковую температуру.

При анализе результатов задачи нахождения температурного поля ELCUT позволяет оперировать со следующими локальными и интегральными физическими величинами.

Локальные величины:

- Температура  $T$ .

- Вектор плотности теплового потока  $F = -\lambda \text{grad}T$ .

$$F_x = -\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x}, F_y = -\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \text{ - в плоском случае;}$$

$$F_z = -\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z}, F_r = -\lambda_r \frac{\partial T}{\partial r} \text{- в осесимметричном случае.}$$

Поток тепла через заданную поверхность

$$\Phi = \int F \cdot n ds,$$

где  $n$  - единичный вектор нормали к поверхности. Поверхность интегрирования задается контуром в плоскости модели, состоящим из отрезков и дуг окружностей.

Пример проведения анализа теплопередачи в ELCUT

Шаг.1 Ввод начальных данных, выбор типа задачи и файлов модели (рисунок 1).

В этом шаге нам необходимо назвать задачу и выбрать место хранения, далее выбираем тип задачи, класс модели, единицы измерения, и остальные параметры.

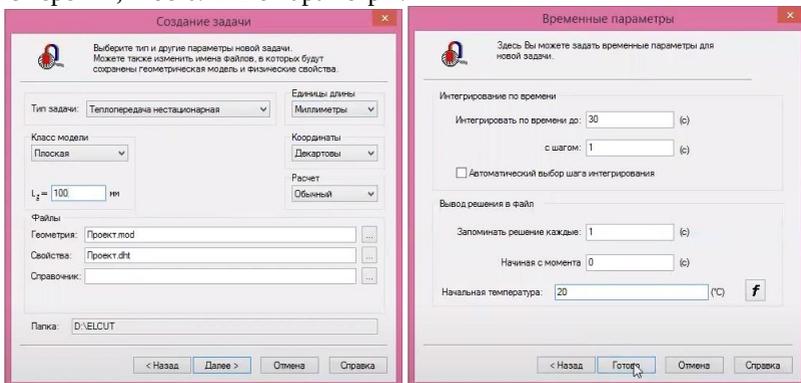


Рисунок 1 – Заполнение начальных данных

### Шаг. 2 Создание модели

Для проведения анализа любой структуры требуется сначала построить модель отражающую её структуру. Для анализа возьмём пластину из меди и слани с вырезом по центру.

Настроим сетку привязки в меню «Вид» Сетки привязки» указав удобный для нас шаг. Затем построим модель перейдя в режим «Вставки».

### Шаг. 3 Установка физических свойств и создание сетки.

В ELCUT для каждого участка модели можно задать свой материал (Рисунок 2, 3). Для этого в дереве проекта в нужном нам каталоге меток создаём новую, с именем соответствующего материала. Поле чего зайдя в созданные нами метки указываем параметры материала. После заполнения окон с параметрами восклицательный знак возле метки пропадёт.

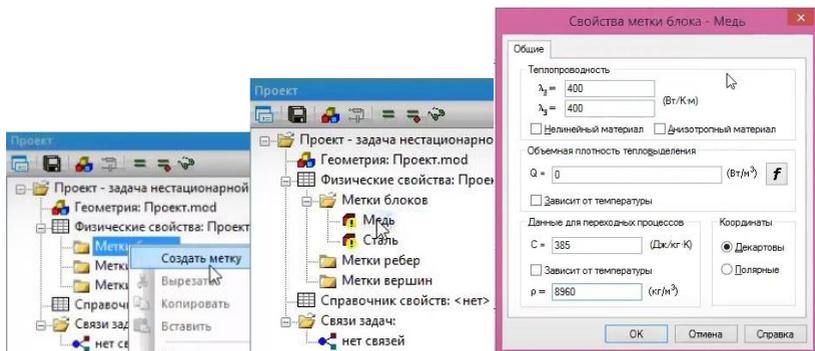


Рисунок 2 – Пример создания меток для внутренних участков сетки

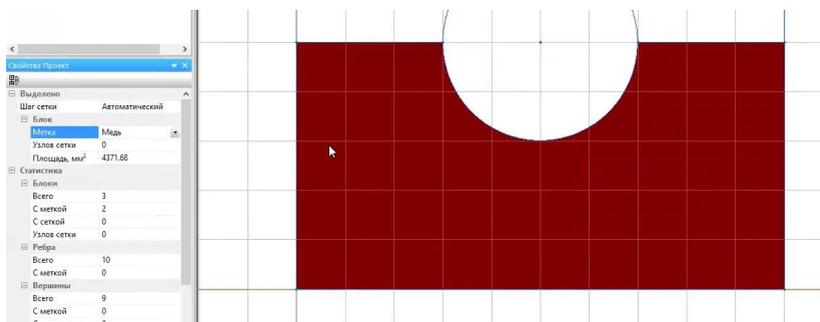


Рисунок 3 – Назначение метки для участка сетки.

Таким же образом зададим метки воздействий. Во вкладке свойства метки ребра необходимо указать тип воздействия и величину. После этого образом задать рёбра, к которым приложено воздействие.

После завершения построений создадим сетку конечных элементов с шагом 7 мм (Рисунок 4).

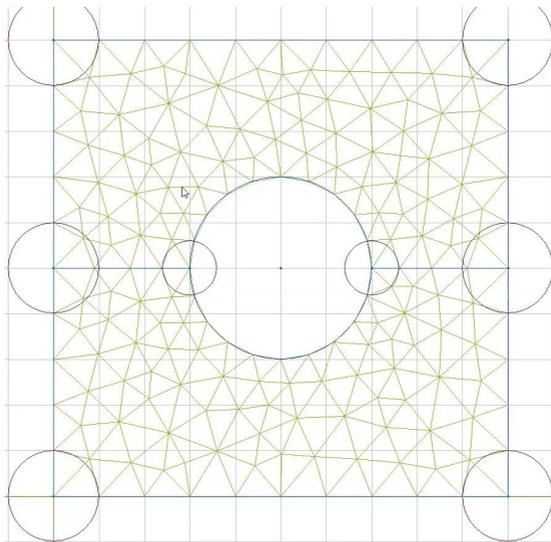


Рисунок 4 – Задание сетки

Для получения результата осталось нажать кнопку решить. Результаты анализа показаны на рисунке 5.

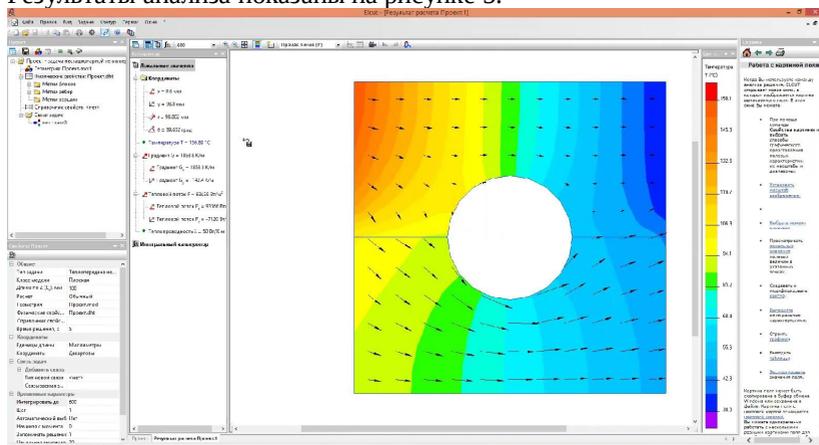


Рисунок 5 – Результаты анализа.

Решение задач теории упругости методом конечных элементов.

ELCUT обрабатывает проблемы теории упругости, касающиеся плоских напряжений, деформаций и осесимметричного напряженного состояния, при этом учитываются как изотропные, так и ортотропные свойства материалов. Подход, связанный с плоскими напряжениями,

применим для анализа структур, с малой толщиной и нагруженных в плоскости модели. В этом случае предполагается, что напряжение в направлении, перпендикулярном к плоскости модели, отсутствует. Задача плоских деформаций, с другой стороны, предполагает, что деформации за пределами плоскости модели отсутствуют. Такой подход подходит для моделирования объектов с большой толщиной в направлении, перпендикулярном к плоскости модели.

Поле перемещений определяется двумя значениями  $\delta$  (вектора перемещений) для каждой точки:

$$\delta = (\delta_x, \delta_y)^T \text{ – в плоских задачах;}$$

$$\delta = (\delta_z, \delta_r)^T \text{ – в осесимметричных задачах.}$$

Деформация связана с перемещением, соотношением:

$$\varepsilon = (\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy})^T = \left( \frac{\partial \delta_x}{\partial x}, \frac{\partial \delta_y}{\partial y}, \frac{\partial \delta_x}{\partial y} + \frac{\partial \delta_y}{\partial x} \right)^T$$

напряжение выражено следующим образом:

$$\sigma = (\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy})^T$$

Уравнение для полной деформации в осесимметричном случае будет следующее из-за радиального перемещения приводящего к деформации  $\varepsilon_\theta$  в направлении, перпендикулярном плоскости модели:

$$\varepsilon = (\varepsilon_z, \varepsilon_r, \varepsilon_\theta, \gamma_{rz})^T = \left( \frac{\partial \delta_z}{\partial z}, \frac{\partial \delta_r}{\partial r}, \frac{\delta_r}{r}, \frac{\partial \delta_z}{\partial r} + \frac{\partial \delta_r}{\partial z} \right)^T$$

Напряжение:

$$\sigma = (\sigma_z, \sigma_r, \sigma_\theta, \tau_{rz})^T$$

Выражение для задач статического равновесия следующие:

- плоскопараллельных:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + P_x = 0; \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + P_y = 0, \end{cases}$$

- осесимметричных:

$$\begin{cases} \frac{1}{r} \frac{\partial (r\sigma_r)}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + P_r = 0; \\ \frac{1}{r} \frac{\partial (r\tau_{rz})}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + P_z = 0, \end{cases}$$

где  $P_x$ ,  $P_y$  и  $P_r$ ,  $P_z$  - части вектора плотности объемной силы.

При упругом поведении материалов, соотношение которым описывается взаимосвязь напряжения и деформации:

$$\sigma = D(\varepsilon - \varepsilon_0),$$

где  $D$  - матрица упругости,  $\varepsilon_0$  - начальная термическая деформация, вызванная перепадом температур.

Матрица  $D$  зависит от применяемой постановки.

ELCUT учитывает сосредоточенные, поверхностные и объемные силы, воздействующие на модель упругости. Сосредоточенные силы определяются в вершинах в виде двух компонент вектора. Поверхностные силы могут быть заданы на ребрах модели как две компоненты вектора или как нормальное давление. Объемные силы определяются внутри блока также в виде двух компонент вектора, где каждая компонента может быть линейной функцией координат, например, для учета центробежных сил. Давление также может быть задано линейной функцией, например, для моделирования гидростатического давления.

Жесткое закрепление по одной или обоим координатам может быть установлено в любой вершине или вдоль любой стороны области. Фиксированное перемещение вдоль линий закрепления определяется линейной зависимостью от координат.

Условие пружинного подвеса описывает вершину, на которую действует сила, пропорциональная разнице между ее текущим и исходным положением. Оно определяется жесткостью пружины и начальным положением ее закрепленного конца.

Пример проведения анализа упругости в ELCUT.

Проведём анализ динамометрического ключа по следующим шагам:

Шаг.1 Выбор типа задачи и файлов модели.

В этом шаге нам необходимо назвать задачу и выбрать место хранения, далее мы должны указать тип задачи «Упругие напряжения и деформации», класс модели «Плоская», единицы измерения.

Шаг. 2 Задание геометрии модели.

Для удобства в начале настроим сетки привязки в меню «Вид> Сетки привязки» указав удобный для нас шаг.

Теперь нам нужно построить модель, состоящую из прямых линий и дуг. Для этого перейдём в режим «Вставки».

После построения модели следующим действием является постройка сетки конечных элементов.

Шаг. 3 Задание физических свойств.

С помощью меток назначим свойства материалов, граничные условия, источники (рисунок 6).

1. В папке «Метки ребер» создадим метку закреплено которая будет зафиксирована по обеим координатам.

2. В папке «Метки блоков» добавим метку для стали в которой укажем модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

3. В папке «Метки вершин» введём метку вершины, в неё укажем силу, воздействующую на ключ.

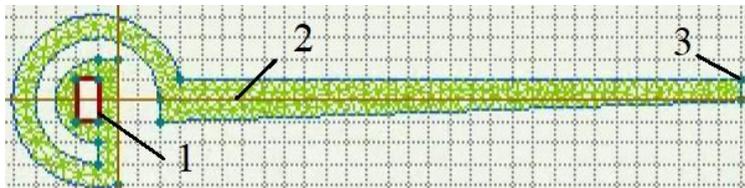


Рисунок 6 – Модель ключа с сеткой и указанием позиций меток

Шаг. 4 Получение результатов.

Для получения результата анализа осталось нажать кнопку решить. Пример результатов анализа показан на рисунке 7.

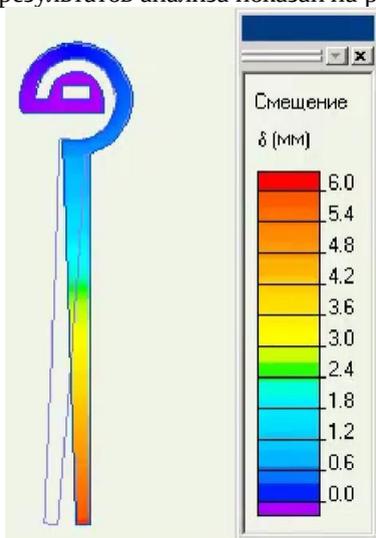


Рисунок 7 – Результаты анализа

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. САПР ELCUT [Электронный ресурс]. – URL: [https://elcut.ru/feat\\_r.htm](https://elcut.ru/feat_r.htm).

2. Решение задач теплопроводности методом конечных элементов в системе ELCUT [Электронный ресурс]. – URL: <https://elcut.ru/publications/mishichev.pdf>.

УДК 621.382

**КОМАРОВА А.Ю.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **3D-ПЕЧАТЬ В ЭЛЕКТРОНИКЕ**

*В статье описано использование 3D-печати для быстрого прототипирования электронных устройств. Проведено сравнение между изготовлением печатных плат с использованием традиционных технологий и аддитивных технологий с использованием 3D-принтеров Dragonfly. Описаны возможности аддитивных технологий при проектировании радиоэлектронных устройств.*

3D-печать в электронике - перспективная область, сочетающая инновационные технологии аддитивного производства с электронной промышленностью. Этот метод позволяет создавать сложные электронные устройства и компоненты с высокой степенью интеграции и миниатюризации, открывая новые возможности для разработчиков и производителей.

3D-печать в электронике основана на совершенствовании материала, что позволяет формировать объекты сложной формы с внутренней структурой, недоступной традиционным методам производства. Используются различные технологии, включая стереолитографию (SLA), фотополимеризацию, лазерное плавление металлических порошков (SLS, DMLS), а также прямую печать металлов и полупроводниковых материалов.

Используя 3D-печать, можно изготавливать электронные компоненты с высокой степенью интеграции, включая печатные платы, микрочипы, датчики и другие элементы. Такой подход позволяет уменьшить габариты устройства и повысить его производительность.

3D-печать открывает возможности для создания персонализированных электронных устройств и компонентов под конкретные нужды клиентов. Это могут быть уникальные гаджеты, носимая электроника, медицинские приборы и другие продукты.

Технология 3D-печати играет важную роль в производстве электронных компонентов, предлагая новые возможности для разработки и производства. Эта технология поощряет инновации в

дизайне, ускоряет процесс разработки и снижает производственные затраты. Давайте взглянем на некоторые из основных технологий 3D-печати, используемых при производстве электронных компонентов:

1. Прямая струйная 3D-печать позволяет наносить проводящие, изоляционные и полупроводниковые материалы на различные носители, создавая многослойные электронные устройства. Этот метод идеально подходит для создания печатных плат, микроэлектроники и даже фотоэлектрических элементов. Благодаря высокой точности и возможности нанесения нескольких типов материалов струйная 3D-печать открывает путь для интегрированных электронных систем и специальных устройств.

2. Аэрозольное распыление - это процесс, при котором материал в форме аэрозоля наносится на подложку для создания тонкой пленки. Этот метод может быть использован для создания проводящих дорожек, резисторов и других электронных компонентов на гибких или жестких подложках. Аэрозольное распыление особенно полезно при производстве гибкой и носимой электроники, где требуется определенная степень гибкости и легкий вес конструкции.

3. Селективное лазерное спекание (SLS) / прямое лазерное спекание металла (DMLS) использует лазеры для спекания металлических порошков, создавая прочные и долговечные компоненты. Эта технология используется для изготовления корпусов металлических компонентов, разъемов, антенн и тепловых излучателей. В дополнение к прочности, они позволяют создавать детали сложной геометрии, что идеально подходит для компактных и интегрированных электронных устройств.

4. Фотополимеризация (SLA/DLP) используется для создания высокоточных и сложных электронных компонентов, таких как корпуса, рычаги и другие опорные элементы устройств. Технологии SLA и DLP позволяют достичь высокого разрешения и гладкости поверхности, что делает их пригодными для изготовления деталей с точными допусками и сложной внутренней геометрией.

5. Сплавление нитей накала (FDM/FFF) - наиболее распространенная и доступная технология 3D-печати, используемая для создания прототипов и некоторых конечных продуктов [1].

Прототипирование 3D-печать широко используется при создании прототипов электронных компонентов и устройств. Благодаря ей ускоряется процесс разработки новых продуктов, так как позволяет быстро вносить изменения в дизайн и тестировать различные варианты.

3D-печать открывает возможности для создания персонализированных электронных устройств и компонентов под конкретные нужды клиентов. Это могут быть уникальные гаджеты, носимая электроника, медицинские приборы и другие продукты.

Применение технологии 3D-печати в электронике имеет несколько уникальных особенностей, которые отличают ее от других областей применения аддитивного производства. Эти особенности влияют на процесс разработки и производства конечного продукта.

В настоящее время область 3D-печати уже достаточно развита, чтобы использовать 3D-печать не только при изготовлении корпусов, но и полнофункциональных электронных компонентов. Это достигается с помощью проводящих и токопроводящих чернил, которые значительно сокращают полный цикл разработки электронных устройств.

3D-печать позволяет наносить проводящие, диэлектрические и полупроводниковые материалы непосредственно на подложку, формируя необходимые электронные схемы и компоненты, такие как резисторы, конденсаторы и даже интегральные схемы.

Интеграция существующих компонентов: В процессе 3D-печати можно интегрировать стандартные электронные компоненты, такие как микросхемы и диоды, добавляя их на определенных этапах печати для создания полнофункциональных устройств.

Печать из нескольких материалов: Современные 3D-принтеры способны работать с различными материалами в рамках единого процесса печати, что позволяет создавать сложные устройства с различными физическими и электрическими свойствами.

Гибкость и адаптивность: Аддитивные технологии дают возможность легко модифицировать конструкции и экспериментировать с различными конструкциями без необходимости менять производственное оборудование.

Прототипирование и мелкосерийное производство: 3D-печать идеально подходит для создания прототипов и изготовления небольших партий устройств, поскольку сокращает время и стоимость производства по сравнению с традиционными методами [2].

На рисунках 1 и 2 показано сравнение традиционной и аддитивной технологий производства радиоэлектронных устройств на примере двусторонней печатной платы. Как видите, при использовании 3D-печати используется небольшое количество технологических операций, что благотворно сказывается на скорости и качестве прототипирования. Следует отметить, что при традиционном способе изготовления печатных плат наличие операции травления

приводит к появлению бокового травления на проводниках. Это ограничивает разрешающую способность процесса.



Рисунок 1 – Аддитивная технология изготовления двухсторонней печатной платы

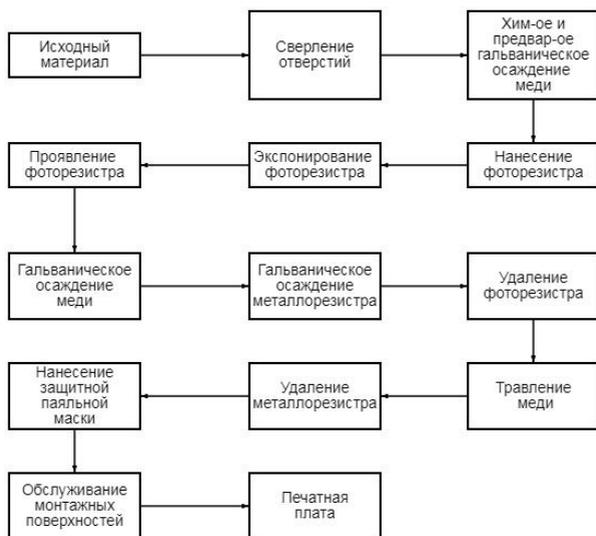


Рисунок 2 – Традиционная технология изготовления двухсторонней печатной платы

В настоящее время можно создавать многослойные печатные платы с помощью 3D-принтера израильской компании NanoDimension, DragonFly models. 3D-принтер оснащен двумя печатающими головками для печати токопроводящими красками. Программное обеспечение принтера позволяет использовать стандартные файлы для изготовления печатных плат.

Диаметр капли диэлектрика составляет 3 мкм, а токопроводящих чернил - 0,3 мкм, что позволяет изготавливать прецизионные платы вплоть до пятого класса точности. На рисунке 3 показана четырехслойная печатная плата, изготовленная с использованием 3D-принтера DragonFly.

3D-принтеры DragonFly от NanoDimension - это революционные устройства для 3D-печати электроники, включая печатные платы, антенны, конденсаторы и датчики. В этих принтерах используется уникальная технология цифрового производства с отключением света (LDM), которая позволяет выполнять 3D-печать электронных схем с минимальным участием оператора или вообще без него.

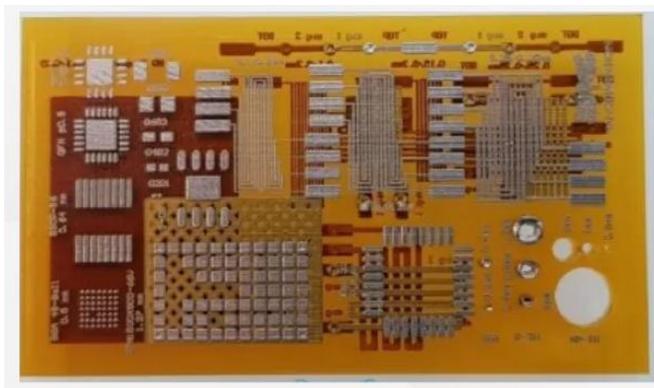


Рисунок 3 – Четырехслойная печатная плата изготовленная с помощью 3D-принтера DragonFly

3D-принтеры DragonFly позволяют проектировать, тестировать и создавать электронные компоненты за один день, объединяя подложку, токопроводящие дорожки и пассивные компоненты в одном процессе. Они обеспечивают большую гибкость проектирования по сравнению с традиционными методами, позволяя создавать соединения в любом направлении в трех измерениях и открывая новые формы в электромеханическом САПР с использованием программного обеспечения FLIGHT.

С помощью 3D-печати можно быстро изготовить прототипы электронных устройств за время, сопоставимое с традиционными методами. Однако полученный прототип будет иметь преимущества не только с точки зрения времени изготовления. Они могут иметь совершенно иную форму для создания аутентичного прототипа продукта на ранней стадии цикла разработки.

Аддитивные технологии позволяют изготавливать печатные платы со встроенными электронными элементами. Таким образом, сокращается длина токопроводящих дорожек, снижаются массогабаритные характеристики плат, повышается механическая прочность плат и обеспечивается защита от влаги. Кроме того, 3D-

печать позволяет перейти от классической плоскостной компоновки электронных устройств к трехмерной компоновке. В конечном счете, передовые технологии 3D-печати могут быть использованы при производстве изделий для конечного пользователя. Таким образом, можно изготавливать изделия с индивидуальными характеристиками.

Преимущества:

- **Скорость производства.** Возможность быстрого перехода от дизайна к готовому изделию.
- **Гибкость дизайна.** Возможность создавать сложные геометрические формы, которые невозможно или трудно изготовить традиционными методами.
- **Экономия материалов.** Аддитивное производство сводит к минимуму материальные потери по сравнению с методами, требующими вычета затрат.
- **Персонализация.** Возможность создавать уникальные продукты и компоненты по индивидуальному заказу.

Недостатки:

- **Ограничения по материалам.** Не все материалы подходят для использования в 3D-печати, что может ограничить производственные возможности некоторых типов устройств.
- **Точность и качество.** Достижение высокого качества печати и точности может быть сложной задачей для некоторых приложений.
- **Стоимость: высокая стоимость**

Существует огромное количество технологий 3D-печати, которые можно использовать для изготовления электронных изделий, но среди них наиболее перспективной является многослойная 3D-микропечать, которая позволяет создавать сложные многокомпонентные устройства из встраиваемой, конформной и гибкой электроники. В то же время, несмотря на значительный прогресс, достигнутый в последние годы в области производства электронных устройств с использованием технологии 3D-печати, рынок 3D-печатной электроники по-прежнему очень мал, и перед этой технологией предстоит значительный путь исследований и разработок широко используется в промышленном производстве [3].

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Кондрашин А.А., Лямин А.Н., Слепцов В.В. Современные технологии изготовления трехмерных электронных устройств. [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.technosphaera.ru/files/book\\_pdf/0/book\\_536\\_155.pdf](https://www.technosphaera.ru/files/book_pdf/0/book_536_155.pdf)

2. Хесин С. 3D-принтер DragonFly. [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/7/article\\_7053\\_36.pdf](https://www.electronics.ru/files/article_pdf/7/article_7053_36.pdf)

3. Ефремов А., Нисан А. Развитие печатной электроники [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/3/article\\_3917\\_912.pdf](https://www.electronics.ru/files/article_pdf/3/article_3917_912.pdf)

УДК 004.414.32

**КОМАРОВА А.Ю.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ В КОНСТРУИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОНИКИ**

*В статье рассматривается роль и значение прототипирования, как создание прототипов помогает разработчикам улучшить дизайн и ускорить процесс разработки.*

Прототипирование – изготовление единичных экземпляров изделий с целью физической проверки конструкции. 3D-прототипирование представляет собой современную уникальную технологию, которая позволяет в кратчайшие сроки «вырастить» любое готовое изделие, модель или деталь. Суть данной технологии состоит в послойной печати определенного физического объекта и на 3d принтере. Для создания любого физического объекта с помощью 3d прототипирования необходимо иметь его компьютерную CAD-модель (CAD-computer-aided design, система автоматизированного проектирования).

Прототипирование играет ключевую роль в проектировании электроники, служа связующим звеном между теоретическими исследованиями и конечным производством продукта. Этот процесс позволяет разработчикам тестировать идеи и концепции в реальных условиях, выявлять потенциальные проблемы и несоответствия до начала массового производства, ускорять процесс разработки и экспериментировать с различными вариантами дизайна, что значительно снижает риски и затраты. Рассмотрим основные роли и значения прототипирования в конструкторской электронике.

Прототипирование позволяет разработчикам оценить дизайн и внешний вид электронных устройств. Создание прототипов является эффективным способом улучшения дизайна электронных устройств, поскольку позволяет визуализировать и проверить концепции и идеи

до начала производства. Рассмотрим несколько способов, как прототипирование помогает разработчикам улучшить дизайн:

1. Визуализация идеи. Прототипирование позволяет легче визуализировать концепции и представить, как устройство будет выглядеть в реальности. Это помогает разработчикам переосмыслить дизайн и внести изменения до начала финального производства.

2. Итеративный дизайн. Благодаря прототипированию разработчики могут проводить итеративные изменения в дизайне, тестируя различные варианты и находя оптимальное решение. Это позволяет улучшить функциональность и эргономику устройства.

3. Тестирование пользовательского опыта. Прототипы позволяют тестировать удобство использования устройства и взаимодействие пользователя с ним. Разработчики могут выявить проблемы и улучшить интерфейс, чтобы сделать продукт более интуитивно понятным для пользователей.

4. Обратная связь от клиентов и заказчиков. Представление прототипов заказчикам или потенциальным пользователям может привести к получению ценной обратной связи. Это позволяет учесть потребности и ожидания клиентов при проектировании и улучшить конечный продукт.

5. Идентификация проблем. Создание прототипов помогает выявить любые дизайнерские или функциональные проблемы на ранних стадиях разработки.

Кроме того, реализация прототипов для демонстрации клиентам или заинтересованным сторонам может помочь разработчикам получить фидбэк и видение будущего продукта, что может являться крайне важным для его успешного позиционирования на рынке [1].

Использование прототипов способствует более эффективному распределению ресурсов. Ошибки, обнаруженные на этапе создания прототипа, обычно требуют меньше времени и денег для исправления, чем те, которые были бы выявлены после начала производства. Это также позволяет более точно планировать производственный процесс и сокращать время вывода продукта на рынок.

Снижение затрат и оптимизация времени достигаются за счет:

- Раннего выявления ошибок. Исправление дефектов на ранних стадиях обходится намного дешевле, чем после начала массового производства.

- Итеративной оптимизации. Постепенное улучшение прототипа на основе тестирования и обратной связи позволяет сократить количество дорогостоящих и трудоемких переделок.

- Эффективного планирования производства. Тестирование прототипов позволяет более точно оценить время и стоимость производства [2].

Тестирование прототипа обеспечивает ценную обратную связь от пользователей и позволяет адаптировать продукт к реальным потребностям рынка до начала массового производства. Это повышает удовлетворенность клиентов и снижает вероятность отзыва продукта из-за дефектов или несоответствия ожиданиям потребителей.

Качество продукта улучшается за счет:

- Пользовательских тестов. Получение реальных отзывов от потенциальных пользователей позволяет адаптировать продукт к их потребностям и предпочтениям.

- Стресс-тестирование. Прототипы подвергаются экстремальным условиям эксплуатации для обеспечения их надежности и долговечности.

- Оптимизации дизайна. Прототипирование облегчает детальный дизайн продукта, включая улучшение эргономики и внешнего вида.

Быстрое прототипирование способствует ускорению цикла разработки продукта, позволяя компаниям быстро реагировать на изменяющиеся требования рынка и внедрять инновации. Это также создает условия для экспериментов с новыми идеями и технологиями без значительных финансовых потерь. Прототипирование способствует выявлению проблем и ускоряет процесс разработки несколькими способами:

1. Раннее выявление проблем. Создавая прототипы, разработчики могут выявлять потенциальные недостатки дизайна, технические проблемы и проблемы с удобством использования на ранних стадиях разработки. Такое раннее выявление позволяет оперативно решать проблемы и проводить итерации, снижая вероятность возникновения существенных проблем на более поздних этапах цикла разработки.

2. Итеративное тестирование и доработка. Прототипирование поддерживает итеративный подход к тестированию и доработке проектов. Благодаря повторной оценке и модификации прототипов разработчики получают представление о потенциальных проблемах и могут быстро внедрять улучшения, ускоряя сроки разработки.

3. Интеграция отзывов пользователей. Использование прототипов позволяет разработчикам собирать отзывы от пользователей и заинтересованных сторон на ранней стадии. Эти отзывы могут выявить проблемы и внести ценный вклад, направляя

доработку дизайна и гарантируя, что конечные продукты лучше удовлетворяют потребностям пользователей.

4. Упрощенное принятие решений. Прототипирование облегчает принятие обоснованных решений, предоставляя осязаемые представления для оценки. Такое визуальное и функциональное представление продукта позволяет быстрее и точнее принимать решения, сокращая задержки в процессе разработки.

5. Сокращение переделок. Выявление и устранение проблем на ранней стадии с помощью прототипирования может значительно снизить потребность в обширных переделках на более поздних стадиях разработки. Такое сокращение переделок упрощает общий процесс разработки и способствует более эффективному и экономичному рабочему процессу.

Облегчая раннее выявление проблем, итеративную доработку, интеграцию отзывов пользователей, упрощение процесса принятия решений и сокращение количества переделок, прототипирование эффективно помогает в выявлении проблем и ускоряет процесс разработки [3].

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Варфел Т. Прототипирование [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.mannivanovferber.ru/assets/files/bookparts/prototyping/prototyping\\_read.pdf](https://www.mannivanovferber.ru/assets/files/bookparts/prototyping/prototyping_read.pdf)

2. Кузнецова Л., Косенко И. Моделирование и виртуальное прототипирование. [Электронный ресурс]. – URL: <https://znanium.ru/read?id=21932>

3. Bjarki Hallgrímsson. Prototyping and Modelmaking for Product Design, 2019.

УДК 537.86

### **КОРОЛЁВ Д.О.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ 5G НА РАЗРАБОТКУ И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ**

*Рассматривается влияние технологии 5G на развитие электроники.*

В мире, где скорость и доступность данных играют ключевую роль, технология 5G выходит на первый план как катализатор для

инноваций и прогресса. Ее влияние на разработку и производство электроники нельзя переоценить, и в этой статье мы рассмотрим, как это влияние открывает новые возможности и вызовы для индустрии.

Одним из наиболее ярких аспектов технологии 5G является ее способность обеспечивать невероятно высокие скорости передачи данных. Это преобразует понятие обмена информацией, позволяя устройствам и системам обрабатывать и передавать данные в реальном времени на несравненных скоростях. Это приводит к появлению новых сервисов и приложений, требующих высокой пропускной способности и низкой задержки.

С увеличением скорости передачи данных появляется потребность в обработке и хранении больших объемов информации. Вместе с возможностями, появляются и вызовы. Поэтому, чтобы извлечь максимальную пользу из технологии 5G, необходимо развивать эффективные методы сбора, хранения и анализа данных. Это открывает новые возможности для разработчиков электроники, стимулируя инновации в области облачных вычислений, больших данных и искусственного интеллекта.

Одним из ключевых вызовов становится обеспечение безопасности и конфиденциальности больших данных, передаваемых и обрабатываемых в сети 5G. С увеличением объема информации растет и риск ее утечки или злоупотребления. Поэтому необходимо разрабатывать и внедрять эффективные методы шифрования и защиты данных, а также обеспечивать соответствие современным нормам и стандартам в области безопасности информации.

Одновременно с вызовами существуют и значительные возможности. Большие данные, обрабатываемые с использованием технологии 5G, могут предоставить ценные инсайты и информацию для бизнеса, науки и общества в целом. Анализ данных в реальном времени позволяет принимать более информированные решения, оптимизировать процессы и повышать эффективность деятельности различных отраслей.

Также технология 5G открывает новые перспективы в области искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО). Большие объемы данных, собираемые и передаваемые по сети 5G, предоставляют уникальные возможности для обучения алгоритмов ИИ и создания интеллектуальных систем, способных адаптироваться к изменяющимся условиям и решать сложные задачи.

Таким образом, хотя увеличение объема данных влечет за собой свои вызовы, тем не менее, эта тенденция открывает новые возможности для инноваций и развития технологий, стимулируя рост

электронной промышленности и обеспечивая прогресс в области науки и общественной жизни.

С развертыванием 5G, Интернет вещей (IoT) становится более проникновенным и влиятельным, чем когда-либо прежде. Устройства могут обмениваться данными быстрее и эффективнее, что способствует созданию умных городов, сетей умного дома и инноваций в области здравоохранения, сельского хозяйства и промышленности.

Технология 5G открывает новые возможности для создания умных городов, где сотни тысяч устройств и датчиков могут взаимодействовать между собой и с центральными системами в реальном времени. Это позволяет оптимизировать управление транспортной инфраструктурой, повышать энергоэффективность зданий, улучшать общественную безопасность и снижать нагрузку на городскую инфраструктуру.

С развертыванием сетей 5G, умные дома становятся еще более интегрированными и автоматизированными. Устройства в доме могут обмениваться данными между собой и с облачными сервисами быстрее и более надежно, что позволяет создавать интеллектуальные системы управления освещением, отоплением, кондиционированием воздуха и безопасностью. Это повышает комфорт и безопасность жизни людей, а также способствует экономии ресурсов и энергии.

В здравоохранении, технология 5G открывает новые перспективы для удаленного мониторинга состояния здоровья пациентов, проведения телемедицинских консультаций и диагностики, а также совершенствования системы предоставления медицинских услуг. Устройства IoT, такие как носимые медицинские датчики и мониторы здоровья, могут передавать данные в реальном времени врачам и медицинским учреждениям, что позволяет быстрее реагировать на изменения состояния пациентов и предоставлять более точное и персонализированное лечение.

В сельском хозяйстве, технология 5G способствует созданию "умных полей" и повышению эффективности производства. Умные сельскохозяйственные устройства и датчики могут непрерывно мониторить состояние почвы, влажность, погодные условия и рост растений, что позволяет оптимизировать полевые работы, улучшить урожайность и снизить потребление ресурсов, таких как вода и удобрения.

В промышленности, технология 5G способствует созданию "умных заводов" и цифровых производственных систем. Умные машины и роботы, оборудованные датчиками и системами связи на

базе 5G, могут обмениваться данными и координировать свои действия в реальном времени, что позволяет повысить производительность, гибкость и безопасность производственных процессов.

Таким образом, развитие технологии 5G стимулирует рост и развитие Интернета вещей, открывая новые горизонты для инноваций и улучшения жизни людей в различных сферах: от городской инфраструктуры и здравоохранения до сельского хозяйства и промышленности.

В медицинской сфере, технология 5G предоставляет возможность для удаленных консультаций, телемедицинских процедур и передачи медицинских данных в реальном времени. Это открывает новые горизонты в области телемедицины и позволяет расширить доступ к медицинской помощи тем, кто проживает в удаленных регионах.

Благодаря технологии 5G пациенты, находящиеся в отдаленных или труднодоступных местах, теперь могут получать консультации и диагностику от квалифицированных врачей без необходимости длительных поездок в больницу. Это особенно важно для жителей сельских и удаленных районов, где доступ к медицинским услугам ограничен.

Врачи могут использовать технологию 5G для проведения телемедицинских консультаций, обмена медицинскими данными и диагностическими изображениями в реальном времени с пациентами, находящимися на значительном расстоянии от медицинских учреждений. Это позволяет врачам быстро оценить состояние пациента, предоставить неотложную помощь и даже назначить лечение на основе полученной информации.

Технология 5G также способствует развитию медицинских устройств и носимых технологий, которые могут непрерывно мониторить состояние здоровья пациентов и передавать данные в реальном времени на удаленные серверы для анализа и диагностики. Это позволяет врачам более точно отслеживать хронические заболевания, предупреждать о возможных осложнениях и реагировать на них своевременно.

Кроме того, технология 5G улучшает возможности для обучения и обмена опытом среди медицинского персонала, позволяя проводить вебинары, тренинги и мастер-классы в реальном времени даже на больших расстояниях. Это способствует повышению квалификации медицинских специалистов и улучшению качества медицинской помощи в целом.

Таким образом, технология 5G играет ключевую роль в современной медицине, открывая новые возможности для удаленного доступа к медицинским услугам, телемедицинской диагностики и мониторинга здоровья. Это способствует улучшению доступности медицинской помощи и повышению эффективности лечения, что в конечном итоге приводит к улучшению здоровья и качества жизни пациентов.

Однако, увеличение скорости передачи данных также влечет за собой новые вызовы. Необходимо усиливать безопасность данных и развивать более мощные сети и инфраструктуру для поддержки 5G. Это требует инвестиций и сотрудничества как со стороны государства, так и частного сектора.

С ростом количества передаваемых данных возрастает и уровень угроз для их безопасности. Необходимо разработать и внедрить новые методы шифрования и защиты данных, чтобы предотвратить возможные атаки и утечки информации. Кроме того, требуется обеспечить надежность и стабильность сетевой инфраструктуры, чтобы обеспечить бесперебойную работу технологии 5G и ее приложений. Это включает в себя не только развертывание новых высокоскоростных сетей, но и обновление существующей инфраструктуры и ее адаптацию к новым требованиям.

Для успешной реализации технологии 5G необходимо сотрудничество как между государственными организациями и регуляторами, так и между компаниями и промышленными игроками. Это позволит обеспечить координацию и согласование действий в области безопасности и инфраструктуры, а также обеспечить эффективное использование ресурсов и минимизировать риски для всех участников.

Технология 5G становится катализатором для инноваций в области электроники, предоставляя нам инструменты и возможности, которые ранее казались недостижимыми. Однако, чтобы воспользоваться всем потенциалом этой технологии, необходимо решить ряд технических, организационных и социальных вызовов. Тем не менее, перспективы, которые открываются перед нами, вдохновляют нас двигаться вперед и создавать будущее, в котором технология 5G станет неотъемлемой частью нашей жизни.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Абрамов А.С., Глушаков В.В., Гончарова И.Г. Особенности стандарта 5G: Аспекты применения в промышленности и электронике. – М.: Наука и техника, 2020.

2. Иванов В.П. Технология 5G: возможности и перспективы развития. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2019.

3. Котов А.Г. Влияние технологии 5G на развитие электронной промышленности. – М.: Техника и технологии, 2021.

4. Петров С.И., Смирнова Е.А. Инновации в сфере электроники и телекоммуникаций на основе технологии 5G. – М.: Издательство "Эксмо", 2019.

5. Соколов Д.Н. Применение технологии 5G в современной электронике: вызовы и перспективы. –М.: ТехноСфера, 2020.

УДК 621.396

**КОРОЛЁВ Д.О.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ ЗАРЯДКИ ДЛЯ ПОРТАТИВНЫХ УСТРОЙСТВ**

*Рассматривается разработка системы беспроводной зарядки для портативных устройств, а также их использование в промышленности.*

В наше время, когда портативные устройства становятся неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, вопрос беспроводной зарядки приобретает все большее значение. Технология беспроводной зарядки представляет собой инновационный способ питания электронных устройств без необходимости использования проводов и кабелей. Эта технология стремительно развивается и находит широкое применение в различных сферах, начиная от потребительских устройств и заканчивая медицинским оборудованием и автомобильной промышленностью.

Введение беспроводной зарядки позволяет пользователям заряжать свои устройства удобно и безопасно, обеспечивая свободу движения и устраняя необходимость постоянного подключения кабелей к розеткам. Это не только упрощает процесс зарядки, но и делает его более эстетичным и удобным для повседневного использования.

В данной статье мы рассмотрим разработку системы беспроводной зарядки для портативных устройств, рассмотрим ее преимущества и возможности применения в различных областях, а также рассмотрим технологические инновации, связанные с этой темой. Также мы проанализируем влияние беспроводной зарядки на

медицину, автомобильную промышленность, а также социальные, экологические и экономические аспекты этой технологии.

Развитие беспроводной зарядки представляет собой важный этап в эволюции электроники и технологии и обещает принести значительные выгоды как для отдельных пользователей, так и для общества в целом.

Интеграция в различные устройства и предметы быта: Беспроводная зарядка не ограничивается только смартфонами и планшетами. Ее можно интегрировать в широкий спектр устройств и предметов быта, таких как настольные лампы, мебель, автомобильные салоны, рабочие столы, кофейные столики и даже одежда. Это позволяет создавать инновационные и удобные решения для зарядки устройств в различных сценариях использования.

Зарядка в движении: Одной из перспективных областей применения беспроводной зарядки является возможность зарядки устройств во время движения. Например, разработчики экспериментируют с технологиями беспроводной зарядки для электрических транспортных средств, которые позволят автомобилям заряжаться во время движения по дороге, путем взаимодействия с подзарядными устройствами, установленными вдоль дорог или на парковочных местах.

Зарядка в экстремальных условиях: Беспроводная зарядка предоставляет возможность заряжать устройства даже в экстремальных условиях, где использование проводных зарядных устройств может быть невозможно или опасно. Например, она может быть использована в условиях низких температур или высокой влажности, в местах с пылью и грязью, а также в условиях повышенного механического воздействия, таких как на строительных площадках или в военных операциях.

Зарядка без необходимости снятия чехла или защитных кейсов: поскольку беспроводная зарядка работает через электромагнитное поле, она может заряжать устройства даже через толстые чехлы или защитные кейсы, что упрощает процесс зарядки и позволяет пользователям сохранять свои устройства в безопасности и чистоте без необходимости постоянного снятия и установки чехлов.

Повышенная безопасность и защита от повреждений: Некоторые беспроводные зарядные устройства оснащены дополнительными функциями безопасности, такими как защита от короткого замыкания, защита от перегрева и защита от перенапряжения, которые помогают предотвратить повреждение устройств и обеспечить безопасную зарядку даже в самых сложных условиях.

Экономия пространства и улучшение организации рабочего пространства: беспроводная зарядка позволяет устранить ненужные провода и зарядные устройства, что приводит к экономии пространства и улучшению организации рабочего пространства. Это особенно полезно в офисах, где большое количество устройств может привести к запутанным проводам и беспорядку.

Поддержка стандартов быстрой зарядки: Многие современные системы беспроводной зарядки поддерживают стандарты быстрой зарядки, такие как Qi или MagSafe, что позволяет заряжать устройства быстрее и эффективнее, чем с использованием стандартных зарядных устройств. Это особенно важно для пользователей, которым требуется быстрая подзарядка в течение короткого времени.

Опишем технологические инновации.

Улучшение эффективности передачи энергии: Одним из ключевых направлений развития технологии беспроводной зарядки является повышение эффективности передачи энергии от зарядного устройства к приемнику. Разработчики работают над созданием более эффективных способов передачи энергии, что позволит уменьшить потери энергии и повысить скорость зарядки устройств.

Использование резонансной и индуктивной передачи энергии: Технологии беспроводной зарядки могут быть основаны на различных принципах, включая резонансную и индуктивную передачу энергии. Резонансная передача энергии позволяет передавать энергию на более дальние расстояния и через толстые препятствия, в то время как индуктивная передача энергии обеспечивает более эффективную передачу энергии на близкие расстояния.

Интеграция с технологиями Интернета вещей (IoT): Беспроводная зарядка становится неотъемлемой частью экосистемы "Интернета вещей", где устройства могут взаимодействовать друг с другом и с облаком, обмениваясь данными и энергией. Это открывает новые возможности для создания умных и автономных систем, таких как умные дома, умные города и промышленные IoT-решения.

Использование искусственного интеллекта и аналитики данных: Развитие технологий искусственного интеллекта и аналитики данных позволяет улучшить управление процессом зарядки, оптимизировать расход энергии и увеличить эффективность систем беспроводной зарядки. Алгоритмы машинного обучения могут адаптировать процесс зарядки под индивидуальные потребности пользователя и условия окружающей среды.

Развитие мобильных приложений и управляющих систем: с развитием технологий беспроводной зарядки появляются новые

возможности для разработки мобильных приложений и управляющих систем, которые позволяют пользователям мониторить и контролировать процесс зарядки, управлять устройствами удаленно и получать уведомления о состоянии зарядки.

Экологические аспекты и использование возобновляемых источников энергии: Развитие технологий беспроводной зарядки сопровождается также работой над улучшением экологических аспектов данной технологии. Использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветряная энергия, для зарядки устройств становится все более популярным и востребованным в современном мире, что способствует сокращению выбросов углерода и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

Безопасность и защита данных: с развитием технологий беспроводной зарядки особое внимание уделяется вопросам безопасности и защиты данных. Разработчики внедряют средства шифрования данных и механизмы аутентификации, чтобы защитить персональную информацию пользователей и предотвратить несанкционированный доступ к зарядным устройствам.

Рассмотрим инновации в медицине.

Беспроводная зарядка в медицинских устройствах: в медицинской сфере беспроводная зарядка используется для питания различных портативных медицинских устройств, таких как портативные дефибрилляторы, мониторы жизненно важных функций, насосы для инфузии и даже имплантируемые медицинские устройства. Это обеспечивает удобство и безопасность при использовании таких устройств в медицинских учреждениях и домашних условиях.

Зарядка мобильных устройств для медицинского персонала: Беспроводная зарядка также имеет практическое применение для медицинского персонала, позволяя им заряжать свои портативные устройства, такие как смартфоны и планшеты, во время работы. Это особенно важно в условиях интенсивной работы, когда доступ к розеткам может быть ограничен, а поддержание заряда устройств критически важно для выполнения медицинских процедур и оказания помощи пациентам.

Мониторинг состояния пациентов: Беспроводная зарядка позволяет создавать инновационные системы мониторинга состояния пациентов, которые позволяют непрерывно отслеживать важные показатели здоровья, такие как пульс, давление, уровень кислорода в крови и другие. Это позволяет медицинскому персоналу быстро

реагировать на изменения состояния пациента и предпринимать соответствующие медицинские меры.

Зарядка для медицинского оборудования в аварийных ситуациях: в экстренных ситуациях, когда доступ к электричеству может быть ограничен или отсутствовать вовсе, беспроводная зарядка обеспечивает непрерывное питание для медицинского оборудования, что способствует сохранению жизней пациентов и оказанию квалифицированной медицинской помощи.

Опишем инновации в автомобильной промышленности.

Беспроводная зарядка для электромобилей: Одним из наиболее заметных применений беспроводной зарядки в автомобильной промышленности является ее использование для зарядки электромобилей. Технологии беспроводной зарядки позволяют владельцам электромобилей заряжать свои транспортные средства без необходимости подключения кабелей, что делает процесс зарядки более удобным и эффективным.

Зарядка электромобилей в движении: Инновации в области беспроводной зарядки также открывают новые перспективы для зарядки электромобилей во время движения. Концепции дорожной инфраструктуры, такие как зарядные пути на автострадах и встроенные зарядные устройства в дорожном покрытии, позволяют автомобилям заряжаться во время движения по дороге, что расширяет дальность и удобство использования электромобилей.

Интеграция с автопилотируемыми и беспилотными автомобилями: Беспроводная зарядка может быть интегрирована в автомобили с функциями автопилотирования и беспилотным управлением, что позволяет им автоматически заряжаться без участия водителя. Это упрощает процесс обслуживания и поддержания заряда автомобилей в автоматическом режиме, что повышает удобство использования и эффективность автопарка.

Энергоэффективность и экологическая устойчивость: Использование беспроводной зарядки для электромобилей способствует улучшению энергоэффективности и экологической устойчивости транспортной системы, позволяя сократить потребление и загрязнение окружающей среды за счет использования возобновляемых источников энергии и снижения выбросов вредных веществ.

Эти инновации в области медицины и автомобильной промышленности, связанные с беспроводной зарядкой, демонстрируют огромный потенциал этой технологии для улучшения

качества жизни, эффективности и устойчивости в различных областях применения.

Рассмотрим социальные выгоды.

**Удобство и доступность для всех групп населения:** Беспроводная зарядка упрощает процесс зарядки устройств для различных групп населения, включая людей с ограниченными физическими возможностями, пожилых людей и детей. Она не требует специальных навыков или физических усилий для подключения кабелей, что делает ее доступной для широкого круга пользователей.

**Экономия времени и повышение производительности:** Беспроводная зарядка позволяет пользователям экономить время, которое ранее было затрачено на поиск и подключение кабеля зарядки. Это особенно важно для занятых людей и профессионалов, которым необходимо эффективно использовать свое время и поддерживать высокий уровень производительности в течение дня.

**Развитие общественных пространств и инфраструктуры:** Внедрение систем беспроводной зарядки стимулирует развитие общественных пространств и инфраструктуры, таких как кафе, рестораны, торговые центры, аэропорты, железнодорожные вокзалы и парковки, которые предоставляют доступ к зарядным устройствам для своих посетителей. Это улучшает удобство и комфорт общественных мест и способствует развитию городской среды.

**Создание новых рабочих мест и экономический рост:** Внедрение технологий беспроводной зарядки способствует созданию новых рабочих мест в области исследований, разработки, производства, монтажа и обслуживания таких систем. Это способствует экономическому росту и стимулирует инновации в связанных отраслях, что создает новые возможности для занятости и предпринимательства.

Рассмотрим экологические выгоды.

**Снижение использования пластиковых кабелей и уменьшение отходов:** Переход на беспроводную зарядку уменьшает потребление пластиковых кабелей и зарядных устройств, что способствует сокращению объемов отходов и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду. Это помогает снизить загрязнение океанов и сократить использование нефти и других нефтепродуктов, используемых при производстве пластиковых материалов.

**Использование возобновляемых источников энергии:** Беспроводная зарядка может быть интегрирована с возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечная и ветряная энергия, что позволяет уменьшить зависимость от нефтепродуктов и снизить

выбросы парниковых газов. Это способствует улучшению экологической устойчивости и содействует переходу к чистым источникам энергии.

Снижение потребления энергии и уменьшение выбросов углерода: Использование беспроводной зарядки способствует снижению потребления энергии за счет улучшения эффективности зарядки и уменьшения потерь энергии при передаче. Это позволяет сократить выбросы углерода и других вредных веществ в атмосферу, что в свою очередь способствует снижению воздействия на климат и экосистемы.

Повышение осведомленности об экологических проблемах: Внедрение беспроводной зарядки способствует повышению осведомленности об экологических проблемах и необходимости перехода к более устойчивым и экологически чистым технологиям. Это стимулирует общественное сознание и создает условия для принятия более ответственных решений в повседневной жизни и бизнесе.

Рассмотрим влияние на экономический потенциал.

Рост рынка беспроводной зарядки: Стремительный рост рынка беспроводной зарядки привлекает внимание инвесторов и стимулирует развитие новых технологий и продуктов в этой области. Прогнозируется, что объем этого рынка будет продолжать увеличиваться в ближайшие годы, что создает новые возможности для бизнеса и инвестиций.

Создание новых рабочих мест и бизнес-возможностей: Развитие индустрии беспроводной зарядки способствует созданию новых рабочих мест в области исследований и разработок, производства устройств, монтажа и обслуживания инфраструктуры зарядки. Кроме того, это открывает новые бизнес-возможности для стартапов, разработчиков приложений и сервисных компаний, связанных с этой технологией.

Увеличение объемов торговли и экспорта: Развитие отрасли беспроводной зарядки способствует увеличению объемов торговли и экспорта связанных товаров и услуг. Это создает новые возможности для компаний, работающих в сфере международной торговли, и способствует увеличению доходов от экспорта товаров и услуг на мировые рынки.

Повышение конкурентоспособности компаний и стран: Страны и компании, активно развивающие сектор беспроводной зарядки, укрепляют свою позицию на мировом рынке и повышают свою конкурентоспособность. Инвестиции в инновационные технологии и

инфраструктуру зарядки способствуют созданию благоприятной инвестиционной среды и стимулируют экономический рост и развитие. Эффективное использование ресурсов и сокращение затрат: Беспроводная зарядка позволяет эффективно использовать ресурсы и сокращать затраты на энергию и инфраструктуру. Например, она позволяет сократить потребление энергии за счет улучшения эффективности зарядки и снижения потерь энергии при передаче, что ведет к экономии денежных средств для пользователей и предприятий.

Стимулирование инноваций и технологического прогресса: Развитие отрасли беспроводной зарядки способствует стимулированию инноваций и технологического прогресса в смежных отраслях, таких как электроэнергетика, транспорт, медицина и информационные технологии. Это способствует созданию новых решений и продуктов, которые улучшают качество жизни и обеспечивают экономический рост и процветание.

Привлечение инвестиций в инфраструктуру и инновации: Развитие инфраструктуры беспроводной зарядки привлекает инвестиции в строительство и развитие сетей зарядных станций, а также в разработку новых технологий и продуктов в этой области. Это способствует созданию благоприятной инвестиционной среды и стимулирует инновационную деятельность в секторе беспроводной зарядки.

Улучшение конкурентоспособности городов и регионов: Развитие инфраструктуры беспроводной зарядки способствует улучшению конкурентоспособности городов и регионов, делая их более привлекательными для жителей, туристов и бизнеса. Это способствует росту инвестиций, туризма, торговли и развлекательной индустрии, что ведет к экономическому развитию и процветанию общества.

Эти аспекты подчеркивают огромный экономический потенциал, который представляет собой развитие отрасли беспроводной зарядки, и указывают на возможности для создания новых рабочих мест, стимулирования инноваций и технологического прогресса, а также улучшения конкурентоспособности и устойчивого экономического роста.

В заключение, следует подчеркнуть, что беспроводная зарядка является не только технологическим достижением, но и важным фактором, который приносит значительные социальные, экологические и экономические выгоды. Эта инновационная технология меняет способ, которым мы заряжаем наши устройства, и

имеет потенциал преобразовать различные аспекты нашей повседневной жизни и индустрии.

Во-первых, беспроводная зарядка предоставляет удобство и гибкость в использовании портативных устройств, позволяя пользователям заряжать свои гаджеты без необходимости использования проводов и кабелей. Это особенно полезно в ситуациях, когда доступ к розеткам ограничен или неудобен, например, в общественных местах, в путешествиях или на открытом воздухе.

Кроме того, беспроводная зарядка способствует экологической устойчивости, поскольку она позволяет сократить использование пластиковых кабелей и зарядных устройств, а также интегрировать возобновляемые источники энергии в процесс зарядки. Это снижает вредное воздействие на окружающую среду и способствует переходу к чистым источникам энергии.

Социальные преимущества беспроводной зарядки включают в себя повышение доступности и удобства зарядки для различных групп населения, создание новых общественных пространств с доступом к зарядным станциям и стимулирование инноваций в медицинской и автомобильной промышленности.

Экономический потенциал беспроводной зарядки огромен, поскольку он способствует созданию новых рабочих мест, стимулирует инвестиции в инновации и технологический прогресс, увеличивает объемы торговли и экспорта, а также повышает конкурентоспособность компаний и стран.

В целом, развитие беспроводной зарядки открывает новые перспективы для создания удобной, эффективной и устойчивой инфраструктуры зарядки, которая принесет пользу всему обществу и поможет нам двигаться в сторону более светлого и экологически чистого будущего.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Александров А.Б., Васильев А.А., Кардополов К.П. Беспроводная зарядка автомобилей. – М.: Солон-Пресс, 2018
2. Вахромеев А.П., Сидорова И.Н. Беспроводная зарядка в медицинских устройствах. – М.: Медицинская книга, 2019
3. Казаков В.В., Чернышов А.Б. Беспроводная зарядка: технологии и применение. – М.: Техносфера, 2020
4. Иванова Е.В., Петров П.С. Беспроводная зарядка портативных устройств: преимущества и недостатки. – М.: Издательство Научно-технической литературы, 2017

5. Смирнов Д.Г., Кузнецова Е.С. Беспроводная зарядка: инновации и перспективы. – М.: Наука и техника, 2018

УДК 681.128

**КРЫГИНА М.К.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ ВОЛНОВОДНЫМ УРОВНЕМЕРОМ**

*В статье будут рассмотрены принципы функционирования волноводного уровнемера, его сильные и слабые стороны, источники возникновения погрешности измерений, а также сравнительный анализ волноводных уровнемеров с другими популярными видами уровнемеров.*

Во многих отраслях промышленности производятся операции, связанные с определением уровня и расхода разнообразных продуктов и веществ. Определять уровень требуется в значительном количестве производственных процессов, а также в экологических системах для учета массы расхода жидких продуктов при их хранении и транспортировке.

На выбор прибора для измерения уровня влияют следующие условия:

- 1) характеристики исследуемой среды такие, как температурные условия, абразивность, вязкость среды, электрическая проводимость, химические свойства среды и прочие;
- 2) состояния среды в резервуаре такие, как давление на стенки сосуда, вакуум, техника заполнения и опорожнения резервуара, взрыво- и огнеопасность и прочие;
- 3) требования к точности, универсальности и защищенности.

Универсальных уровнемеров не существует. Каждый прибор имеет свои модификации и опции, позволяющие подобрать наиболее оптимальный для данного вещества и условий проведения работ уровнемер. Существуют датчики, измеряющие уровень жидких, сыпучих, газообразных сред без использования преобразований неэлектрических сигналов в электрические, но они часто не позволяют достичь требуемой точности измерений, имеют неприемлемые габариты, не имеют технической возможности встраиваться в АСУ ТП. Преобразование неэлектрических характеристик уровня и расхода в электрические открывает возможность автоматизации управления и

контроля технологических процессов, что позволяет уменьшить воздействие человека на систему. Это позволяет улучшить качественные характеристики производимых продуктов и снизить потребление исходных материалов, а также сделать более лояльными требования к квалификации обслуживающего персонала.

Уровнемер представляет собой прибор, основная функция которого — определять уровень содержащегося в открытых и закрытых сосудах, резервуарах, хранилищах и других ёмкостях продукта. В сосуде, как правило, находятся различные жидкости, сыпучие или газообразные материалы. Одно из преимуществ уровнемера — это тот факт, что он позволяет производить измерения градаций уровня.

Уровнемер — это прибор, состоящий из набора разнообразных измерительных преобразователей и вспомогательных устройств, которые осуществляют операции измерения.

На практике применяются разнообразные методики для оценки уровня измеряемого вещества. Однако, выбор конкретного метода производится на основе следующих критериев:

- 1) физическое состояние исследуемого вещества — жидкое, твердое, суспензия;
- 2) температура;
- 3) давление внутри сосуда и на его стенки;
- 4) химические характеристики;
- 5) диэлектрическая постоянная среды;
- 6) плотность среды;
- 7) вибрация или другие акустические помехи;
- 8) форма емкости, размер, материал.

С экономической и технико-производственной стороны включаются во внимание такие ограничения, как: стоимость, быстрота измерений, удобство настройки, габариты и легкость установки прибора, слежение за непрерывным или дискретным изменением уровня.

На основе измерений определяют объем вещества, находящегося в разнообразных емкостях, примерами которых могут служить цистерны, баки, силоса. Для этой цели применяются резервуары постоянного поперечного сечения по вертикали, то есть мерные емкости или специальные тарифовочные таблицы, где каждому измеренному уровню соответствует определенное значение объема в резервуаре.

Волноводный уровнемер (англ. Guided wave radar(GWR)), также известный как радар с временным разрешением (TDR) или

микроимпульсный радар (MIR), разработан для непрерывного измерения уровня жидкости в емкостях. Особенности его функционирования заключается в следующем:

1) Монтровка на верхней части резервуара или в отдельном отсеке; устанавливаемый зонд должен быть по длине эквивалентен глубине резервуара.

2) Вдоль зонда (сверху вниз) со скоростью света распространяются маломощные микроволновые импульсы. В точке контакта зонда с жидкостью (граница раздела воздух/вода) большая часть энергии отражается обратно вдоль зонда к регистратору импульсов.

3) Между приемом и передачей импульса существует временная задержка, которая измеряется датчиком уровня. Затем внутренний МП вычисляет расстояние до поверхности измеряемой среды по следующей формуле:

$$S = \frac{c * t_3}{2},$$

где  $c$  – скорость света,  $t_3$  – время задержки.

4) Чтобы микропроцессор вычислил уровень измеряемого вещества, необходимо обозначить расстояние до опорной точки, как правило, до днища емкости.

5) При низкой диэлектрической проницаемости среды часть микроволновых импульсов задерживается, и датчик уровня жидкости может обнаружить эхо-сигнал от границы раздела жидкостей. Это позволяет использовать волноводные датчики уровня жидкости для измерения границы раздела жидкостей, таких как масло и вода, или для измерения уровня жидкости через слой пены.

6) Волноводные уровнемеры могут использоваться во внешних камерах со сложной геометрией емкости и высокими соплами. Они подходят для измерения уровня жидкостей с низкой диэлектрической проницаемостью, даже на неровных поверхностях. Поскольку точность измерений у датчика уровня не зависит или незначительно зависит от плоскости поверхности среды, то его можно использовать для измерения уровня порошковых и гранулированных материалов, даже жидкостей с наклонными поверхностями или «воронкообразными» верхними границами.

Можно выделить следующие преимущества волноводных уровнемеров. Так они могут сразу измерять, как уровень исследуемого вещества, так и границу раздела сред. При этом достигается высокая точность измерений в разнообразных технологических процессах. Благодаря способу измерений «сверху» обеспечивается прямое

измерение расстояния до поверхности среды. Важное достоинство — отказ от изменения настроек прибора при вариациях условий таких, как: диэлектрическая постоянная, электропроводность жидкости или плотность.

Во-первых, волноводные уровнемеры практически не подвержены погрешностям измерений, вызванными колебаниями в давлении, температуре и парообразовании над исследуемой жидкостью. Это обеспечивает высокую точность и надежность измерений, что особенно важно в промышленных процессах, где требуется точное определение уровня жидкости.

Во-вторых, волноводные уровнемеры не требуют сложного обслуживания. Они не имеют подвижных частей, что делает их простыми в монтаже, который возможен даже при изначальном содержании вещества в сосуде. Кроме того, волноводные уровнемеры обладают широким диапазоном применения. Они могут использоваться для измерения уровня не только жидкостей, но и шлама, и сыпучих материалов. Благодаря лояльности к условиям измерения, волноводный уровнемер способен заменить такие приборы, как емкостные и буйковые уровнемеры

Однако, можно отметить и ряд недостатков. Одним из них является важность выбора подходящего зонда, который выбирается в зависимости от условий процесса, среды измерения и сложности установки. Зонды не должны соприкасаться с металлическими предметами (за исключением коаксиальных зондов), чтобы не влиять на передаваемые и принимаемые сигналы. Кроме того, на зонде могут скапливаться отложения.

Существуют такие уровнемеры, в которые встроен модуль для детерминации осадений на зонде. Камеры диаметром до 75 мм более восприимчивы к осадениям и в них практически невозможно искоренить контакт зонда со стенками камеры.

Основываясь на многолетнем использовании волноводных уровнемеров можно сказать, что из-за многочисленных наполнений и опорожнений резервуара на стенках волновода образуются отложения, из-за которых изменяется скорость распространения электромагнитной волны в волноводе. Такое изменение приводит к большой погрешности в расчёте расстояния до уровня жидкости, что, несомненно, является существенным недостатком.

Таблица 1 – Сравнение популярных видов уровнемеров

Условия процесса	Волноводный	Радарный	Ультразвуковой	Буйковый
Изменения температуры окружающей среды	Незначительно влияет на эффективность	Незначительно влияет на эффективность	Точность измерений снижается	Точность измерений снижается
Коррозия	Точность измерений снижается	Незначительно влияет на эффективность	Незначительно влияет на эффективность	Точность измерений снижается
Перемешивание	Метод непригоден	Незначительно влияет на эффективность	Метод непригоден	Незначительно влияет на эффективность
Изменения диэлектрической постоянной среды	Незначительно влияет на эффективность			
Высокое давление в резервуаре	Незначительно влияет на эффективность	Точность измерений снижается	Метод непригоден	Незначительно влияет на эффективность
Осаждения	Точность измерений снижается	Точность измерений снижается	Незначительно влияет на эффективность	Метод непригоден
Вязкие, липкие среды	Точность измерений снижается	Незначительно влияет на эффективность	Незначительно влияет на эффективность	Метод непригоден

В заключение, хотелось бы еще раз отметить, что разнообразие типов уровнемеров объясняется их различным практическим применением. Перед выбором конкретного прибора измерения уровня

необходимо проанализировать как свойства исследуемого вещества, так и внешние условия, в особенности источники возникновения погрешности измерений.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Якшигильдина, Р.И. Анализ методов и средств уровнеметрии / Томский государственный университет // Принята к печати. – Томск, 2016.

2. Давыдочкин В.М., Давыдочкина С.В., Езерский В.В. Снижение методической и шумовой погрешностей в задаче оценки частоты отрезка гармонического сигнала // Радиотехника. 2015. № 11, С. 66-71.

3. Методы измерения и контроля уровня. Виды уровнемеров. Сравнение и обзор уровнемеров: [Электронный ресурс] – URL: [https://lms.kgeu.ru/pluginfile.php?file=%2F326608%2Fmod\\_resource%2Fcontent%2F1%2FUровень.pdf](https://lms.kgeu.ru/pluginfile.php?file=%2F326608%2Fmod_resource%2Fcontent%2F1%2FUровень.pdf).

УДК 004.65

**КУЛАКОВА И.В.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ (ТЕХНОЛОГИЙ) УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ**

*Рассматривается исследование параметров (технологий) ультрафиолетовых излучателей.*

Тема ультрафиолетового излучателя является крайне актуальной и имеет большое значение в современном мире по нескольким причинам:

1. Дезинфекция и стерилизация: В свете пандемии COVID-19 и повышенной активности других инфекционных заболеваний ультрафиолетовые излучатели привлекают внимание в качестве эффективного средства для дезинфекции воздуха и поверхностей.

2. Медицинские применения: Ультрафиолетовое излучение используется в медицине для различных целей, включая дезинфекцию помещений, оборудования и воздуха, а также для лечения различных кожных заболеваний.

3. Технологические инновации: С развитием технологий ультрафиолетовые излучатели набирают популярность в новых

областях, таких как биотехнологии, использование в производственных процессах и даже в косметологии.

4. Экологические вопросы: В связи с ростом интереса к экологически безопасным технологиям и средствам, ультрафиолетовые излучатели привлекают внимание как альтернативное средство дезинфекции без использования химических реагентов.

5. Биологическая безопасность: С увеличением осведомленности о рисках инфекций и бактериальных загрязнений, ультрафиолетовые излучатели представляют собой важный инструмент для поддержания биологической безопасности в различных областях, включая медицину, общественные места, образование и производство.

Плюсы и минусы ультрафиолетовых излучателей.

Плюсы ультрафиолетовых излучателей:

1. Эффективность дезинфекции: Ультрафиолетовые излучатели могут уничтожать вирусы, бактерии и другие патогены, что делает их эффективным средством для обеззараживания воздуха, воды и поверхностей.

2. Быстрая обработка: Ультрафиолетовые излучатели позволяют проводить дезинфекцию быстро, в отличие от некоторых других методов, что особенно важно в службах здравоохранения и сферах, где необходимо обеззараживать большую площадь.

3. Безопасность для окружающей среды: Ультрафиолет не оставляет остаточных химических соединений, что делает его более экологически безопасным для окружающей среды.

Минусы ультрафиолетовых излучателей:

1. Потенциальная опасность для здоровья: Высокая интенсивность ультрафиолетового излучения может быть вредной для кожи и глаз при длительном излучении без соответствующей защиты.

2. Ограниченная проникающая способность: Ультрафиолетовые излучатели могут иметь ограничения в обеззараживании защищенных участков или труднодоступных мест.

3. Нехватка универсальности: Некоторые виды ультрафиолетовых излучателей могут быть менее эффективными при работе с определенными видами вирусов и бактерий.

4. Технические требования: Установка и обслуживание ультрафиолетовых излучателей может требовать специальных навыков и знаний, а также оборудования для обеспечения безопасности.

При использовании ультрафиолетовых излучателей важно провести тщательный анализ и оценку плюсов и минусов, чтобы

грамотно применять данное оборудование с учетом всех нюансов и потенциальных рисков

Параметры ультрафиолетовых излучателей.

Ультрафиолетовое излучение (также УФ-излучение, от лат. ultra — сверх, и violet — фиолетовый) — волны электромагнитного излучения, которые занимают диапазон между видимыми и рентгеновскими лучами. Длина волн измеряется в интервале частот от 10 до 400 нм (рисунок 1). Кратко главную функцию УФ-лучей относительно человеческой жизни можно описать как обеззараживание поверхностей.

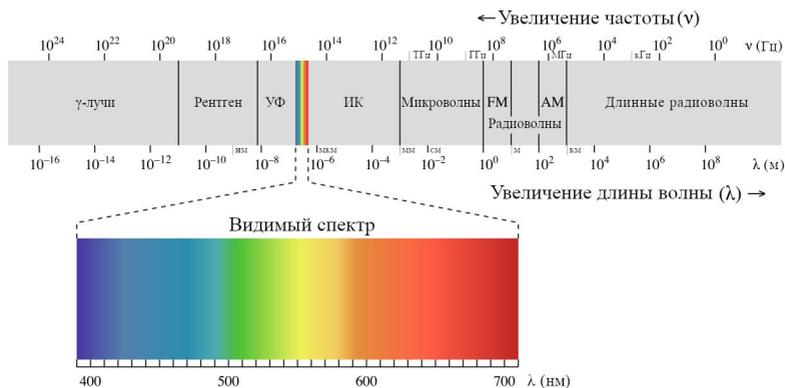


Рисунок 1 – Схема видов ультрафиолетового излучения

Ультрафиолетовые излучатели имеют несколько ключевых параметров, которые важно учитывать при их использовании:

1. Длина волны: Ультрафиолетовые излучатели (рисунок 2) охватывают разные диапазоны длин волн, такие как УФ-А (400-320 нм - длинноволновое), УФ-В (320-280 нм - средневолновое) и УФ-С (280-200 нм - коротковолновое). Каждый диапазон имеет различное воздействие на материалы, кожу, глаз и микроорганизмы, поэтому выбор подходящего диапазона очень важен в зависимости от задачи. Видимые ультрафиолетовые лучи имеют длину волны примерно от 10 нм до 400 нм. Этот диапазон подразделяется на ультрафиолетовое А (UVA), ультрафиолетовое В (UVB) и ультрафиолетовое С (UVC), каждое из которых имеет различные длины волн.

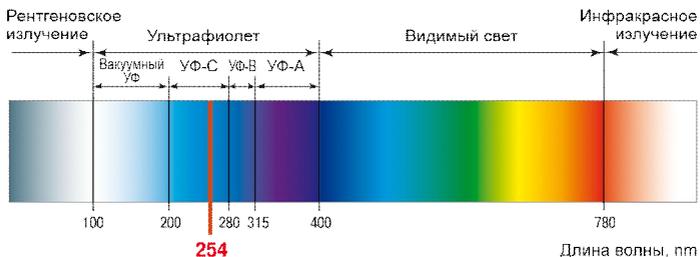


Рисунок 2 – Длина волны ультрафиолетовых излучателей

2. Интенсивность излучения - это параметр определяет количество энергии, излучаемой ультрафиолетовым источником в единицу времени и площади. Интенсивность ультрафиолетового излучения измеряется в единицах ватт на квадратный метр ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) и представляет собой количество энергии, излучаемое ультрафиолетовым излучателем на поверхность за единицу времени. Интенсивность излучения важна для оценки эффективности дезинфекции, лечения или других процессов, где используется ультрафиолетовое излучение.

Интенсивность излучения ультрафиолетовых излучателей может варьироваться в зависимости от следующих факторов:

Тип ультрафиолетовых ламп: Различные типы ультрафиолетовых ламп, такие как УФ-А, УФ-В и УФ-С, могут иметь различную интенсивность излучения в зависимости от их конструкции и материалов, используемых для создания ультрафиолетового излучения.

Расстояние от источника излучения: Интенсивность излучения уменьшается с увеличением расстояния от источника излучения. Поэтому важно принимать во внимание расстояние от объекта до источника при оценке интенсивности излучения.

Время экспозиции: Интенсивность излучения также зависит от времени, в течение которого объект подвергается облучению. При длительном времени облучения интенсивность излучения может влиять на степень дезинфекции, стерилизации или лечения.

Измерение и контроль интенсивности излучения для ультрафиолетовых излучателей является важным аспектом обеспечения безопасности и эффективности использования ультрафиолетовых приложений, поэтому важно учитывать этот параметр при проектировании и использовании ультрафиолетовых излучателей. Нормы интенсивности ультрафиолетового излучения:

УФ-А — не более  $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;

УФ-В — не более 0,005 Вт/м<sup>2</sup>;

УФ-С — не более 0,001 Вт/м<sup>2</sup>.

Интенсивность связана с эффективностью дезинфекции и временем облучения.

3. **Время экспозиции:** Время, в течение которого объект или поверхность подвергается ультрафиолетовому излучению.

Время экспозиции ультрафиолетовых излучателей определяется в зависимости от конкретной цели использования и параметров самого ультрафиолетового излучателя, таких как его мощность, интенсивность излучения, длина волны и тип используемых ультрафиолетовых ламп.

В медицинских приложениях, например, время экспозиции ультрафиолетовых излучателей может быть небольшим и строго контролируемым, как при использовании в ультрафиолетовых камерах для фототерапии, где время облучения может быть всего несколько минут в зависимости от конкретного протокола лечения.

Для дезинфекции воздуха и поверхностей, время экспозиции может быть более продолжительным, обычно от нескольких минут до нескольких часов, в зависимости от размера и типа помещения или объекта, который требуется дезинфицировать.

Важно отметить, что время экспозиции также должно учитывать безопасность для людей и предметов, подвергающихся облучению, а также должно быть определено с учетом стандартов и рекомендаций в области безопасности и дезинфекции. Эффективность дезинфекции с помощью ультрафиолетовых излучателей также может изменяться в зависимости от типа микроорганизмов, условий окружающей среды и других факторов.

Поэтому важно тщательно продумать и определить необходимое время экспозиции ультрафиолетовых излучателей для каждого конкретного случая, соблюдая рекомендации компетентных специалистов и соответствующие стандарты безопасности. Важно соблюдать оптимальное время облучения для достижения требуемого уровня дезинфекции или других целей.

4. **Уровень безопасности:** Ультрафиолетовые излучатели могут быть опасны для человеческого здоровья при неправильном использовании. Ультрафиолетовые лучи могут вызывать повреждения кожи, ожоги, рост опухолей, повреждения глаз и другие проблемы со здоровьем. Поэтому важно соблюдать меры предосторожности, включая использование защитных очков и кремов для защиты от ультрафиолетового излучения. Важно учитывать стандарты безопасности и использовать специальные средства защиты, когда это

необходимо. Так же важно обеспечить правильную вентиляцию при использовании ультрафиолетовых излучателей, так как они могут излучать опасные уровни ультрафиолетового излучения.

При правильном использовании и соблюдении всех мер предосторожности ультрафиолетовые излучатели могут быть безопасными для использования. Важно также следовать инструкциям производителя и регулярно проводить обслуживание и проверку ультрафиолетовых излучателей.

5. Энергопотребление: Параметр, оценивающий энергию, потребляемую ультрафиолетовым излучателем при работе. Энергоэффективность может быть важна, особенно при использовании излучателей в большом масштабе или на постоянной основе.

Энергопотребление ультрафиолетовых излучателей может быть различным в зависимости от их типа, мощности и производителя. УФ-излучатели используются в различных областях, таких как медицина, наука, промышленность и бытовые цели, и потребляемая ими энергия будет зависеть от их конкретного назначения.

В целом можно сказать, что энергопотребление ультрафиолетовых излучателей может быть значительным, особенно для более мощных и больших устройств. При покупке и использовании ультрафиолетовых излучателей целесообразно учитывать их энергопотребление и возможные затраты на электроэнергию.

Также стоит учитывать эффективность светодиодных ультрафиолетовых излучателей, которые потребляют меньше энергии по сравнению с традиционными ультрафиолетовыми лампами. Поэтому при выборе ультрафиолетового излучателя стоит обратить внимание на его энергопотребление и эффективность.

6. Устойчивость и надежность: Способность ультрафиолетовых излучателей сохранять свои характеристики на протяжении длительного времени и работать без сбоев. Надежность оборудования имеет важное значение в целях обеспечения эффективной работы. Устойчивость и надежность ультрафиолетовых излучателей зависят от их конструкции, качества материалов, процесса производства, технической поддержки, а также условий эксплуатации.

Качественные ультрафиолетовые излучатели, произведенные и установленные согласно стандартам, могут быть очень надежными и долговечными. Однако необходимо учитывать, что с течением времени любое оборудование подвержено износу, и потребует технического обслуживания или замены компонентов.

Также важным фактором для устойчивости и надежности является правильная эксплуатация ультрафиолетовых излучателей, правильное обслуживание и уход. Это включает в себя регулярную очистку, проверку и калибровку, а также соблюдение всех рекомендаций производителя по использованию и хранению.

В целом, ультрафиолетовые излучатели могут быть устойчивыми и надежными, но для обеспечения их долговечной работы необходимо следовать инструкциям производителя, проводить регулярное техническое обслуживание и обеспечивать соответствующие условия эксплуатации.

Оптимальный выбор параметров ультрафиолетовых излучателей зависит от конкретных потребностей и целей использования, и является ключевым при применении данного оборудования.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Бейкер А. Фотоэлектронная спектроскопия / А. Бейкер, Д. Беттеридж; под ред. В. С. Урусова. – М.: Мир, 1975. – 200 с.
2. Мейер А., Зейтц Э. Ультрафиолетовое излучение. – М.: Наука, 1982. – 63 с.
3. Галанин Н.Ф. Лучистая энергия и ее гигиеническое значение. – М.: Знание, 1991. – 45 с.
4. Зайдель А.Н., Шрейдер Е.Я., Спектроскопия вакуумного ультрафиолета. – М.: Агропромиздат, 1987. – 52 с.
5. Самойлова К.А. Действие ультрафиолетовой радиации на клетку. – Ленинград.: Интерстиль, 1997. – 106 с.

УДК 004.65

**МАРКИН М.Н.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **О ВАЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ИСПРАВНОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

*Рассматривается значимость климатических установок на производстве. Повышение эффективности производства и создание комфортных условий для сотрудников, способствующих здоровью и общему благополучию на предприятии.*

Климатические установки на производстве представляют собой важный компонент, обеспечивающий оптимальные условия для производственных процессов и здоровья сотрудников путем контроля

температуры, влажности и циркуляции воздуха. Поддержание стабильной температуры в производственных помещениях является ключевым аспектом, влияющим на эффективность оборудования и рабочих процессов. Оптимальные температурные условия способствуют снижению вероятности дефектов, повышению производительности сотрудников и минимизации риска возникновения травм.

Помимо того, климатические установки играют важную роль в поддержании нормального уровня влажности, что предотвращает коррозию оборудования и развитие вредоносных микроорганизмов, таких как плесень и грибки. Контролируемая влажность способствует созданию безопасной и гигиеничной среды труда, что является необходимым условием для сохранности оборудования и здоровья работников. Недостаточная влажность также может негативно сказаться на здоровье сотрудников и оборудовании. Сухой воздух может вызвать раздражение слизистых оболочек, кожи, глаз, а также привести к электростатическим разрядам, которые могут повредить электронику. Поэтому оптимальный уровень влажности в помещении необходим для обеспечения комфорта работников и сохранности оборудования. Контролируемая влажность помогает создать безопасную и гигиеничную среду труда, что способствует повышению производительности и снижению риска возникновения различных заболеваний

Хорошая вентиляция играет ключевую роль в обеспечении безопасности и комфорта на рабочем месте. Она способствует быстрой и эффективной циркуляции воздуха, что помогает уменьшить концентрацию вредных веществ, выделяемых оборудованием или химическими веществами, в воздухе рабочего помещения. Это существенно снижает риск различных профессиональных заболеваний и травм, связанных с длительным воздействием вредных веществ на организм человека.

Равномерное распределение свежего воздуха благоприятно влияет на общее благополучие сотрудников, улучшает их самочувствие, снижает утомляемость и повышает производительность труда. Кроме того, хорошая вентиляция способствует поддержанию оптимальной температуры и влажности в помещении, что также важно для комфортных условий труда.

Тем самым, правильная организация вентиляции на производстве обеспечивает не только здоровье и безопасность работников, но и способствует повышению их производительности, снижению риска возникновения профессиональных заболеваний и

травм, а также улучшению общих условий труда. Поэтому важно обеспечивать постоянное контролирование и обслуживание систем вентиляции для поддержания их эффективной работы. Таким образом, климатические установки на производстве играют неоценимую роль в обеспечении оптимальных условий для работы и жизни, оказывая положительное влияние на эффективность производственных процессов, сохранность оборудования, здоровье работников и общее благополучие на предприятии.

Так же нельзя не упомянуть о важности регулярного контроля и своевременной диагностики исправности этих систем, поскольку неполадки могут привести к снижению производительности и повреждению оборудования, а также к ухудшениям условий работы сотрудников.

На данный момент контроль исправности климатических установок осуществляется следующими методами:

Визуальный осмотр – это один из наиболее доступных и простых методов контроля исправности климатических установок на производстве. Этот процесс включает в себя тщательное рассмотрение оборудования с целью выявления явных признаков износа, загрязнения или повреждений. Проводится он согласно следующим пунктам:

1. Проверка общего состояния: Осмотр всех элементов климатических установок, включая кондиционеры, воздуховоды, фильтры, вентиляторы и т.д., на предмет возможных дефектов или повреждений.

2. Оценка чистоты и засорения: Проверка степени загрязнения фильтров, вентиляционных решеток, теплообменников и других поверхностей, которые могут снижать эффективность работы системы.

3. Выявление внешних повреждений: Обнаружение трещин, изъязнов, коррозии или других видимых повреждений элементов оборудования, которые могут повлиять на его работоспособность.

4. Проверка соединений и креплений: Убедиться в надежности и целостности всех соединений, креплений и шлангов, чтобы исключить возможность утечек или разрушения соединяющих элементов.

Еще одним способом контроля исправности климатических установок является использование различных датчиков и приборов фиксирующих отклонение показателей температуры, влажности или загрязнения воздуха от нормы. Такой способ имеет ряд преимуществ по сравнению с предыдущим так как он практически не использует человеческие ресурсы, является более надежным и точным. Этот способ благодаря датчикам может указывать на место поломки или

неисправности раньше, чем это заметит человек. Как правило у датчиков выше порог чувствительности, и они способны увидеть малейшее отклонение от нормы. Благодаря этому производство может понести незначительные убытки по сравнению с тем если климатическая системы вовсе выйдет из строя. Но также у этого способа имеются и недостатки. Датчики требуют регулярного технического обслуживания и калибровки. Они не способны обнаружить все виды проблем, требуется комплексный подход к контролю оборудования. В случае обнаружения отклонений, требуется специалист для анализа данных и решения проблем.

Объединение визуального осмотра с использованием датчиков и приборов позволяет создать комплексный контроль за исправностью климатических установок на производстве, обеспечивая надежное функционирование оборудования, безопасность производственных процессов и комфортные условия труда для сотрудников.

Подводя итог данной статьи, становится ясно, что разработка приложения, которое могло бы автоматически передавать информацию о состоянии климатического оборудования специалисту, ответственному за его работоспособность, является необходимой задачей.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Марков А.В. Технологии климатических установок на производстве. – М.: Изд-во Техника, 2018.
2. Смирнов И.П. Основы проектирования и эксплуатации климатических систем. – СПб.: Политехника, 2016.
3. Johnson E., Smith T. "Industrial Climate Control Handbook", New York: Wiley, 2017.

УДК 004.41

**МАРТЫНОВА Е.С.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

#### **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМА ФЛОЙДА-УОРШЕЛА НА ЯЗЫКЕ PYTHON**

*В статье рассматривается обобщенный алгоритм Флойда - Уоршела и специфика реализации алгоритма на Python.*

Алгоритм Флойда, разработанный в 1959 ученым Робертом Флойдом, представляет собой мощный инструмент для нахождения

кратчайших путей во взвешенном графе с положительными или отрицательными весами ребер. Этот метод, объединяющий в себе математическую точность и алгоритмическую эффективность, остается одним из самых популярных средств для решения задач в области оптимизации сетей, планирования транспорта и других приложений, требующих быстрого поиска оптимальных маршрутов.

Обобщенный алгоритм Флойда можно описать следующим образом:

1) Инициализация. Создают матрицу расстояний  $dist$  размером  $n \times n$ , где  $n$  - количество вершин в графе. Заполняют ее начальными значениями:  $dist_{ij} = \text{вес ребра от вершины } i \text{ к вершине } j$ , если такое ребро существует, либо бесконечность.

2) Шаги обновления. Для каждой пары вершин  $i$  и  $j$  смотрят, может ли маршрут от вершины  $i$  к вершине  $j$  быть сокращен, если использовать вершину  $k$  на пути. Сравнивают текущий вес пути  $dist_{ij}$  с суммой весов пути от вершины  $i$  до вершины  $k$  и от вершины  $k$  до вершины  $j$ :  $dist_{ik} + dist_{kj}$ . Если сумма весов пути от  $i$  до  $k$  и от  $k$  до  $j$  меньше, чем текущий вес пути от  $i$  до  $j$ , то мы обновляем  $dist_{ij}$  этой новой суммой. Таким образом, мы улучшаем путь от вершины  $i$  к вершине  $j$  за счет прохождения через промежуточную вершину  $k$ .

3) Проверка на отрицательные циклы. После завершения основного цикла алгоритма проверить, содержит ли полученная матрица расстояний  $dist$  отрицательные значения на диагонали ( $dist_{ii} < 0$ ). Если такие значения присутствуют, значит в графе есть отрицательные циклы.

4) Результат. После выполнения алгоритма в матрице  $dist$  будут содержаться кратчайшие расстояния между всеми парами вершин [1].

5) Алгоритм имеет следующие особенности, достоинства и недостатки.

Особенности:

- Универсальность: метод Флойда обеспечивает возможность нахождения кратчайших путей между всеми парами вершин в графе, независимо от его масштаба и сложности.

- Простота реализации: основная концепция алгоритма Флойда основана на динамическом программировании, что делает его относительно простым в понимании и реализации.

Достоинства:

- Гарантия нахождения кратчайших путей между всеми парами вершин.

- Удобство применения в различных задачах, связанных с поиском кратчайших путей в графах.

- Алгоритм Флойда имеет временную сложность  $O(n^3)$ , что является довольно эффективным для большинства практических задач.
- Относительно хорошая производительность на практике, особенно для небольших графов.

Недостатки:

- Высокая временная сложность, что делает его неэффективным для графов больших размеров.
- Не подходит для графов с ребрами отрицательного веса из-за возможности возникновения проблемы циклов с отрицательным весом.

Опишем специфику реализации алгоритма на Python.

Первая особенность в реализации алгоритма Флойда - Уоршела на Python заключается в использовании двумерного списка для хранения матрицы расстояний между всеми парами вершин. В Python это можно осуществить следующим образом:

```
#Определяется константа INF, которая представляет  
бесконечность и используется для инициализации матрицы  
расстояний  
INF = float('inf')  
#Объявляется функция floyd_warshall, которая принимает в  
качестве аргумента матрицу смежности графа  
def floyd_warshall(graph):  
    n = len(graph)  
#Определяется количество вершин в графе.  
    dist = [[INF for_ in range(n)] for_ in range(n)]  
#Создается матрица расстояний dist размером n x n и  
заполняется значениями INF  
    for i in range(n):  
        for j in range(n):  
            dist[i][j] = graph[i][j]  
        for k in range(n):  
            for i in range(n):  
                for j in range(n):  
                    dist[i][j] = min(dist[i][j], dist[i][k] + dist[k][j])  
#Для каждой пары вершин i и j пересчитывается кратчайшее  
расстояние через вершину k  
    return dist
```

Еще одним важным аспектом является использование тройного вложенного цикла для обновления расстояний между всеми парами вершин. На каждой итерации алгоритма происходит сравнение текущего расстояния между вершинами через вершину k с уже существующим расстоянием, и, если необходимо, оно подвергается обновлению.

Третьей особенностью реализации рассматриваемого метода является использование средств динамического программирования для построения кратчайших путей между всеми парами вершин. За счет этого алгоритм работает за кубическое время от числа вершин в графе.

Дополнительной возможностью является оптимизации работы алгоритма путем использования проверки на бесконечное расстояние (INF) и пропуска лишних итераций. Например, можно модифицировать код алгоритма, чтобы не обновлять расстояние, если текущее значение уже равно бесконечности:

```
def floyd_warshall_optimized(graph):
    n = len(graph) # Определяем количество вершин в графе
    dist = [[INF for_ inrange(n)] for_ inrange(n)]
    # Создаем матрицу расстояний и заполняем ее значением
    INF
    for i in range(n):
        for j in range(n):
            dist[i][j] = graph[i][j] # Заполняем матрицу расстояний
            из матрицы смежности графа
        for k in range(n):
            for i in range(n):
                for j in range(n):
                    if dist[i][k] != INF and dist[k][j] != INF:
                        # Проверяем, что путь через вершину k существует
                        dist[i][j] = min(dist[i][j], dist[i][k] + dist[k][j])
                    # Пересчитываем кратчайшее расстояние между вершинами i
                    и j через вершину k
    return dist
```

Эта оптимизация помогает избежать лишних операций обновления расстояний и улучшить производительность алгоритма, особенно в случаях, когда граф имеет большое количество вершин и ребер.

Кроме того, стоит отметить, что метод Флойдалегко расширяем и модифицируем в зависимости от конкретной задачи. Например, можно добавить дополнительные условия для обработки весов ребер, обработку отрицательных циклов и т.д. [2].

При реализации данного алгоритма важно учитывать возможность наличия отрицательных циклов и выполнять проверку на их наличие. Это можно сделать, добавив дополнительную проверку после выполнения основного цикла алгоритма:

```
for i in range(n):
    if dist[i][i] < 0:
        return "Граф содержит отрицательный цикл"
return dist
```

На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма Флойда – Уоршела.

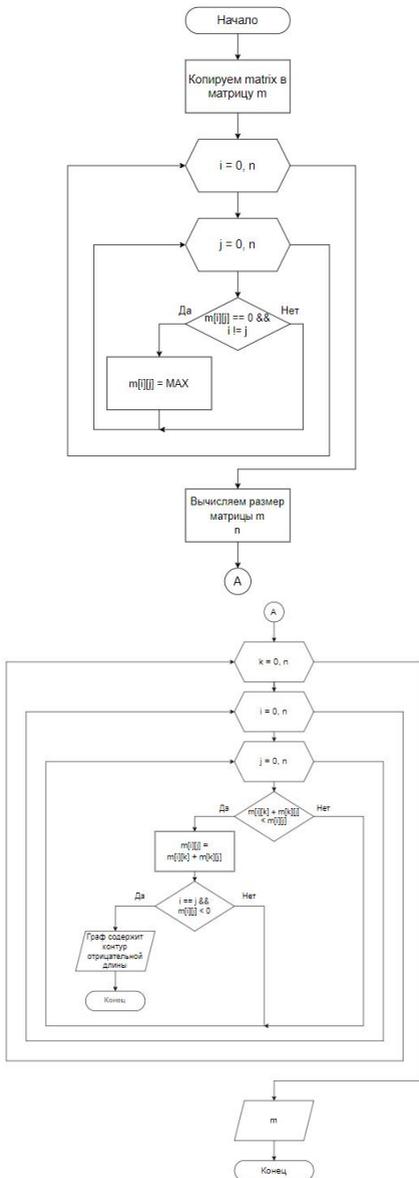


Рисунок 1 – Блок – схема алгоритма

Таким образом, использование алгоритма Флойда на языке программирования Python позволяет эффективно и с высокой точностью находить кратчайшие пути между всеми парами вершин в графе. Анализ особенностей, достоинств и недостатков данного метода предоставляет возможность применять алгоритм в практических задачах, связанных с анализом графов и поиска оптимальных путей.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Данные и алгоритмы в программном обеспечении САПР: учеб. пособие / С.В. Скворцов, В.В. Орехов; Рязан. гос. радиотехн. ун-т. – Рязань, 2009. – 88 с.
2. Алгоритмы построения путей на графах: Методические указания к практическим занятиям / Рязан. гос. радиотехн. акад.; Сост.: С.В. Скворцов, В.И. Хрюкин, Л.Б. Михеева. Рязань, 2004. 28 с.

УДК 004.421

**МАРТЫНОВА Е.С.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ КОМПОНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ГИПЕРГРАФА**

*В статье рассматривается описание алгоритма компоновки с использованием модели гиперграфа и его обобщенная реализация на языке программирования Python.*

В процессе конструкторского проектирования одним из главных этапов является компоновка элементов, который предполагает организацию функциональных элементов схемы в группы. Этот важный аспект позволяет решить несколько задач при разработке микросхем:

Уменьшение размера и веса изделия без ущерба для производительности. Рациональное распределение элементов и группировка их в соответствии с функциональностью позволяют оптимизировать расположение компонентов на микросхеме, что в свою очередь может привести к уменьшению размеров и массы конечного продукта.

Разделение компонентов на группы, каждая из которых выполняет свою функцию. Это подход позволяет логически структурировать проект, облегчая анализ и понимание взаимосвязей

между компонентами, а также упрощая процесс дальнейшей разработки и сопровождения изделия.

Ускорение процесса поиска неисправностей. За счет четкого разделения всех компонентов на группы, при возникновении неисправностей, можно быстрее локализовать проблему и провести диагностику неисправного узла или группы устройств. Это улучшает эффективность обслуживания и ремонта устройств.

Последовательный алгоритм компоновки с использованием модели гиперграфа представляет собой метод организации расположения компонентов в сложных системах с учетом их иерархических связей. Основная идея заключается в том, что компоненты моделируются как вершины гиперграфа, а связи между компонентами – как гиперребра. Алгоритм работает последовательно, определяя расположение компонентов с учетом их связей и ограничений.

Этапы работы рассматриваемого алгоритма могут включать в себя инициализацию гиперграфа, определение связей между компонентами, размещение компонентов с учетом связей и ограничений, а также оценку и оптимизацию компоновки [2].

Инициализация гиперграфа. На этом этапе определяются все компоненты и их зависимости друг от друга.

Определение связей между компонентами. На этой стадии устанавливают связи между компонентами в гиперграфе. Это может быть как прямая функциональная зависимость, так и другие виды связей, которые определяют взаимодействие между компонентами.

Размещение элементов. Производится размещение компонентов в соответствии с определенными связями и ограничениями. Алгоритм учитывает такие факторы, как минимизация длины связей, уменьшение конфликтов и перекрытий между компонентами, а также обеспечивает удобство доступа к нужным элементам.

Оценка и оптимизация компоновки. Могут использоваться различные метрики, такие как размер занимаемой площади, длина связей, минимизация количества пересечений и т. д. Целью оптимизации является достижение наилучших показателей эффективности и удобства использования системы.

Математическая постановка задачи.

Пусть дана схема, которую необходимо разбить на блоки  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_r\}$ , где каждый блок содержит не более чем заданное количество элементов  $\bar{S}$  и внешних выводов  $\bar{P}$ . То есть для каждого блока выполняются условия:  $S_j \leq \bar{S}$  и  $P_j \leq \bar{P}$ , где  $j = \overline{1, r}$ . Целью оптимизации будет минимизация количества межблочных связей.

Для моделирования схемы будем использовать гиперграф  $G = (E, V)$ , где  $V$  – множество вершин, а  $E$  соответствует электрическим цепям схемы. Базовый элемент  $e_0$  представляет собой фиктивный элемент – внешний разъем схемы.

В предложенном алгоритме процесс сборки каждого блока начинается с выбора начального базового элемента, который определяется как элемент с наибольшим количеством общих связей с другими нераспределенными элементами. Далее блок заполняется последовательно элементами из оставшихся нераспределенных. Для этого осуществляется отбор компонентов из общего набора, учитывая ограничения по количеству выводов из блока. При выборе следующего элемента для включения в блок предпочтение отдается элементу с наибольшим количеством общих связей с уже распределенными элементами в блоке. В случае наличия нескольких таких элементов, выбирается элемент, который при добавлении в блок минимизирует количество выводов из блока. В случае равенства условий выбирается элемент с наименьшим порядковым номером для формализации задачи[1].

Достоинства и недостатки алгоритма.

К достоинствам последовательного алгоритма компоновки с использованием модели гиперграф можно отнести простоту и понятность алгоритма для проектировщиков, а так же возможность учесть сложные зависимости между элементами схемы.

К недостаткам можно отнести ограничения на количество элементов, которые можно учесть в одной схеме из-за возможного увеличения сложности вычислений, и возможные проблемы с производительностью при работе с большими гиперграфами.

Для разработки последовательного алгоритма компоновки с использованием модели гиперграфа на Python, потребуется определить структуры данных для хранения информации о гиперграфе, элементах и связях между ними, а также реализовать алгоритм распределения элементов по блокам. Ниже приведен пример простого кода, который демонстрирует базовый шаблон алгоритма.

```
classHypergraph:
def__init__(self):
self.elements = {} # Словарь с элементами гиперграфа
self.edges = {} # Словарь с гиперребрами
defadd_element(self, element_id, connections):
self.elements[element_id] = connections
defadd_edge(self, edge_id, connected_elements):
self.edges[edge_id] = connected_elements
deflayout_algorithm(self):
```

```
# Алгоритм компоновки элементов по блокам
hypergraph = Hypergraph()
hypergraph.add_element('A', ['B', 'C'])
hypergraph.add_element('B', ['A', 'D'])
hypergraph.add_element('C', ['A', 'D'])
hypergraph.add_edge('X', ['A', 'B'])
hypergraph.add_edge('Y', ['B', 'C'])
hypergraph.layout_algorithm()
```

Этот базовый шаблон можно доработать и расширить в соответствии с конкретными требованиями и особенностями конкретной задачи компоновки.

Дополним предыдущий код более конкретным алгоритмом компоновки элементов по блокам.

```
class Hypergraph:
def__init__(self):
self.elements = {} # Словарь с элементами гиперграфа
self.edges = {} # Словарь с гиперребрами
defadd_element(self, element_id, connections):
self.elements[element_id] = connections
defadd_edge(self, edge_id, connected_elements):
self.edges[edge_id] = connected_elements
deflayout_algorithm(self): blocks = []
used_elements = set()
for element_idin self.elements:
if element_idnot in used_elements: block = [element_id]
used_elements.add(element_id)
for connected_elementin self.elements[element_id]:
if connected_elementnot in used_elements:
block.append(connected_element)
used_elements.add(connected_element)
blocks.append(block)
print("Blocks layout:")
for i, block in enumerate(blocks):
print(f"Block{i+1}: {block}")
hypergraph = Hypergraph()
hypergraph.add_element('A', ['B', 'C'])
hypergraph.add_element('B', ['A', 'D'])
hypergraph.add_element('C', ['A', 'D'])
hypergraph.add_edge('X', ['A', 'B'])
hypergraph.add_edge('Y', ['B', 'C'])
hypergraph.layout_algorithm()
```

В данном примере используется жадный алгоритм, который строит блоки элементов, начиная с первого элемента и добавляя в блок

все связанные с ним элементы. Затем алгоритм переходит к следующему неиспользованному элементу и повторяет процесс.

Результат работы алгоритма выводится в консоль в виде распределения элементов по блокам. Этот код можно доработать и оптимизировать в зависимости от конкретных требований и особенностей задачи компоновки.

Таким образом, последовательный алгоритм компоновки, помогает распределить элементы на блоки без предварительных вычислений, но чем больше количество элементов, тем значительно дольше будет работать данный алгоритм. Рассматриваемый алгоритм работает с разными математическими моделями функционально-логических схем цифровых устройств и принципиальных электрических схем аналоговых устройств.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Сапрыкин А.Н. Алгоритмические методы автоматизации конструирования электронных средств: учебное пособие – Рязань: ИП Коняхин А.В. (BookJet), 2021. – 116 с.

2. Структуры и алгоритмы обработки данных: методические указания к курсовому проектированию / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост. С.В. Скворцов, В.И. Хрюкин. Рязань, 2021. 16 с.

УДК 67.02

**МУРАНОВ В.П.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

*В данной статье рассматриваются различные методы сверления отверстий ПП, характеристики инструмента, используемого для обработки ПП, особенности различных дефектов возникаемых при сверлении.*

Печатные платы – основа современной электроники. От их качества зависит во многом бесперебойная работа большинства устройств. Поэтому проблемы, связанные с точной реализацией технических требований, являются актуальными. При производстве печатных плат используется множество методов создания отверстий и формообразования, например, пробивка, сверление, фрезерование. Механическая обработка один из самых значимых этапов в

производстве печатных плат, который сильно влияет на экономичность и эффективность производства.

Самой ответственной частью процесса механической обработки, является формирование переходных отверстий, которые предназначены для организации межслойной электрической связи. Результаты процесса сверления напрямую влияют на надежность межслойных электрических соединений. На данный момент производство большинства часто используемых конструкций МПП предполагает сверление большого количества глубоких переходных отверстий малого диаметра. В таком случае ограничения механического сверления заставляют перейти к сверлению при помощи лазера.

В механическом сверлении используется большое количество различных видов режущего инструмента. Для удобства принято делить инструмент на две группы, которые зависят от диаметра или технологического предназначения. По величине диаметра можно выделить четыре группы:

- 1) диаметр от 0,30 мм и меньше;
- 2) диаметр от 0,20 до 0,50 мм;
- 3) диаметр от 0,45 до 3,00 мм;
- 4) диаметр от 3,00 и выше.

По технологическому предназначению режущий инструмент можно подразделить на пять групп:

- 1) для высокоточного, прецизионного сверления и фрезерования;
- 2) для создания «глухих» отверстий (микрпереходов);
- 3) для обработки сложных МПП;
- 4) для обработки ГЖМПП и ГМПП;
- 5) стандартный режущий инструмент для обработки двухсторонних и многослойных плат с небольшим количеством слоев;

В зависимости от предназначения режущего инструмента, изменяется состав материалов из которого он сделан, геометрия заточки, конструкция винтовой канавки, отводов и режущей части. Режущий инструмент для обработки печатных плат изготавливается из твердосплавных материалов методом порошковой металлургии. Минимальный диаметр, который могут изготовить на данный момент – 0,1 мм. Основным материалом для производства режущего инструмента является карбит вольфрама, в качестве связующего материала используют кобальт, а также различные присадки, обеспечивая нужные свойства под конкретный способ обработки. Например, тантал и титан, позволяет режущему инструменту выдерживать повышенные нагрузки, а молибден дает необходимую

упругость для сверления глубоких отверстий малого диаметра. При обработке печатных плат режущий инструмент проходит сквозь разнородную заготовку, состоящую из разных слоев: основной материал (медь, стеклотекстолит), связующий слой (препрег, эпоксидная смола, полиимид), материал-наполнитель (стеклоткань). Самый сложный этап, это прохождение инструментом массы стеклянных волокон и нитей. В этот момент инструмент испытывает быстроизменяющиеся повышенные нагрузки.

То насколько долго проработает, инструмент зависит от количества абразивных частиц на его пути. Поэтому периодичность смены инструмента в зависимости от толщины и состава слоев печатных плат, определяется соотношением стекловолокна к диаметру инструмента.

Качество металлизированных отверстий зависит от последующих операций, связанных с покрытием отверстий слоем меди, следовательно, от того, как выполнена подготовка поверхности перед металлизацией, зависит качество металлизированных отверстий. Например, при обработке внутренней поверхности отверстия нужно предотвратить полимеризацию связующего слоя, чтобы не допустить воздействия химических растворов на диэлектрик. Поэтому очень важно не перегревать материал при сверлении, чтобы не допустить наволакивание связующего слоя на режущий инструмент и поверхность торцов внутренних контактных площадок. Существуют сверла, которые имеют конструкцию с уменьшающимся от режущей части к хвостовику диаметром. Эти сверла очень хорошо подходят для обработки МПП, где проблема наволакивания смолы на торцы внутренних контактных площадок приводит к затруднению процесса очистки.

На текущий момент выделяют три основных критерия для оценки качества сверления ПП: качество отверстий, износостойкость инструмента и производительность. Эти критерии напрямую влияют на параметры процесса механической обработки. При обработке печатных плат высокого класса точности возникает необходимость просверлить отверстие с минимальным отклонением центра отверстия от точки в системе координат. Чаще всего отклонение возникает в момент выхода сверла из отверстия. Происходит это в основном из-за неоднородности материала или некачественного инструмента. Для того чтобы исключить уход сверла, стоит использовать инструмент со специальной конструкцией, которая позволяет точно позиционировать сверло относительно координатной сетки. Так же можно использовать инструмент с укороченной кромкой, это позволит

уменьшить размер стружки, а, следовательно, попадание крупной стружки под сверло.

Для механической обработки контура печатной платы используется несколько методов: обрубка, скрайбирование, фрезерование.

Самым популярным из них считается метод фрезерования из-за высокой гибкости и возможности серьезной автоматизации. С учетом специфики материалов существует широкий выбор фрез: для обработки внутренних контуров; для обработки внешних контуров; для работы с гибкими материалами; для работы с комбинированными материалами; для работы с термозависимыми материалами.

Одной из отличительных особенностей фрез для обработки предназначенных для обработки контуров является конструкция, которая выполнена с чередованием режущих элементов, что напоминает початок кукурузы, поэтому такие сверла очень часто называют «кукуруза». Чем больше величина режущего элемента в «кукурузе», тем производительнее инструмент. При обработке печатной платы фрезой «кукуруза» необходимо тщательно подобрать скорость подачи фрезы по высоте, чтобы избежать подгар и загрязнение инструмента расплавленным диэлектриком. Некоторые «кукурузы» имеют специальную конструкцию отводов, что позволяет отводить продукты резания вниз это положительно влияет на прижим заготовки к столу станка, повышая тем самым точность обработки.

Для работы с гибкими материалами используют фрезы с заточкой «рыбий хвост» с разной формой вершин. Большой стружкотвод и высокая жесткость позволяют работать как в толщине материала, так и на его плоскости. Если материал мягкий или не термостойчивый стоит использовать фрезы с одной режущей кромкой с вершиной в виде «рыбьего хвоста».

Качество механической обработки зачастую зависит от геометрии рабочей части инструмента, малейшее отклонение от заданной геометрии может привести к смещению оси вращения. В следствии чего неизбежно образование крупной стружки, которая быстро приводит инструмент в нерабочее состояние. В процессе обработки появление стружки так же может привести к повреждению внутренней стенки отверстия. Полировка рабочих поверхностей инструмента позволит правильно отводить стружку, а также позволит избежать прилипание частичек препрега. Очень важно правильно выбрать угол подъема винтовой канавки, небольшой угол подъема канавки может привести к повреждению рабочей части сверла, а слишком большой угол подъема канавки чреват поломкой

инструмента, в следствии слишком быстрого вреза. Оптимальное значение угла подъема канавки равно 28°.

Одним из способов улучшения качества обработки печатных плат является использование новейших прецизионных станков с ЧПУ, которые позволяют добиться высокой точности и повторяемости обработки. Также важно развивать и оптимизировать технологии обработки материалов, таких как фрезерование, сверление и травление, чтобы минимизировать отходы материала и обеспечить более эффективное использование ресурсов.

Кроме того, важно развивать методы контроля качества обработки, чтобы оперативно выявлять и устранять дефекты на ранних этапах производства. Это поможет избежать брака и повысить надежность и долговечность печатных плат.

Таким образом, развитие технологий механической обработки печатных плат играет важную роль в современной электронной промышленности и требует непрерывного внимания и инвестиций. Оно способствует улучшению качества продукции, повышению производительности и конкурентоспособности предприятий, а также содействует развитию инновационных решений и электронных устройств.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Printed Circuit Boards: Design, Fabrication, Assembly and Testing / R.S. Khandpur, McGraw-Hill, 2006. – 691 с.
2. Fabricating Printed Circuit Boards / Elsevier Science, Jon Varteresian, 2002. – 236 с.

УДК 621.3

**ОСИН Д.Ю.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЛОКА ПИТАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАТРАСА НА ОСНОВЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ПРОВОДНИКОВ**

*В статье рассматриваются особенности проектирования блока питания.*

В современном мире все больше растет интерес к проводникам на основе углеводов. Проводники из алюминия и меди со временем испытывают на себе воздействие окружающей среды,

которые меняют их свойства в худшую сторону. Проводники из алюминия и меди со временем подвержены окислениям и обрывам, чего нельзя сказать о проводниках на основе углеводов. Такие проводники не подвержены окислениям, а деформация не оказывает на них большого влияния, за счет гибкости данного материала. Так же несомненным плюсом является высокая электропроводность и низких вес таких проводников.

Рассмотрим вариант применения углеводородных проводников при изготовлении электроматрасов с подогревом. Очевидно, что матрас в процессе эксплуатации постоянно подвергается деформации за счет давления на него со стороны тела человека. В данном случае, использование проводников на основе углеводов будет являться наиболее целесообразным и безопасным для каждодневной эксплуатации вариантом, ведь за счет большой гибкости данного материала сценарии обрывов проводников из таких материалов будут стремиться к нулю, а высокая электропроводность будет способствовать экономии трат на электричество примерно на 30-50% в сравнении с алюминиевыми или медными проводниками. Так же огромным плюсом, по сравнению с проводниками на основе меди или алюминия является то, что в углеводородных проводниках, за счет отсутствию металла, не создаются магнитные поля, которые могут оказывать пагубное влияние на человеческий организм. При избыточном воздействии, магнитные поля могут оказывать влияние на нервную систему, сердце, сосуды, так же появляется повышенная сонливость, частые головные боли.

Для работы матраса с подогревом нам потребуется блок питания, который и будет подавать напряжение на проводники, что будет вызывать их нагрев.

Для подачи питания на нагрузочный элемент будет использоваться блок питания, работающий от сети с диапазоном 210 – 230 вольт переменного напряжения. Схема блока питания показана на рисунке 1.

На входе установлен трансформатор для преобразования напряжения сети в рабочее напряжение, номинал которого равняется 12 вольт. Следом стоит диодный мост, преобразующий переменные 12 вольт в постоянные. Между положительным и нулевым контактом установлен сглаживающий низкие пульсации конденсатор. Связка из транзистора, резистора и стабилитрона образуют генератор стабильного напряжения. На выходе установлен ещё один сглаживающий конденсатор по высоким частотам. Выбор номиналов

обусловлен малой требуемой нагрузочной мощностью углеволоконной нити накаливания.

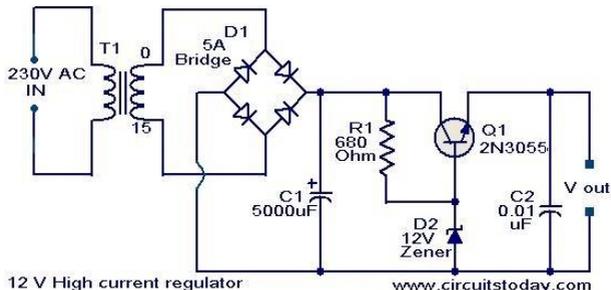


Рисунок 1 – Схема блока питания

Расчёт производился исходя из закона Джоуля-Ленца.  $IUt = cm\Delta T$

Удельная теплоёмкость углеволоконной нити равняется 7.12 дж/кг\*С. Выразим время, за которое нить нагреется до комфортных 36 °С.  $t = cm\Delta T / IU$ . Сила тока на выходе блока питания 2 Ампера, массу нити примем за 2 кг, следовательно:  $t = 2 * 7.12 * (36 - 25) / 12 * 2$ ,  $t = 6.5$

Результат говорит о том, что такие параметры блока питания удовлетворяют требованиям.

Стоит упомянуть о том, что процесс нагрева без схемы контроля будет осуществляться до момента отказа углеволоконной нити, из чего следует элементарный вывод, требуется схема контроля. Углеволоконная нить при нагреве начинает менять своё сопротивление. График изменения сопротивления углеволоконной нити показан на рисунке 2.

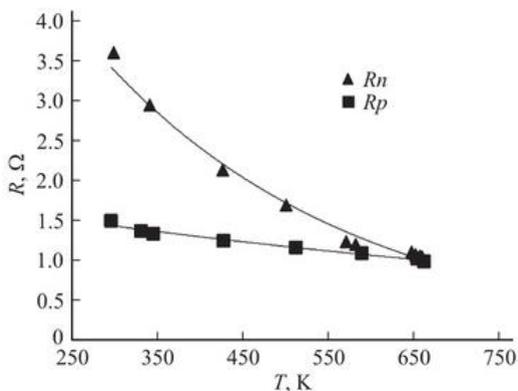


Рисунок 2 – Изменение сопротивления углеволоконной нити

График свидетельствует о том, что при нагреве сопротивление нити начинает уменьшаться, а как известно при уменьшении сопротивления возрастает ток. Следовательно, контроль нагрева будет осуществляться по току. На рисунке 3 показана схема защиты по току с регулировкой.

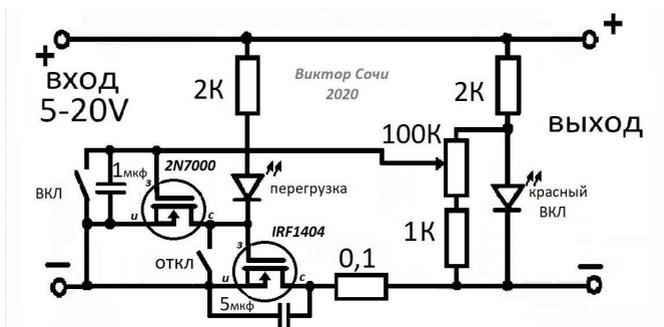


Рисунок 3 – Схема защиты по току с регулировкой

На вход схемы подаётся питание с блока питания. Замыкание кнопки включения запускает схему, дальше с резистивного делителя напряжение поступает на затвор полевого транзистора, и он открывается. Следом по схеме стоит транзистор, который замыкает цепь. При возрастании тока напряжение на транзисторе 2N7000 уменьшается, и он закрывается, что ведёт и к закрытию второго транзистора. Ёмкостные элементы сглаживают пульсации при замыкании транзисторов. Кнопка отключения подтягивает затвор транзистора к земле, что даёт возможность принудительного отключения схемы. Подстроечный резистор в данной схеме служит регулятором температуры нагрева углеволоконной нити.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рогов И.Е. Конструирование источников питания звуковых усилителей. – Инфра-Инженерия, 2011. –160 с.
2. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов –М.: ФИЗМАТГИЗ, 1959. – 356 с.

УДК 004.21

**ПАНТАЛИЙЧУК В.С.**Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ  
ДЕРЕВЬЕВ ШТЕЙНЕРА***Рассматривается программная реализация построения деревьев Штейнера в ортогональной метрике с использованием алгоритма построения столба Штейнера.*

Дерево Штейнера — дерево, соединяющее все исходные вершины, в котором допускается наличие новых вершин - точек Штейнера, позволяющих уменьшить суммарную длину соединений.

Существует несколько разновидностей деревьев Штейнера в зависимости от их представления. Выделим главные из них (рисунок 1).

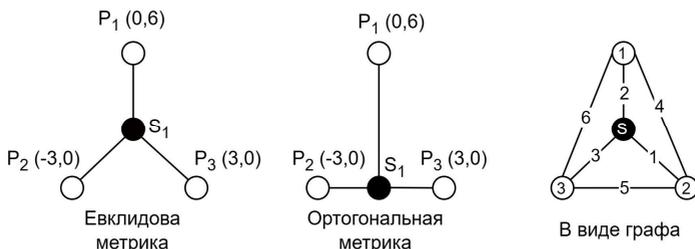


Рисунок 1 — Виды деревьев Штейнера

Отличие евклидовой метрики от ортогональной заключается в способе вычисления расстояния между точками. Так в евклидовой метрике расстояние определяется как:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

В то время как в ортогональной метрике:

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

где  $x_i, x_j, y_i, y_j$  — координаты  $i$ -ой и  $j$ -ой точки соответственно.

В виду того, что ортогональная метрика используется при работе с трассировкой печатных плат, рассмотрим эвристический алгоритм построения деревьев Штейнера в ортогональной метрике с использованием столба Штейнера.

Пусть дано множество вершин  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ . Требуется построить дерево Штейнера  $T = (N, E)$ , у которого длина рёбер  $E$  минимальна, а  $N = P \cup S$ , где  $S$  – множество точек Штейнера.

Эвристический алгоритм построения деревьев Штейнера с использованием столба Штейнера выделяется относительно других алгоритмов построения деревьев Штейнера малыми временными затратами. Он имеет временную сложность  $O(n)$ .

Различают 2 вида столбов Штейнера: горизонтальные и вертикальные.

Данный алгоритм представляет из себя построение столба Штейнера (вертикального или горизонтального) и проведения перпендикуляров из вершин множества  $P$  до данного столбца. Опишем эвристический алгоритм с использованием вертикального и горизонтального столба отдельно.

*Построение горизонтального столба Штейнера:*

Шаг 1. Находим точку  $p_a$  с наименьшим значением координаты  $y$  -  $(x_a, y_{\min})$  и точку  $p_b$  с наибольшим значением координаты  $y$  -  $(x_b, y_{\max})$ . Находим среднее значение полученных координат  $y$  как

$$y_{av} = (y_{\min} + y_{\max}) / 2$$

Шаг 2. Находим точку  $p_c$  с наименьшим значением координаты  $x$  -  $(x_{\min}, y_c)$  и точку  $p_d$  с наибольшим значением координаты  $x$  -  $(x_{\max}, y_d)$ .

Шаг 3. Строим столб Штейнера — отрезок с конечными точками  $(x_{\min}, y_{av})$  и  $(x_{\max}, y_{av})$ .

Шаг 4. Из каждой точки множества  $P$  проведём перпендикуляр до полученного столба.

*Построение вертикального столба Штейнера:*

Шаг 1. Находим точку  $p_a$  с наименьшим значением координаты  $x$  -  $(x_{\min}, y_a)$  и точку  $p_b$  с наибольшим значением координаты  $x$  -  $(x_{\max}, y_b)$ . Находим среднее значение полученных координат  $x$  как

$$x_{av} = (x_{\min} + x_{\max}) / 2$$

Шаг 2. Находим точку  $p_c$  с наименьшим значением координаты  $y$  -  $(x_c, y_{\min})$  и точку  $p_d$  с наибольшим значением координаты  $y$  -  $(x_d, y_{\max})$ .

Шаг 3. Строим столб Штейнера — отрезок с конечными точками  $(x_{av}, y_{\min})$  и  $(x_{av}, y_{\max})$ .

Шаг 4. Из каждой точки множества  $P$  проведём перпендикуляр до полученного столба.

Для наглядности работы алгоритма рассмотрим пример построения горизонтального столба Штейнера.

Имеем вершины со следующими координатами  $x, y$ :

$(-2.5, 45.0)$ ,  $(3.75, 50.0)$ ,  $(11.25, 22.5)$ ,  $(20.0, 40.0)$ ,  $(28.75, 20.0)$ ,  $(33.75, 45.0)$ ,  $(37.5, 25.0)$ .

Находим точку  $p_a$  с наименьшим значением координат  $y$  ( $x_a, y_{\min}$ ) и точку  $p_b$  с наибольшим значением координаты  $y$  ( $x_b, y_{\max}$ ):

$$y_{\min} = 20.0 \text{ и } y_{\max} = 50.0$$

Находим среднее значение полученных координат  $y$ :

$$y_{av} = (20.0 + 50.0) / 2 = 35.0$$

Находим точку  $p_c$  с наименьшим значением координат  $x$  ( $x_{\min}, y_c$ ) и точку  $p_d$  с наибольшим значением координаты  $x$  ( $x_{\max}, y_d$ ):

$$x_{\min} = -2.5 \text{ и } x_{\max} = 37.5$$

Строим столб Штейнера — отрезок с конечными точками ( $x_{\min}, y_{av}$ ) и ( $x_{\max}, y_{av}$ ): (-2.5, 35.0) и (37.5, 35.0)

Из каждой точки множества  $P$  проведём перпендикуляр до полученного столба:

Из точки (-2.5, 45.0) проведём перпендикуляр в (-2.5, 35.0), из точки (3.75, 50.0) в точку (3.75, 35.0), из точки (11.25, 22.5) в точку (11.25, 35.5), из точки (20.0, 40.0) в точку (20.0, 35.0), из точки (28.75, 20.0) в точку (28.75, 35.0), из точки (33.75, 45.0) в точку (33.75, 35.0), из точки (37.5, 25.0) в точку (37.5, 35.0).

В результате будет получено дерево Штейнера (рисунок 2) со следующими точками Штейнера:

(3.75, 35.0), (11.25, 35.0), (20.0, 35.0), (28.75, 35.0), (33.75, 35.0)

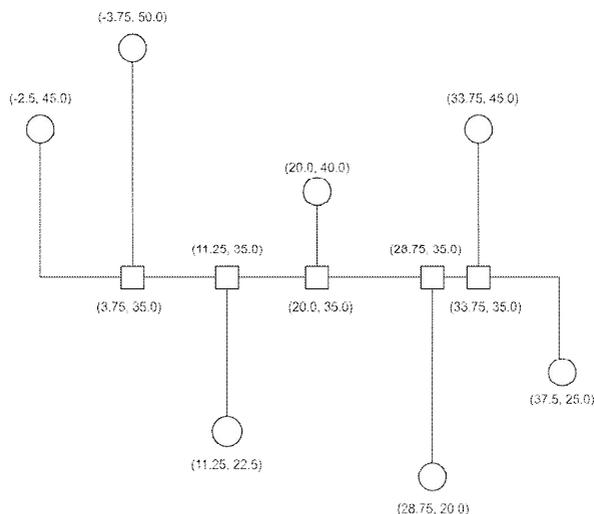


Рисунок 2 – дерево Штейнера

Стоит отметить, что конечные точки столба Штейнера не стали точками Штейнера, хотя в них и были проведены перпендикуляры, в

виду того, что локальная степень точек Штейнера должна быть равна или быть больше 3.

Так как данный способ построения дерева Штейнера не требует много затрат для реализации, то в программе, описанной ниже, приводится способ построения дерева, в котором высчитываются оба вида столба и выбирается наилучший по минимальной длине соединений.

Для написания программной реализации был использован язык программирования Python и графический фреймворк PyQt5.

Подробно рассмотрим функционал программы, а также опишем главные классы и функции, которые были написаны при разработке программной среды.

Класс SteinerWindow реализует главное окно программы (рисунок 3), включая различные меню (QMenuBar).

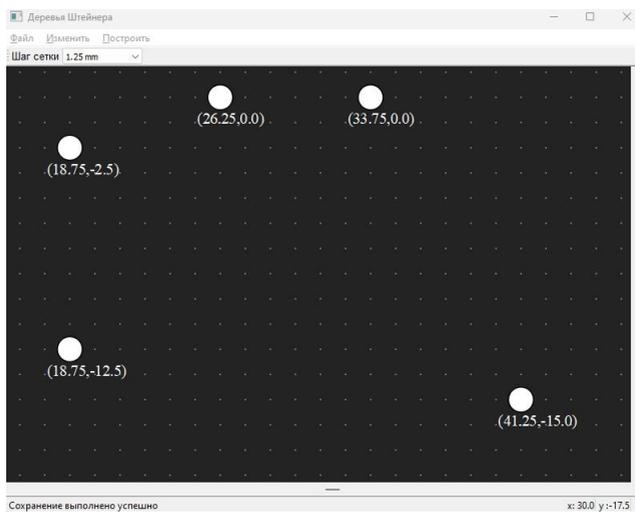


Рисунок 3 – Главное меню программы с расставленными вершинами

Меню «Файл» содержит пункты по созданию нового файла, сохранения текущего или открытие другого файла. Меню «Изменить» позволяет добавить или удалить вершины множества  $P$ . Меню «Построить» позволяет выбрать тип столба для построения (вертикальный или горизонтальный) или дать возможность программе выбрать лучший столб по полученной длине соединений дерева Штейнера. Все вышеуказанные пункты меню также можно вызвать с

помощью клавиш быстрого доступа. Например, режим добавления новой вершины можно вызвать с помощью клавиши «N», а сохранить или открыть новый файл можно через комбинации «Ctrl + S» и «Ctrl + O» соответственно. Помимо этого, в меню инструментов (QToolBar) есть возможность выбрать шаг сетки: 1,25 мм, 2,5 мм, 3,75 мм.

В данном классе также описана строка состояния программы (QStatusBar), которая находится в нижней части программы. В левой её части отображаются сообщения следующего характера: описание действия пункта меню, которое пользователь выделил в данный момент, сообщение об успешном сохранении, а также вывод длины получившегося дерева Штейнера после нажатия одного из пунктов меню «Построить». В правой части строки состояния отображаются координаты курсора в данный момент времени для более удобной и точной работы с вершинами.

Класс SgraphicsView, который наследует класс QGraphicsView PyQt5 реализует отображение графической сцены, а также все возможные взаимодействия пользователя с графическим редактором. Например, приближение и отдаление графической сцены по колёсику мыши с помощью функции `scale (sx, sy)` или передвижение по сцене по нажатию средней кнопки мыши через обработчик событий `mousePressEvent(event)`.

В классе SgraphicsScene, который наследует класс QGraphicsScene PyQt5 реализуется отображение сетки, по которой можно расположить вершины, с помощью переопределения метода `drawBackground(painter, rect)`.

Приведём код функции, реализующий построение горизонтального столба Штейнера и опишем его:

```
def heuristicSteinerColumnHorizontal(nodes):
    steiner_edges = []
    steiner_nodes = set()
    tree_length = 0
    y_max = max([xy[1] for xy in nodes])
    y_min = min([xy[1] for xy in nodes])
    y_av = (y_max + y_min) / 2
    x_max = max([xy[0] for xy in nodes])
    x_min = min([xy[0] for xy in nodes])
    steiner_edges.append([(x_min, y_av), (x_max, y_av)])
    tree_length += abs(x_min - x_max)
    x_max_count, x_min_count = 0, 0
    for node in nodes:
        if node[1] != y_av:
            steiner_edges.append([node, (node[0], y_av)])
            tree_length += abs(node[1] - y_av)
```

```
if node[0] == x_max and x_max_count == 0:
    x_max_count += 1
elif node[0] == x_min and x_min_count == 0:
    x_min_count += 1
elif not (node[0], y_av) in nodes:
    steiner_nodes.add((node[0], y_av))
return steiner_edges, steiner_nodes, tree_length
```

Функция принимает на вход `nodes` - список координат  $(x, y)$  исходных вершин  $P$ . На выходе мы получим следующие данные:

1. `steiner_edges` – список отрезков: столб и перпендикуляры к нему. Отрезок описан как список координат его конечных точек  $[(x_1, y_1), (x_2, y_2)]$
2. `steiner_nodes` – список точек Штейнера в виде координат  $(x, y)$
3. `tree_length` – длина получившегося дерева Штейнера.

В начале функции происходит инициализация вышеописанных выходных данных. Далее находится `y_max` и `y_min` с помощью комбинации генератора списков (берутся все значения координаты  $y$  в списке `nodes`) и функций `max` и `min` для максимального и минимального значения координаты  $y$  соответственно. Прodelываем аналогичные действия для переменных `x_max` и `x_min`. После этого находим среднее значение `y_max` и `y_min` и заносим значение в переменную `y_av`.

С помощью полученных координат мы можем построить горизонтальный столб Штейнера. Заносим в список `steiner_edges` отрезок  $[(x_{min}, y_{av}), (x_{max}, y_{av})]$ . Сразу же найдём длину данного отрезка как `abs(x_min - x_max)`, где `abs()` - функция возвращающее абсолютное значение числа. Занесём полученное значение `tree_length`. Отметим, что для вычисления длины отрезка достаточно знать абсолютное значение разности минимального и максимального значения  $x$ , так как в данном случае координаты  $y_1$  и  $y_2$  конечных точек отрезка равны. В дальнейшем при нахождении длины перпендикуляров тоже самое произойдёт с координатой  $x$ .

Далее происходит инициализация переменных `x_max_count` и `x_min_count` для подсчёта количества перпендикуляров, проведённых к конечным точкам столба Штейнера.

Во время цикла, который проходит по всем вершинам  $P$  и в котором строится перпендикуляры к столбу, существует несколько условий для правильного построения дерева Штейнера:

1. Условие `node [1] != y_av` проверяет, лежит ли вершина на столбе Штейнера. Если она лежит на столбе, то перпендикуляр строит не нужно и происходит переход на новую итерацию цикла. Иначе строится перпендикуляр от указанной вершины к столбу и координаты

его конечных точек заносятся в список `steiner_edges`. Также находится длина этого перпендикуляра и суммируется со значением `tree_length`. Происходит переход к следующему условию.

2. Условия `node [0] == x_max` и `x_max_count == 0` проверяют, равны ли координаты  $x$  вершины и конечной точки  $(x_{max}, y_{av})$  столба. Если они равны, то проверяется переменная `x_max_count` на количество проведенных перпендикуляров. При нулевом значении данная переменная увеличивается на единицу и происходит переход на новую итерацию цикла. Иначе происходит переход к следующему условию.

3. Условия `node [0] == x_min` и `x_min_count == 0` проверяют аналогичную ситуацию как в пункте 2, но уже с `x_min` координатой столба Штейнера. Действия по результату условия аналогичны пункту 2.

4. Условие `not (node[0], y_av) in nodes` проверяет наличие данной точки в списке `nodes`. Если такого не наблюдается, то в список `steiner_nodes` заносится точка пересечения перпендикуляра и столба. При ситуации, когда данная точка может совпасть с исходной вершиной, построение точки Штейнера не происходит.

В результате работы данной функции мы можем получить результат, показанный на рисунке 4.

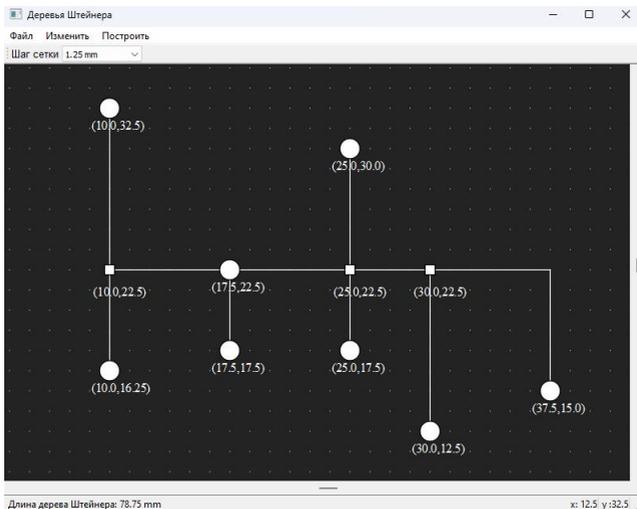


Рисунок 4 – Построенное дерево Штейнера

Таким образом, написанное программное средство может использоваться как в учебных целях для исследования работы алгоритмов построения деревьев Штейнера, так и в практических.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств. / В.А. Селютин. – М.: Сов. радио, 1977. – 381 с.

2. А.Н. Сапрыкин Алгоритмические методы автоматизации конструирования электронных средств: учебное пособие – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 116 с.

УДК 004.65

**ПОЛЕВОВ Е.А.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ G-КОДА ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ**

*Рассматриваются различные варианты использования G-кода, применимого к станкам с ЧПУ, его преимущества и недостатки.*

G-код, широко известный как универсальный язык программирования для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), играет ключевую роль в автоматизации производственных процессов. Этот язык обеспечивает точное управление движением инструмента и другими параметрами станка, что делает его незаменимым инструментом в мире металлообработки, деревообработки, обработки пластмасс и других отраслях производства. Станки с ЧПУ играют ключевую роль в современной промышленности, автоматизируя процессы производства и обеспечивая высокую точность и эффективность. Они используются для обработки различных материалов, включая металл, пластик и дерево, и находят применение в автомобильной, аэрокосмической, медицинской и других отраслях. С помощью программирования станков с ЧПУ можно создавать сложные детали и компоненты, что увеличивает производительность и снижает затраты на производство. История развития G-кода началась в середине 20 века с развитием ЧПУ-станков. G-код представляет собой серию инструкций, которые определяют движение и операции станка. Он стал стандартом в индустрии из-за своей простоты и эффективности.

Пример небольшого фрагмента G-кода:

G00 X10.0 Y5.0; Перемещение в точку X=10, Y=5 на максимальной скорости

G01 Z-2.0 F100.0; Линейное перемещение вниз по оси Z на 2 единицы с скоростью 100 единиц в минуту

G02 X8.0 Y3.0 I-1.0 J0.0; Дуговое перемещение по часовой стрелке от текущей позиции до точки X=8, Y=3 с центром в I=-1, J=0

G03 X10.0 Y5.0 I0.0 J2.0; Дуговое перемещение против часовой стрелки обратно к исходной точке с центром в I=0, J=2

Опишем основы G-кода.

1. Команды перемещения (G00, G01): Команды G00 и G01 отвечают за перемещение инструмента или рабочего стола станка. G00 используется для быстрого перемещения, когда скорость является приоритетом, а G01 используется для линейного перемещения с определенной скоростью.

2. Команды вращения (G02, G03): Эти команды контролируют вращение инструмента вокруг заданного центра. G02 указывает на вращение по часовой стрелке, а G03 - против часовой стрелки.

3. Команды подачи (G94, G95): Команды G94 и G95 определяют режим подачи. G94 используется для указания подачи в минуту, а G95 - в мм за оборот.

4. Команды остановки (M00, M01): Эти команды используются для остановки выполнения программы. M00 останавливает выполнение программы до момента, когда оператор нажмет кнопку продолжения, а M01 предлагает оператору выбор продолжить выполнение программы или нет.

5. Команды изменения инструмента (M06): Команда M06 используется для смены инструмента. Оператор указывает номер нового инструмента, и станок автоматически производит его замену.

Это лишь небольшой обзор основных команд G-кода. Каждая команда имеет свои параметры, которые могут быть настроены для конкретных требований производства. Понимание этих команд позволяет операторам станков создавать точные и эффективные программы для обработки материалов. G-код применяется в различных типах станков с ЧПУ, включая фрезерные станки, токарные станки, резальные станки, плазменные резаки и даже трехмерные принтеры. Этот язык универсален и может быть адаптирован к различным типам оборудования.

1. Фрезерование деталей:

- Оператор написал программу на G-коде для фрезерования сложной детали из металла. Программа включает команды для перемещения фрезера вдоль заданных траекторий, регулирования

скорости и глубины резания. Например, команда G01 используется для линейного перемещения фрезера по контуру детали, а команда G03 для создания окружностей или дуг.

#### 2. Токарная обработка:

- На токарном станке программа на G-коде используется для создания вращающихся деталей. Оператор задает необходимые параметры, такие как диаметр, длина и форма, и станок автоматически выполняет обработку согласно этим указаниям. Команды G00 и G01 используются для перемещения режущего инструмента вдоль оси X и Z для создания нужной формы.

#### 3. Плазменная резка:

- В процессе плазменной резки металла программа на G-коде определяет траекторию движения плазменного резака, скорость и мощность реза. Команда G01 используется для перемещения плазменного резака вдоль контуров детали, а команды M03 и M05 - для включения и выключения плазмы соответственно.

#### 4. Резка на лазерных станках:

- При использовании лазерных станков G-код используется для определения траектории лазерного луча и его мощности. Команды G00 и G01 указывают на перемещение лазерного луча вдоль контуров, а команда M106 - для включения лазера.

G-код обладает несколькими ключевыми преимуществами, которые делают его популярным и универсальным:

1. Простота использования: для написания программы на G-коде не требуется специальное программное обеспечение или обширные знания программирования. Это делает его доступным для широкого круга пользователей, включая операторов станков.

2. Гибкость: G-код позволяет настраивать процессы обработки под конкретные требования и особенности материала. Операторы могут легко вносить изменения в программу, чтобы достичь нужного результата.

3. Совместимость: поскольку G-код является стандартом в отрасли обработки материалов, программы, написанные на этом языке, могут быть использованы на различных станках и оборудовании, что обеспечивает совместимость и универсальность.

Как язык программирования низкого уровня он наделен некоторыми недостатками

1. Ограниченная функциональность: G-код предоставляет ограниченный набор команд, что может быть недостаточно для реализации сложных операций или алгоритмов.

2. Трудность в редактировании и отладке: Редактирование больших программ на G-коде может быть сложным из-за отсутствия интегрированных средств отладки и ограниченных средств автоматизации.

3. Зависимость от конкретного оборудования: G-код часто специфичен для конкретного типа станка или производителя, что может создавать проблемы с переносимостью программ между различными устройствами.

4. Неэффективность в условиях сложных операций: для выполнения сложных операций и алгоритмов может потребоваться большое количество строк G-кода, что затрудняет поддержку и управление программой.

G-код остается важным инструментом в области ЧПУ, обеспечивая точное и эффективное управление станками и обеспечивая производственным предприятиям гибкость и универсальность в процессе обработки материалов.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Григоров И.В. Сопряженная обработка деталей на станках с ЧПУ. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2022.
2. Русинов В.Л. Система управления шпинделем фрезерного станка с ЧПУ. – Благовещенск: Вестник АмГУ, 2018.
3. Гуцин И.О. Классификация программируемых станков. – Красноярск: Изд-во СибГУ, 2023.

УДК 621.3

**ПОЛЯКОВ И.В.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **ШИРОКОПОЛОСНЫЙ АУДИО УСИЛИТЕЛЬ**

*В статье рассматривается широкополосный аудио усилитель. Описываются этапы его конструирования и его применение.*

Широкополосный аудио усилитель – это устройство, предназначенное для увеличения мощности звукового сигнала на широком диапазоне частот. Такой усилитель способен работать с различными типами аудио сигналов, включая музыку, речь, звуковые эффекты и т.д [1].

Широкополосный аудиоусилитель – это устройство, разработанное для усиления аудиосигнала с широким диапазоном частот от низких до высоких частот. Такой усилитель является ключевым компонентом аудиосистемы и используется для усиления звука, который затем воздействует на акустическую систему для воспроизведения звука.

Основные характеристики широкополосного аудио усилителя:

1. Частотный диапазон: широкополосные усилители способны воспроизводить звуки с частотами от 20 Гц до 20 кГц и более, что соответствует человеческому слуху.

2. Мощность: усилитель должен иметь достаточную мощность для усиления звукового сигнала без искажений. Обычно мощность измеряется в ваттах.

3. Качество звука: широкополосные усилители обеспечивают высокое качество звука благодаря низким искажениям и высокой четкости звучания.

4. Входы и выходы: усилитель может иметь различные входы (аналоговые, цифровые) и выходы (для подключения к колонкам, наушникам и другим устройствам).

5. Дополнительные функции: некоторые усилители могут иметь дополнительные функции, такие как эквалайзеры, фильтры, регуляторы громкости и т.д.

Ключевые особенности широкополосного аудио усилителя:

- Широкая полоса пропускания: широкополосный аудиоусилитель с частотой частоты от низких (басов) до высоких (высокие частоты), что позволяет воспроизводить звуковой сигнал с полным диапазоном частоты и сохранять высокое качество звука.

- Низкое качество звука и высокая чистота звука: Хороший широкополосный аудиоусилитель обеспечивает минимальное усиление сигнала, что позволяет передавать аудио без потерь качества и с наилучшей чистотой звучания.

- Надежность и подключение: хорошо поставленный широкополосный аудиоусилитель должен быть надежным в работе и обеспечивать стабильную передачу сигнала в течение длительного времени.

- Эффективное управление теплом: поскольку усилитель может нагреваться в процессе работы, важно обеспечить охлаждение системы, что обеспечит оптимальную температуру усилителя и предотвратит перегрев.

Широкополосные аудиоусилители используются в различных аудиоустройствах: от бытовых аудиосистем и профессионального

аудиооборудования до автомобильных аудиосистем и встроенных инструментов. Работа по созданию широкополосного аудио усилителя неразрывно связана с достижением высокого качества звука и с учетом требований пользователей при передаче аудиосигнала с высокой точностью и достоверностью.

Широкополосные усилители обычно имеют возможность регулировать уровень громкости, тональность звука и другие параметры для достижения оптимального звучания. Они широко используются в аудио системах, студийном оборудовании, акустических системах и других областях, где требуется усиление звукового сигнала.

Широкополосными усилителями называют усилители, полоса пропускания которых близка к предельно возможной, обычно от нуля или нескольких герц до нескольких мегагерц (десятков, сотен мегагерц). Такие усилители применяются для усиления синусоидальных сигналов и для усиления импульсов [2].

У ламповых каскадов также могут иметь место искажения вследствие инерционности – времени пролета электронов между электродами. Но обычно это время настолько мало, что преобладают другие причины высокочастотных искажений.

Конструирование широкополосного аудио усилителя требует определенных знаний в области электроники и аудиоинженерии. Вот основные шаги, которые могут потребоваться при создании широкополосного аудио усилителя [3]:

1. Определение требований: сначала определите, для каких целей вам нужен усилитель (например, для домашнего использования, для студийного оборудования и т.д.) и какие требования к нему предъявляются (мощность, диапазон частот, уровень искажений и т.д.).

2. Выбор компонентов: Выберите подходящие компоненты для создания усилителя, такие как операционные усилители, резисторы, конденсаторы, индуктивности и транзисторы. Убедитесь, что выбранные компоненты соответствуют требованиям вашего проекта.

3. Схемотехника: Разработайте схему усилителя, определив его основные блоки (входной каскад, усилительный каскад, выходной каскад и т.д.) и соединения между ними. Учтите требования к уровню сигнала, частотному диапазону и другим параметрам.

4. Монтаж и сборка: Соберите усилитель, следуя разработанной схеме. Правильно расположите компоненты на печатной плате или в корпусе, обеспечивая хорошее электрическое соединение и минимизируя помехи.

5. Тестирование и отладка: после сборки усилителя проведите тестирование его работы, проверьте выходной сигнал на соответствие заданным параметрам. В случае необходимости произведите отладку и корректировку схемы.

6. Настройка и оптимизация: Оптимизируйте работу усилителя, настроив его параметры (например, уровень громкости, тональность звука) для достижения наилучшего звучания.

Широкополосные аудио усилители находят широкое применение в различных областях, где требуется передача и усиление звукового сигнала с широким диапазоном частот. Вот некоторые основные области применения широкополосных аудио усилителей:[4]

1. Домашние аудиосистемы: Широкополосные усилители используются в домашних аудиосистемах для усиления звуковых сигналов от источников звука, таких как CD-плееры, проигрыватели виниловых пластинок, радиоприемники и т.д. Они обеспечивают высокое качество звучания и могут работать с различными типами акустических систем.

2. Профессиональное аудиооборудование: Широкополосные усилители применяются в студийном оборудовании, концертных звуковых системах, кинотеатрах и других профессиональных аудиоустановках. Они способны обрабатывать высококачественные аудиосигналы с широким диапазоном частот и обеспечивать четкое и мощное звучание.

3. Автомобильные аудиосистемы: Широкополосные усилители используются в автомобильных аудиосистемах для усиления звуковых сигналов от автомагнитол, CD/DVD-плееров, сабвуферов и динамиков. Они позволяют создать качественное звучание в автомобиле и обеспечить высокую громкость звука.

4. Профессиональная звукозапись и звуковая обработка: Широкополосные усилители используются в студиях звукозаписи, радио- и телевидении, кинопроизводстве и других областях профессиональной звукозаписи и звуковой обработки. Они помогают передавать и обрабатывать аудиосигналы с высокой точностью и качеством.

5. Компьютерные аудиосистемы: Широкополосные усилители также применяются в компьютерных аудиосистемах, включая наушники, колонки, звуковые карты и другие устройства. Они позволяют получать качественный звук при прослушивании музыки, игр, просмотра фильмов и других мультимедийных контентов.

Это лишь некоторые из областей применения широкополосных аудио усилителей. Благодаря своей универсальности и высокому

качеству звучания они являются важным компонентом многих аудиоустройств и систем.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Широкополосные и импульсные усилители: [Электронный ресурс]. URL: <https://prosommelier.ru/files/scheduleFiles/9f/56.pdf>

2. Красько А.С. Аналоговые электронные устройства: Методические указания по курсовому проекту – Томск: ТМЦДО, 2000. – 42с.

3. Титов А.А. Расчет элементов высокочастотной коррекции усилительных каскадов на биполярных транзисторах: Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию для студентов радиотехнических специальностей. – Томск: ТУСУР, 2002. – 47 с.

УДК 621.43.036.9

**ПЫРКОВ А.В.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УМНОГО СМЕСИТЕЛЯ**

*В статье рассматриваются особенности проектирования умного смесителя.*

Стремление к автоматизации и упрощению человеческой жизни всегда присутствовало на любом этапе научно технического прогресса. На данный этап развития научно технического прогресса технологии позволяют значительно снизить затраты человеческих ресурсов на производстве и в быту. Упрощение жизни человека в бытовых вопросах является задачей, решение которой будет представлена в выпускной квалификационной работе. Разработка умного смесителя обусловлена долгой подстройкой смеси горячей и холодной воды для достижения комфортной температуры.

Бытовые смесители можно разделить на два вида:

- 1) Двухвентильные (рисунок 1);
- 2) Моновентильные (рисунок 2).

В двухвентильном смесители трубы горячей и холодной воды отдельно подводятся к каждому крану. Поворот каждого из вентиля приоткрывает внутреннюю заслонку, тем самым увеличивая поток воды, проходящий через клапан.



Рисунок 1 – Двухвентильный смеситель

Моноventильные смесители соединяют в себе две трубы горячую и холодную. Поворот вентиля корректирует пропорциональность смешивания воды, наклон вентиля корректирует поток проходящей воды.



Рисунок 2 – Моноventильный смеситель

В работе используется двухвентильный смеситель. Выбор данного вида смесителя обусловлен удобством реализации регулировки потока проходящей воды. В основу конструкции корректировки температуры и проходящего потока входят шаговые моторчики, датчик температуры, дисплей, кнопки управления и микроконтроллер. Шаговые моторчики через ремень соединяются с вентилями и посредством сигнала от микроконтроллера вращают их для корректировки температуры и напора воды. Кнопками управления задаётся нужная температура в градусах Цельсия и напор воды. Напор воды лежит в диапазоне от нуля, что означает полное закрытие заслонки вентиля до ста, что означает полное открытие заслонки вентиля. Корректировка открытия происходит посредством полученной информации от датчика температуры (рисунок 3), который находится на выходе выпускающей трубы.



Рисунок 3 – Датчик температуры

В зависимости от отклонения от заданной температуры вентили холодной и горячей трубы будут закрываться или открываться. Напор воды будет регулироваться одновременным подачей импульса на шаговые моторчики (рисунок 4) одинаковой продолжительности, что приведет к одновременному открытию или закрытию обоих заслонок на одинаковую величину.



Рисунок 4 – Шаговый моторчик

Для удобства использования предусмотрена возможность шаблонного хранения настроек температуры и напора воды. Шаблоны напора будет включать в себя 3 конфигурации:

- 1) Слабый (30 из 100)
- 2) Средний (60 из 100)
- 3) Сильный (90 из 100)

Также присутствует возможность сохранения своего шаблона комфортной температуры. При отключении крана, сохраняется последняя настройка температуры и напора.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny фирмы ATMEL. Руководство пользователя. – М.: ДМК, 2015. – 426 с.
2. Иванов В.Б. Программирование микроконтроллеров для начинающих Визуальное проектирование, язык С, ассемблер. – СПб.: Корона-Век, 2015. – 176 с.
3. Прокопенко В.С. Программирование микроконтроллеров ATMEL на языке С. – СПб.: Корона-Век, 2015. – 320 с.

УДК 621.371.391.1

**РУМЯНЦЕВ С.С.**

АО «Моринформсистема-Агат-КИП»

### **ТЕРМОМЕТРИЯ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ РЕФЛЕКТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

*В статье исследован вопрос термометрии теплоносителя первого контура ядерной энергетической установки с помощью импульсного рефлектометрического уровнемера. Выполнена аппроксимация зависимости температуры от относительной диэлектрической проницаемости дистиллированной воды. Выполнена оценка погрешности и даны рекомендации по повышению точности.*

Обеспечение температурного режима ядерных энергетических установок (ЯЭУ) необходимо для их безопасной эксплуатации и стабильной безаварийной работы. Превышение температуры теплоносителя выше допустимой приводит к его закипанию, повреждению элементов теплового контура и иным негативным последствиям. Как правило, для измерения температур в реакторе используются термоэлектрические термометры, при этом их материалы должны удовлетворять ряду требований, главные из которых – они должны иметь радиационную стойкость, обладать малым сечением поглощения нейтронов и активацией при облучении. Обычно, используются высокотемпературные молибден-ренийевые или вольфрам-ренийевые термопары [1].

Измерение рефлектометрическим методом основано на использовании эффекта изменения относительной диэлектрической

проницаемости воды в зависимости от температуры теплоносителя [2]. Этот метод широко применяется, например, для измерения температурного распределения вдоль оптического волокна, на основе рамановского и релеевского рассеяния сигналов [3]. При использовании данного способа чувствительный элемент возможно поместить непосредственно в резервуар первого контура, что обеспечит точность измерения. Измерение температуры возможно провести на базе существующего импульсного рефлектометрического уровнемера, предназначенного для измерения уровня воды в ёмкостях –компенсаторах объёма первого контура ЯЭУ. Его чувствительный элемент представляет собой жесткую фазостабильную коаксиальную линию передачи [4]. Физической основой для измерения будет являться зависимость относительной диэлектрической проницаемости воды от температуры [2]. При этом меняется скорость  $v_u$  распространения зондирующего импульса равна

$$v_u = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon}}, \quad (1)$$

где  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с, а  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость воды

Необходимо установить в заполненной водой части чувствительного элемента импульсного рефлектометрического уровнемера две метки с фиксированным расстоянием  $L_M$  между ними. Рефлектограмма позволяет определить временную задержку  $\tau_M$ , и с учётом формулы (1) вычислить относительную диэлектрическую проницаемость:

$$\varepsilon = \left( 2 \cdot \tau_M \cdot \frac{c}{L_M} \right)^2. \quad (2)$$

Относительная погрешность измерения  $\delta_\varepsilon$  относительной диэлектрической проницаемости вычисляется с использованием выражения [5]:

$$\delta_\varepsilon = \sqrt{\left( \frac{\partial \ln \varepsilon}{\partial \tau_M} \Delta \tau_M \right)^2 + \left( \frac{\partial \ln \varepsilon}{\partial L_M} \Delta L_M \right)^2}, \quad (3)$$

где  $\Delta \tau_M$  – абсолютная погрешность измерения временной задержки  $\tau_M$ , с;  $\Delta L_M$  – абсолютная погрешность измерения расстояния  $L_M$  между двумя метками, м.

Принимая  $L_M$  за постоянную величину и пренебрегая точностью установки меток, представим выражение (2) в виде многочлена:

$$\varepsilon = K \cdot \tau_M^2, \quad (4)$$

где коэффициент  $K = \left(2 \cdot c / L_M\right)^2$ .

Тогда логарифмируя выражение (4) получим:

$$\ln \varepsilon = \ln K + 2 \cdot \ln \tau_M. \quad (5)$$

Производная от выражения (5) равна:

$$\frac{\partial \ln \varepsilon}{\partial \tau_M} = 2 \cdot \frac{1}{\tau_M}.$$

В таком случае формула (3) преобразуется к виду:

$$\delta_\varepsilon = \sqrt{\left(2 \cdot \frac{1}{\tau_M} \Delta \tau_M\right)^2} = 2 \cdot \delta_{\tau_M}, \quad (6)$$

где  $\delta_{\tau_M}$  – относительная погрешность измерения временной задержки.

Для измерения температуры теплоносителя  $T$  необходимо построить зависимость от относительной диэлектрической проницаемости, с учётом влияния давления водяного пара (рисунок 1).

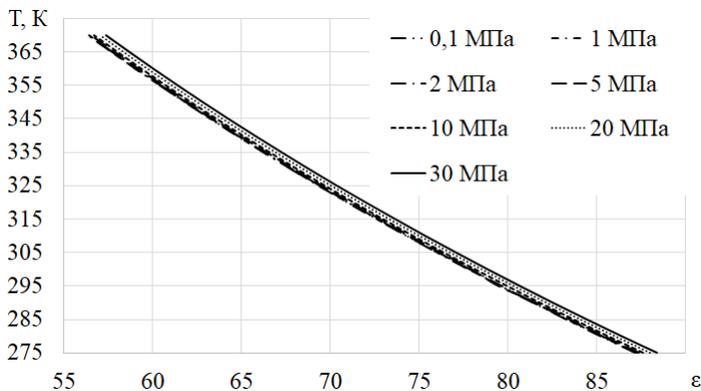


Рисунок 1 – Зависимость температуры воды от относительной диэлектрической проницаемости и давления

Анализа графика показывает, что зависимость близка к линейной, при этом влияние давления мало. При вариации давления в пределах от 0,1 до 30 МПа отклонение диэлектрической проницаемости от усредненного значения не превышает 1,78%, а в среднем составляет 1,5%.

Усреднённую зависимость температуры теплоносителя (воды) от его относительной диэлектрической проницаемости (среднее арифметическое графиков, показанных на рисунке 1) можно аппроксимировать линейной функцией вида

$$T = k\varepsilon + b, \quad (7)$$

где коэффициент  $k = \Delta T / \Delta \varepsilon$  характеризует тангенс угла наклона и для усреднённой кривой  $k = -3,08241$ .

Для коэффициента  $b$  составим выражение

$$b = T_1 - k\varepsilon_1, \quad (8)$$

где  $T_1$  и  $\varepsilon_1$  абсолютная температура и относительная диэлектрическая проницаемость в начале интервала. Для усреднённой кривой:  $T_1 = 275\text{K}$  и  $\varepsilon_1 = 87,55$ . В этом случае выражение (7) с учётом (8) примет вид:

$$T = -3,08241(\varepsilon - 87,55) + 275. \quad (9)$$

Данная эмпирическая зависимость может быть использована в диапазоне абсолютных температур от 275 до 370 К при колебаниях давления от 0,1 до 30 МПа.

Справедливо утверждать, что обеспечение точного измерения температуры предложенным методом потребует высокой точности определения временной задержки  $\tau_M$ . Способ имеет ряд преимуществ, в том числе возможность размещения чувствительного элемента в зоне с высокой радиацией, сочетанием уровнемера и измерителя температуры в одном устройстве и возможность разнесения с первичного преобразователя и электронного блока.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Троепольская А.А. Модернизация системы измерения температуры при испытаниях ядерно-энергетических установок / А.А. Троепольская, М.В. Волкодаев // Теория и практика современной науки. – 2023. – №6 (96). – С. 176–190.

2. Fernandez D.P. A Formulation for the Static Permittivity of Water and Steam at Temperature from 238 K to 873 K at Pressures up to 1200 MPa, Including Derivatives and Debye-Hukel Coefficients / D.P. Fernandez, A.R.H. Goodwin, E. W. Lemmon et al. // J. Phys. Chem. Ref. Data. 1997. Vol. 26. P. 1125-1166

3. Белянко Е.В. Разработка и применение рамановского рефлектометра для системы контроля температуры оптических волокон на ВОЛС-ВЛ [Текст] / Е.В.Белянко, М.С.Зюзин, В.И.Бобров,

М.Л.Гринштейн, О.И.Богданова, А.В.Орешкин // Фотоника №4/58/ 2016г, с. 80-93.

4. Корячко В.П. Математическая модель рефлектометрического уровнемера для измерения уровня воды в контуре ядерной энергетической установки / В.П.Корячко, С.С.Румянцев, Л.В.Аронов //Вестник РГРТУ. Рязань. РГРТУ. 2023. Вып. 2 (84). С. 157-165.

5. Курепин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: Метод. указания к лабораторным работам для студентов 1, 2 и 3-го курсов всех спец./ Под ред. В.А. Самолетова. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2003 – 57 с.

УДК 004.4

**САПРЫКИН А.Н., ЗАЙЦЕВ Е.С.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ТРАНСЛЯТОРОВ  
ВЫСОКОУРОВНЕВЫХ ЯЗЫКОВ НА ЯЗЫК  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТУРЫ VHDL ДЛЯ  
ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ**

*В данной работе рассматриваются значимость разработки трансляторов для преобразования кода высокоуровневых языков программирования на язык проектирования аппаратуры VHDL. Описывается схема работы трансляторов, приводится пример перевода кода с высокоуровневого языка программирования на язык проектирования аппаратуры VHDL.*

В современном мире проектирование и разработка цифровых интегральных схем и систем на их основе играют ключевую роль в развитии многих отраслей, таких как электроника, вычислительная техника и телекоммуникации. С каждым годом сложность интегральных схем возрастает, что требует от разработчиков постоянного совершенствования методов и инструментов проектирования.

Но из-за растущей популярности высокоуровневых языков программирования, а также спроса на специалистов данного направления, поиск разработчика, который знает VHDL на уровне, достаточном для описания функции и логической организации цифровой системы, затруднителен.

Именно по этой причине актуальность вопроса о разработке транслятора с языка высокого уровня на язык проектирования VHDL высока.

В основе работы большинства трансляторов лежат основные шаги преобразования кода на одном языке программирования в другой язык программирования. Эти шаги можно сформулировать следующим образом:

1. Лексический анализ. На данном этапе, транслятор выполняет сканирование исходного кода. В процессе этого сканирования, исходный код разбивается на лексемы. Примерами лексем могут быть: ключевые слова, идентификаторы, операторы и т.д. Этот процесс часто включает в себя удаление комментариев и пробелов.

2. Синтаксический анализ. Во время выполнения синтаксического анализа транслятор рассматривает полученную последовательность лексем и проверяет их на соответствие грамматике языка программирования.

Так же на данном этапе создается синтаксическое дерево (или абстрактное синтаксическое дерево), которое отражает структуру транслируемой программы.

3. Семантический анализ. В процессе проведения семантического анализа транслятор проверяет семантику программы. Это подразумевает проверку типов данных, правильность использования переменных и другие аспекты семантики языка.

4. Генерация промежуточного представления. Данный этап выполняется не всеми трансляторами. В результате составления промежуточного представления программы получается промежуточный код, который может быть легко транслирован в целевой код. Примерами промежуточного представления могут быть: Java – байт-код, префиксная, постфиксная запись, ориентированный граф и др.

5. Оптимизация. В процессе оптимизации кода, происходит ускорение выполнения программы и повышение ее эффективности. Наиболее большое влияние данный этап оказывает на крупные программные проекты или в момент работы с большим объемом данных.

При оптимизации кода транслятор устраняет избыточные операции, оптимизирует взаимодействие с памятью, анализирует и оптимизирует работу условий и циклов.

6. Генерация целевого кода. Этот этап считается завершающим этапом трансляции. В процессе генерации целевого кода, создается код на целевом языке программирования или машинный код, который может быть выполнен на целевой платформе (например JVM).

Обобщенная схема работы транслятора показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема работы транслятора

Рассмотрим разработку транслятора на примере, который переводит текст программы с языка программирования высокого уровня (например, Python, Java или C++) в описание электронной схемы на языке VHDL.

Пусть есть некое простое арифметическое выражение, написанное на высокоуровневом языке программирования Python:

```

a = 5
b = 10
c = a + b
  
```

Показанный выше фрагмент кода складывает два числа и присваивает результат переменной "c". Результатом трансляции этого кода на VHDL, будет последовательность команд, представленная на рисунке 2.

```

library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
use IEEE.numeric_std.all;

entity arithmetic_expression is
port (
    a, b: in std_logic_vector(3 downto 0);
    c: out std_logic_vector(4 downto 0)
);
end arithmetic_expression;

architecture rtl of arithmetic_expression is
begin
    process (a, b)
    begin
        c <= std_logic_vector(unsigned(a) + unsigned(b));
    end process;
end rtl;
  
```

Рисунок 2 – Результат трансляции кода на Python в VHDL

Разработка трансляторов, переводящих код с высокоуровневых языков программирования в язык VHDL, расширяет возможности проектирования современных цифровых систем. Такой подход значительно упрощает процесс разработки, делая его более доступным для программистов, не специализирующихся на низкоуровневом программировании. Происходит сокращение времени разработки и повышается её качество за счёт использования высокоуровневых абстракций и структур данных, привычных для программистов, что минимизирует вероятность ошибок.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Бабак В.П. VHDL: справочное пособие по основам языка / В.П. Бабак, А.Г. Корченко, Н.П. Тимошенко, С.Ф. Филоненко. – Москва: ДМК Пресс, 2020. – 217 с.
2. Берчун Ю.В. Язык описания электронной аппаратуры VHDL : учебное пособие. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2010. – 64 с.

УДК 004.021

### **САПРЫКИН А.Н., КОШЕЛЁВА И.Д.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **АЛГОРИТМЫ ПРОВОДНОЙ ТРАССИРОВКИ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ С ОГРАНИЧЕНИЕМ МАКСИМАЛЬНОГО ЧИСЛА ПОДКЛЮЧЕНИЙ НА КОНТАКТ**

*В данной работе рассматриваются алгоритмы проводной трассировки межсоединений электронных средств с ограничением числа подключений на один контакт. Приводится анализ наиболее популярных алгоритмов проводной трассировки, описываются особенности алгоритмов трассировки проводного монтажа с ограничением числа подключений на одно соединение, в том числе разработанный авторами модифицированный алгоритм Краскала. Приводятся примеры работы алгоритмов.*

Трассировка – это важнейший этап конструкторского проектирования, который отвечает за распределение межэлементных соединений на схеме. Можно выделить трассировку печатного монтажа или проводного. С алгоритмической точки зрения процесс

трассировки заключается в построении оптимальных монтажных соединений между элементами для всех цепей схемы.

В качестве исходных данных в задаче трассировки используются список цепей, полученное решение задачи размещения конструктивных модулей, необходимое для нахождения координат выводов элементов, а также метрические параметры и топологические свойства элементов конструкции. К метрическим параметрам относятся такие числовые характеристики схемы, как конструктивные размеры соединений и элементов. Топологические свойства связаны с расположением конкретных соединений монтажа в пространстве на плате с учетом ограничений на количество пересечений и числом слоёв на коммутационной схеме.

Методы решения задачи трассировки зависят от вида используемого монтажа на схеме, а также от ограничений, определяющих метрические параметры и топологические свойства монтажного пространства.

В данной работе рассматриваются алгоритмы трассировки проводного монтажа. Данный этап проектирования реализуется с помощью построения минимальных деревьев соединений между элементами схемы. Существует классификация алгоритмических методов трассировки, которая делит их на 2 группы в зависимости от конструкции коммутационного поля: топологические и графо-теоретические методы. Первая группа методов фокусируется на числовых характеристиках схемы, таких как конструктивные размеры соединений и других метрических параметрах, в то время как группа графо-теоретических методов основана на построении графа схемы и его дальнейшего анализа.

К основным топологическим методам трассировки соединений электронных средств, используемых для построения минимальных деревьев, можно отнести следующие [1]:

- алгоритм Краскала;
- модифицированный алгоритм Краскала;
- алгоритм Прима;
- модифицированный алгоритм Прима;
- эвристический алгоритм построения кратчайшего

связывающего дерева.

Рассмотрим задачу трассировки проводного монтажа. Она состоит в том, чтобы с учетом заданных ограничений определить порядок соединения выводов. Критерием оптимизации обычно считают минимальную суммарную длину этого соединения.

Дано:  $P$  – множество точек на плоскости, которые соответствуют выводам некоторой произвольной цепи. Имеется полный граф  $G = (X, U)$ , где  $X$  – количество всех вершин, а  $U$  – количество рёбер. Полный граф – это неориентированный граф, каждая вершина в котором имеет локальную степень  $n-1$  (число инцидентных ребер), то есть она соединена со всеми вершинами, кроме самой себя. Пример модели полного невзвешенного графа приведен на рисунке 1.

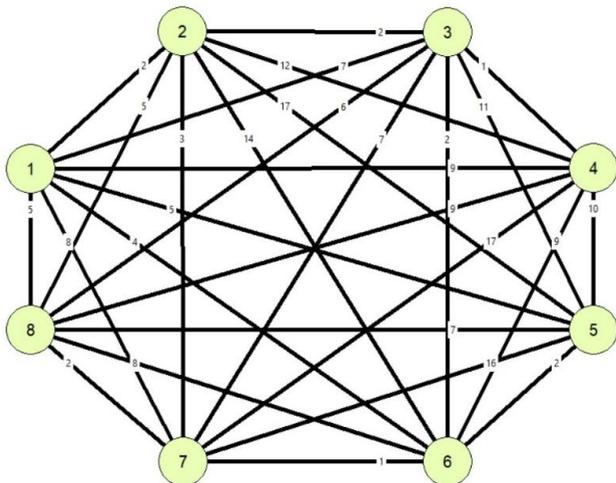


Рисунок 1 – Модель полного графа

Каждая вершина графа соответствует выводу цепи, а взвешенные рёбра характеризуют соединения между выводами. Вес в данном случае отражает такой метрический параметр, как расстояние между точками  $p_i$ .

После определения исходных данных можно свести задачу к определению в полном графе  $G = (X, U)$  кратчайшего связывающего дерева (КСД) – дерева, имеющего минимальный суммарный вес рёбер и включающего в себя все вершины.

#### *Модифицированный алгоритм Краскала*

Задан полный взвешенный граф  $G = (X, U)$ . По данному графу построена матрица длин рёбер  $C$ , где  $c_{ij}$  – элемент матрицы, равный расстоянию от вершины  $i$  до вершины  $j$ . В отличие от алгоритма Краскала, модифицированный алгоритм Краскала накладывает более строгое ограничение на максимальное число соединений каждого из выводов. Обозначим число подключений к одному контакту схемы как  $\rho(x_i)$ .



*Шаг 2.* После просмотра упорядоченных значений длин рёбер выбираем из них минимальное значение. В нашем случае это ребро  $U_{34}$  с весом 1. Таким образом, получаем изолированную компоненту связности (3, 4),  $\rho(x_3)=1$ ,  $\rho(x_4)=1$ .

*Шаг 3.* После просмотра упорядоченных значений длин рёбер выбираем из них следующее минимальное значение. В нашем случае это ребро  $U_{67}$  с весом 1. Таким образом, получаем изолированную компоненту связности (6, 7),  $\rho(x_6)=1$ ,  $\rho(x_7)=1$ .

*Шаг 4.* После просмотра упорядоченных значений длин рёбер выбираем из них следующее минимальное значение. В нашем случае это ребро  $U_{12}$  с весом 2. Таким образом, получаем изолированную компоненту связности (1, 2),  $\rho(x_1)=1$ ,  $\rho(x_2)=1$ .

*Шаг 5.* После просмотра упорядоченных значений длин рёбер выбираем из них следующее минимальное значение. В нашем случае это ребро  $U_{23}$  с весом 2. Таким образом, получаем изолированную компоненту связности (1, 2, 3, 4),  $\rho(x_1)=1$ ,  $\rho(x_2)=2$ ,  $\rho(x_3)=2$ ,  $\rho(x_4)=1$ .

*Шаг 6.* После просмотра упорядоченных значений длин рёбер выбираем из них следующее минимальное значение. В нашем случае это ребро  $U_{36}$ , однако вершина  $x_3$  уже имеет  $\rho(x_3)=2$ , поэтому выбираем следующее значение – ребро  $U_{56}$  с весом 2. Таким образом, получаем изолированную компоненту связности (5, 6, 7),  $\rho(x_5)=1$ ,  $\rho(x_6)=2$ ,  $\rho(x_7)=1$ .

*Шаг 7.* После просмотра упорядоченных значений длин рёбер выбираем из них следующее минимальное значение. В нашем случае это ребро  $U_{78}$  с весом 2. Таким образом, получаем изолированную компоненту связности (5, 6, 7, 8),  $\rho(x_5)=1$ ,  $\rho(x_6)=2$ ,  $\rho(x_7)=2$ ,  $\rho(x_8)=1$ .

*Шаг 8.* После просмотра упорядоченных значений длин рёбер выбираем из них следующее минимальное значение. В нашем случае это ребро  $U_{27}$ , однако вершина  $x_2$  и  $x_7$  уже имеют  $\rho(x_2)=2$  и  $\rho(x_7)=2$ , поэтому выбираем следующее значение  $U_{16}$ . Однако и это ребро содержит вершину  $x_6$  с  $\rho(x_6)=2$ , поэтому выбираем следующее ребро  $U_{15}$  с весом 5. Таким образом, получаем итоговое КСД, так как все вершины вошли в дерево (1, 2, 3, 4, 6, 7, 5, 8),  $\rho(x_1)=2$ ,  $\rho(x_2)=2$ ,  $\rho(x_3)=2$ ,  $\rho(x_4)=1$ ,  $\rho(x_5)=2$ ,  $\rho(x_6)=2$ ,  $\rho(x_7)=2$ ,  $\rho(x_8)=1$ .

Суммарная длина рёбер полученного КСД равна:  $2+2+1+5+2+1+2=15$ . Полученное КСД изображено на рисунке 3.

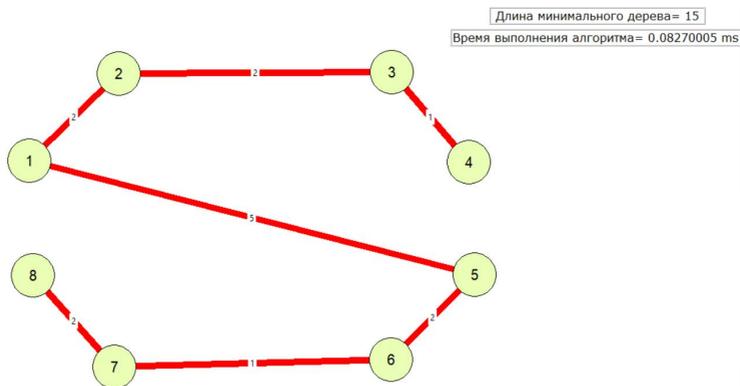


Рисунок 3 – Итоговое КСД

### Модифицированный алгоритм Прима

Данный алгоритм основан на понятии локальной степени вершины, рассмотренном выше. В отличие от алгоритма Прима, где локальная степень вершин графа не должна превышать 6, то есть  $\rho(x_i) < 6$ , модифицированный алгоритм Прима накладывает более строгое ограничение на максимальное число соединений каждого из выводов.

Таким образом, модифицированный алгоритм Прима основан на следующих принципах:

1. Любая изолированная вершина графа соединена с ближайшей из вершин, не соединённых с  $\rho(x_i)$  другими вершинами.
2. Любой изолированный фрагмент графа соединяется с ближайшей из вершин ребром с минимальным весом, причём данная вершина не соединена с  $\rho(x_i)$  другими вершинами.

Далее рассмотрим работу данного алгоритма с условием  $\rho(x_i) \leq t$  в виде последовательности шагов.

**Шаг 1.** Выбирается произвольная начальная (корневая) вершина графа  $G$ . В матрице длин ребер выделяется вся строка с индексом выбранной вершины и вычёркивается столбец с тем же индексом в матрице длин ребер. Локальные степени всех вершин считаем равными нулю.

**Шаг 2.** Далее в выделенных на предыдущем шаге строках находится минимальный элемент  $C_{ij}$ , не равный нулю, и в КСД включается соответствующее ребро  $U_{ij}$ . В случае равных весов приоритет устанавливается слева направо и сверху вниз в соответствии с матрицей длин ребер. Далее выделяется соответствующая выбранному элементу строке  $j$  и вычёркивается

соответствующий столбец  $j$ . Благодаря процедуре вычеркивания столбцов исключается возможность образования циклов. Дальнейший поиск минимальных элементов матрицы длин рёбер производится с учётом всех выделенных в процессе работы алгоритма строк.

Данные действия выполняются в цикле до тех пор, пока в кратчайшее связывающее дерево не будут включены все вершины полного графа  $G$ .

*Шаг 3.* Производится увеличение значений локальных степеней вершин  $x_i$  и  $x_j$  на единицу. После этого проверяется условие, что  $\rho(x_i) \leq m$ . Если у какой-то вершины  $\rho(x_i)$  становится равной  $m$ , то вычёркивается строка с индексом соответствующей вершины.

Работу данного алгоритма рассмотрим на следующем примере.

Задан полный взвешенный граф  $G = (X, U)$  (рисунок 4). Необходимо построить КСД данного графа при  $\rho(x_i) \leq 2$ .

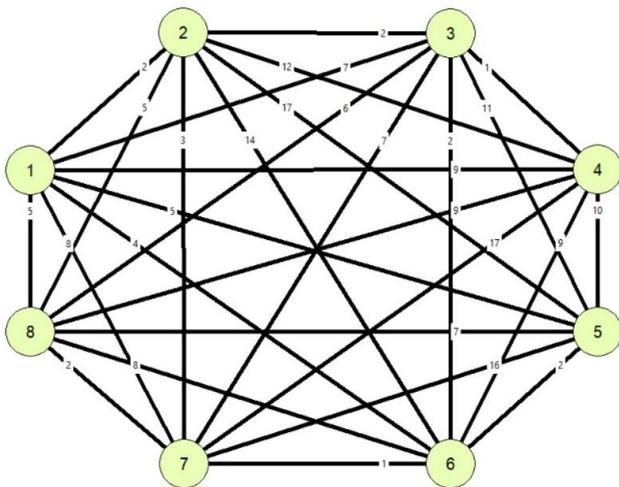


Рисунок 4 – Исходный граф

*Шаг 1.* Выбираем произвольную начальную вершину, в нашем случае – это вершина  $x_1$ . Выделяется первая строка и вычёркивается первый столбец.

*Шаг 2.* Выбираем минимальный ненулевой элемент в выделенной строке. Это элемент  $C_{12} = 2$ . Далее в КСД добавляется ребро  $U_{12}$ , а в рабочей матрице вычёркивается столбец с индексом 2 и выделяется строка с индексом 2. После данного шага  $\rho(x_1) = 1$  и  $\rho(x_2) = 1$ .

*Шаг 3.* Выбираем минимальный ненулевой элемент в выделенных строках. Это элемент  $C_{23} = 2$ . Далее в КСД добавляется ребро  $U_{23}$ , а в рабочей матрице вычёркивается столбец с индексом 3 и

выделяется строка с индексом 3. После данного шага  $\rho(x_2)=2$  и  $\rho(x_3)=1$ . Локальная степень вершины  $x_2$  стала  $\rho(x_2)=2$ , поэтому вычёркивается 2 строка.

*Шаг 4.* Выбираем минимальный ненулевой элемент в выделенных строках. Это элемент  $C_{34} = 1$ . Далее в КСД добавляется ребро  $U_{34}$ , а в рабочей матрице вычеркивается столбец с индексом 4 и выделяется строка с индексом 4. После данного шага  $\rho(x_3)=2$  и  $\rho(x_4)=1$ . Локальная степень вершины  $x_3$  стала  $\rho(x_3)=2$ , поэтому вычёркивается 3 строка.

*Шаг 5.* Выбираем минимальный ненулевой элемент в выделенных строках. Это элемент  $C_{16} = 4$ . Далее в КСД добавляется ребро  $U_{16}$ , а в рабочей матрице вычеркивается столбец с индексом 6 и выделяется строка с индексом 6. После данного шага  $\rho(x_1)=2$  и  $\rho(x_6)=1$ . Локальная степень вершины  $x_1$  стала  $\rho(x_1)=2$ , поэтому вычёркивается 1 строка.

*Шаг 6.* Выбираем минимальный ненулевой элемент в выделенных строках. Это элемент  $C_{67} = 1$ . Далее в КСД добавляется ребро  $U_{67}$ , а в рабочей матрице вычеркивается столбец с индексом 7 и выделяется строка с индексом 7. После данного шага  $\rho(x_6)=2$  и  $\rho(x_7)=1$ . Локальная степень вершины  $x_5$  стала  $\rho(x_6)=2$ , поэтому вычёркивается 5 строка.

*Шаг 7.* Выбираем минимальный ненулевой элемент в выделенных строках. Это элемент  $C_{78} = 2$ . Далее в КСД добавляется ребро  $U_{78}$ , а в рабочей матрице вычеркивается столбец с индексом 8 и выделяется строка с индексом 8. После данного шага  $\rho(x_7)=2$  и  $\rho(x_8)=1$ . Локальная степень вершины  $x_6$  стала  $\rho(x_7)=2$ , поэтому вычёркивается 6 строка.

*Шаг 8.* Выбираем минимальный ненулевой элемент в выделенных строках. В данном случае это элемент  $C_{58} = 7$ . Далее в КСД добавляется ребро  $U_{58}$ . После данного шага все вершины включены в кратчайшее связывающее дерево.

Таким образом, КСД (рисунок 5) состоит из рёбер:  $U_{12}$ ,  $U_{23}$ ,  $U_{34}$ ,  $U_{16}$ ,  $U_{67}$ ,  $U_{78}$ ,  $U_{58}$ . Суммарная длина рёбер полученного КСД равна:  $2+2+1+4+1+2+7 = 19$ .

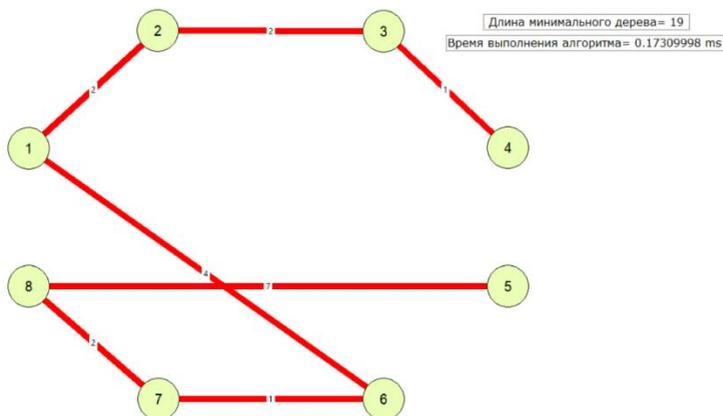


Рисунок 5 – Итоговое КСД

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сапрыкин А.Н. Алгоритмические методы автоматизации конструирования электронных средств: учебное пособие – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 116 с.

УДК 004.3

**САПРЫКИН А.Н., СИЗОВА С.В.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### ПРИНЦИПЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ СЕМИСЕГМЕНТНОГО ИНДИКАТОРА ПЛИС

*В статье рассматриваются подходы к использованию семисегментного индикатора на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Описывается его внутреннее устройство, принципы функционирования и области применения. Приводится пример программирования индикатора на языках проектирования аппаратуры VHDL и Verilog.*

Семисегментный индикатор – это вид дисплея, который состоит из семи отдельных сегментов, расположенных таким образом, чтобы можно было отображать различные символы и цифры [1]. Другими словами, это устройство для вывода цифровой информации (рисунок 1).

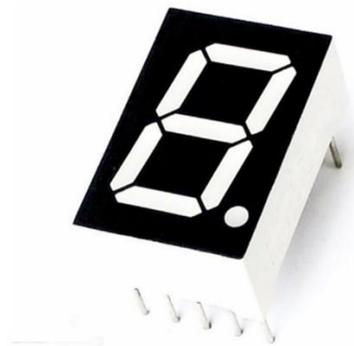


Рисунок 1 – Семисегментный индикатор

Каждый сегмент представляет собой отдельный элемент, который может быть включен или выключен для создания определенного символа или цифры. Семисегментные индикаторы обычно используются для отображения цифр от 0 до 9, однако их можно использовать и для отображения некоторых букв. В большинстве случаев для отображения буквенной информации применяются более сложные матричные или многосегментные устройства [1].

Сегменты обозначаются латинскими буквами A, B, C, D, E, F, G. Помимо основных семи сегментов индикатор содержит восьмой сегмент – десятичную точку, используемую для представления дробных чисел, обозначаемый как DP (decimal point). Расположение сегментов показано на рисунке 2.

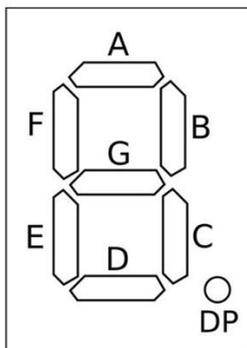


Рисунок 2 – Обозначение сегментов

Для отображения каждой цифры или символа необходимо включить соответствующие сегменты, чтобы создать нужную форму.

Для работы с семисегментным индикатором на ПЛИС обычно используется VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language) – язык описания аппаратуры, который используется для моделирования и проектирования цифровых систем. С помощью данного языка можно создать соответствующий модуль, который будет управлять отображением нужных символов на индикаторе.

Другим языком, обеспечивающим взаимодействие семисегментного индикатора и ПЛИС, является Verilog – язык описания аппаратуры (Hardware Description Language), используемый для моделирования и проектирования цифровых систем, таких как интегральные схемы и программируемая логика (ПЛИС). Он позволяет описывать структуру и поведение цифровых схем, создавать модели устройств, проводить симуляцию и проверку функциональности систем. Verilog поддерживает создание сложных цифровых устройств, включая процессоры, контроллеры и интерфейсы.

Приведём пример такой программы ниже.

В состав VHDL-модели входят 3 файла:

- файл `seven_segment_disp.vhd` – описывает тестирующую программу;
- файл `core.vhd` – описывает VHDL-модель основной логики;
- файл `module.v` – описывает работу с модулем дисплея.

Текст файла `seven_segment_disp.vhd`:

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
entity seven_segment_disp is
  port (clk: in std_logic;
        inputdata: in std_logic_vector(3 downto 0);
        outputdata: out std_logic_vector(3 downto 0));
end seven_segment_disp ;
architecture arch of seven_segment_disp is
begin
  p: process(clk)
  begin
    if rising_edge(clk) then
      case inputdata is
        when "1111" => outputdata <= "0000";
        when "1110" => outputdata <= "0001";
        when "1101" => outputdata <= "0010";
        when "1100" => outputdata <= "0011";
```

```
when "1011" => outputdata <= "0100";
when "1010" => outputdata <= "0101";
when "1001" => outputdata <= "0110";
when "0111" => outputdata <= "1000";
when "1000" => outputdata <= "0111";
when others => outputdata <= "1001";
end case;
end if;
end process;
end arch;
```

Текст файла core.vhd:

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
entity core is
port ( CLK: in std_logic;
DATA: in std_logic_vector(3 downto 0);
disp: out std_logic_vector(6 downto 0);
DCTL: out std_logic_vector(3 downto 0);
n4: buffer std_logic_vector(3 downto 0) );
end core;
architecture arch of core is
component seven_segment_disp
port (
clk: in std_logic;
inputdata: in std_logic_vector(3 downto 0);
outputdata: out std_logic_vector(3 downto 0));
end component;
component seg_module
port (
clk: in std_logic;
num11: in std_logic_vector(3 downto 0);
num22: in std_logic_vector(3 downto 0);
num33: in std_logic_vector(3 downto 0);
num44: in std_logic_vector(3 downto 0);
en_disp: out std_logic_vector(3 downto 0);
seg_reg: out std_logic_vector(6 downto 0)
);
end component;
begin
metka: seven_segment_disp port map(CLK, DATA, n4(3
downto 0));
display: seg_module port map(CLK, "0000", "0000",
"0000", n4, DCTL, disp);
end arch;
```

Текст файла module.v:

```

module seg_module(
    input clk,
    input [3:0]num11,
    input [3:0]num22,
    input [3:0]num33,
    input [3:0]num44,
    output reg [3:0] en_disp,
    output reg [6:0] seg_reg);
parameter [6:0]NUM_0=7'b01111111;
parameter [6:0]NUM_1=7'b00001110;
parameter [6:0]NUM_2=7'b10110111;
parameter [6:0]NUM_3=7'b10011111;
parameter [6:0]NUM_4=7'b11001110;
parameter [6:0]NUM_5=7'b11011011;
parameter [6:0]NUM_6=7'b11111011;
parameter [6:0]NUM_7=7'b00001111;
parameter [6:0]NUM_8=7'b11111111;
parameter [6:0]NUM_9=7'b11011111;
parameter [6:0]NUM_BLK=7'b00000000;
parameter [3:0]EN_4=4'b01111;
reg [31:0]cnt;
always @(posedge clk)
begin
    cnt = cnt + 1'b1;
end
always @(posedge clk)
begin
    if(cnt[16:15] == 2'b11)
    case (num44)
4'h0 : begin seg_reg = NUM_0; en_disp =EN_4;end
4'h1 : begin seg_reg = NUM_1; en_disp =EN_4;end
4'h2 : begin seg_reg = NUM_2; en_disp =EN_4;end
4'h3 : begin seg_reg = NUM_3; en_disp =EN_4;end
4'h4 : begin seg_reg = NUM_4; en_disp =EN_4;end
4'h5 : begin seg_reg = NUM_5; en_disp =EN_4;end
4'h6 : begin seg_reg = NUM_6; en_disp =EN_4;end
4'h7 : begin seg_reg = NUM_7; en_disp =EN_4;end
4'h8 : begin seg_reg = NUM_8; en_disp =EN_4;end
4'h9 : begin seg_reg = NUM_9; en_disp =EN_4;end
default: begin seg_reg = NUM_BLK; en_disp =EN_4;end
    endcase
end
endmodule

```

Этот код описывает модуль `seven_segment_display`, который принимает входные данные `DATA` (`inputdata`) и выводит соответствующие сегменты с помощью `seg_reg` (`outputdata`) для

отображения на семисегментном индикаторе. Модуль также имеет входы для тактирования `clk`

Таким образом, данная программа обеспечивает вывод на семисегментный индикатор цифр, соответствующих введенной с помощью кнопок S1-S4 комбинации в двоичном представлении. Диапазон охватываемых значений от 0 до 9. Например, при зажатии кнопок S1 и S2, что соответствует комбинации 0011 (1100 в инверсной логике), на семисегментном индикаторе загорятся сегменты, соответствующие десятичному представлению цифры 3.

Для реализации программы на ПЛИС можно использовать такое программное обеспечение, как Quartus II – интегрированную среду разработки для проектирования и программирования программируемых логических устройств. С помощью Quartus II входные данные можно подавать на ПЛИС с использованием кнопок, расположенных на плате. Однако стоит учитывать инверсную логику устройства, в нашем случае Cyclone IV E (EP4CE6E22C8) (рисунок 3) [2].

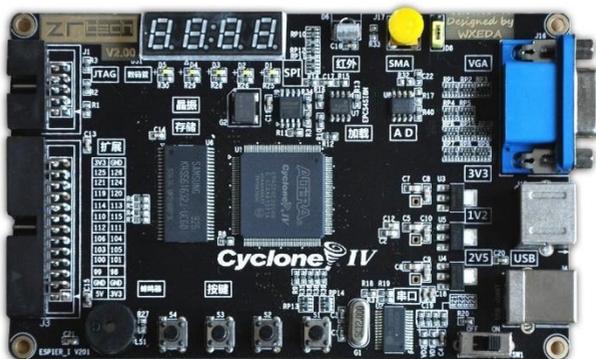


Рисунок 3 – Плата Cyclone IV E (EP4CE6E22C8)

Intel Quartus II – это интегрированная среда разработки для проектирования и внедрения программируемой логики (ПЛИС) и других цифровых устройств. Она предоставляет широкий набор инструментов для создания, оптимизации и верификации цифровых схем, а также для синтеза и развертывания проектов на программируемых устройствах. Quartus II обладает графическим интерфейсом, что делает процесс разработки более удобным и интуитивно понятным.

В Quartus II можно создавать проекты с использованием HDL (Hardware Description Language) кода, таких как Verilog или VHDL, а также с помощью графического дизайнера схем. Среда поддерживает

различные серии ПЛИС от Intel (ранее Altera) и позволяет оптимизировать проекты под конкретные характеристики выбранного устройства. Quartus II включает в себя инструменты для симуляции, анализа временных характеристик, трассировки маршрута, создания файлов конфигурации и многое другое. Эта среда широко используется в индустрии для разработки цифровых устройств и систем на базе ПЛИС.

Основные технические характеристики ПЛИС Cyclone IV:

- В семействе Cyclone IV могут содержаться от 6 до 150 тысяч логических элементов, что обеспечивает широкие возможности для реализации сложных цифровых схем.

- Встроенная память в устройствах Cyclone IV может достигать до 6,3 Мб, что обеспечивает возможность хранения больших объемов данных и программ.

- Для приложений с интенсивной обработкой сигналов цифровой обработки сигналов (DSP) доступно до 360 множителей размером 18×18, что позволяет эффективно обрабатывать аналоговые сигналы.

- Устройства Cyclone IV предназначены для приложений, требующих низкое энергопотребление, общей мощностью менее 1,5 Вт, что делает их подходящими для портативных и энергоэффективных устройств.

Семейство программируемых логических устройств Cyclone IV от Altera обладает рядом преимуществ и особенностей, которые делают их привлекательными для различных цифровых проектов:

1. Низкое энергопотребление. ПЛИС этого семейства обладают низким энергопотреблением, что делает их подходящими для портативных устройств и других приложений, где важна экономия энергии.

2. Высокая производительность. Cyclone IV предлагает высокую производительность и позволяет реализовывать сложные цифровые схемы, включая высокоскоростные системы.

3. Наличие различных моделей. Семейство Cyclone IV включает различные модели с разными характеристиками, такими как количество логических элементов, блоков памяти, умножителей и других ресурсов.

4. Интегрированные функциональные блоки. ПЛИС Cyclone IV содержат интегрированные функциональные блоки, такие как PLL (фазовая автоподстройка), блоки памяти, мультипликаторы и другие, что упрощает проектирование и увеличивает производительность.

5. Программируемость. ПЛИС Cyclone IV являются программируемыми и могут быть перепрограммированы для изменения функционала устройства без необходимости замены аппаратного обеспечения.

6. Поддержка языков описания аппаратуры. ПЛИС Cyclone IV поддерживают различные языки описания аппаратуры, такие как Verilog и VHDL, что делает их удобными для разработчиков с разным опытом.

Семисегментные индикаторы являются одним из наиболее распространенных и удобных способов отображения цифровой информации. Они состоят из семи отдельных сегментов, которые могут быть активированы или деактивированы для отображения различных цифр, букв или символов. Благодаря своей простоте и эффективности, семисегментные индикаторы нашли широкое применение в различных областях, включая:

1. Цифровые часы и таймеры. Семисегментные индикаторы широко используются в цифровых часах, таймерах и будильниках для отображения текущего времени, настроек таймера и другой временной информации.

2. Информационные табло. Семисегментные дисплеи могут быть использованы для создания информационных табло, на которых отображается числовая информация, например, в транспорте или спортивных мероприятиях.

3. Измерительные приборы. Семисегментные индикаторы могут быть использованы в измерительных приборах, таких как вольтметры, амперметры, частотомеры и другие, для отображения измеряемых значений.

4. Электронные весы. В электронных весах часто используются семисегментные индикаторы для отображения веса и другой информации о взвешиваемом объекте.

5. Домашние приборы. Семисегментные дисплеи могут быть использованы в бытовых приборах, таких как микроволновые печи, духовки, стиральные машины и другие, для отображения информации о режимах работы и настройках.

6. Промышленные системы. В промышленных системах семисегментные индикаторы могут использоваться для отображения данных о процессах производства, параметрах оборудования и другой информации.

7. Образовательные устройства. Семисегментные дисплеи могут использоваться в учебных устройствах, игрушках и образовательных

комплектах для отображения чисел, букв и другой обучающей информации.

Таким образом, можно сказать, что несмотря на простоту функционирования и реализации семисегментные индикаторы находят своё применение в областях, где требуется надежное и эффективное отображение цифровой информации. Семисегментные индикаторы часто используются в промышленности, автомобильной промышленности, электронике, медицинском оборудовании, бытовых устройствах, образовательных учреждениях и рекламе. Их простота в управлении и низкое энергопотребление делают их привлекательным выбором для различных приложений, где необходимо отображать числовую или текстовую информацию. Вместе с тем, семисегментные индикаторы могут быть легко интегрированы в различные системы управления и контроля, что делает их универсальным решением для многих задач.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Синтез VHDL-кода в среде Quartus II. Часть 2: методические указания к лабораторной работе / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: А.Н. Сапрыкин, М.С. Кошелева. Рязань, 2023. 16 с.
2. Синтез VHDL-кода в среде Quartus II. Часть 1: методические указания к лабораторной работе / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: А.Н. Сапрыкин, М.С. Игошина. Рязань, 2022. 16 с.

УДК 004.02

**СТРОИЛОВ А.С.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### ЗАДАЧА РАСКРАСКИ ВЕРШИН ГРАФА КОНФЛИКТОВ ПРИ ТРАССИРОВКЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*В сфере электроники проектирование и трассировка многослойных печатных плат является важным этапом разработки. Одной из ключевых проблем, с которой сталкиваются разработчики, является задача эффективной трассировки соединений между компонентами на многослойной плате с минимизацией конфликтов между трассами. Для решения этой проблемы используется метод раскраски вершин графа конфликтов.*

Задача раскраски вершин графа конфликтов заключается в том, чтобы назначить каждой вершине определенную метку (цвет) таким образом, чтобы никакие две смежные вершины не имели одинаковых

меток [1]. Эта задача является классическим примером задачи о раскраске графа, которая имеет множество практических применений в различных областях.

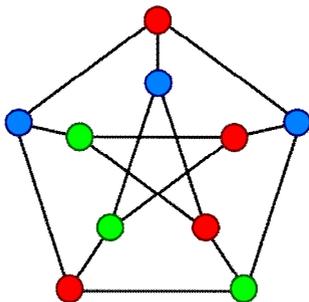


Рисунок 1 – Пример раскраски вершин графа

Раскраска вершин графа конфликтов важна, например, в задачах планирования расписания, размещения ресурсов или оптимизации производственных процессов. Во всех этих случаях необходимо назначить каждому элементу (задаче, ресурсу, процессу) уникальный идентификатор, чтобы избежать возможных конфликтов и неудовлетворительных результатов.

Для того чтобы эффективно решить задачу раскраски вершин графа конфликтов, часто применяются различные алгоритмы, такие как жадные алгоритмы, методы оптимизации или алгоритмы на основе искусственного интеллекта. Эти методы позволяют находить оптимальные или приближенные решения задачи в зависимости от ее сложности и объема данных.

Одной из ключевых задач при раскраске вершин графа конфликтов является минимизация количества используемых цветов. Чем меньше цветов требуется для раскраски графа, тем эффективнее будет решение задачи и экономнее использование ресурсов.

Для нахождения оптимального решения задачи раскраски вершин графа конфликтов необходимо учитывать не только сам граф, но и его структуру, связи между вершинами, а также ограничения и требования, предъявляемые к раскраске.

Алгоритмы для решения задачи раскраски вершин графа конфликтов могут быть как оптимальными, так и приближенными. Оптимальные алгоритмы обеспечивают точное решение задачи, но зачастую требуют больших вычислительных ресурсов и времени. Приближенные алгоритмы, в свою очередь, находят более быстрые решения, но не всегда гарантируют оптимальность.

Выбор подходящего метода для раскраски вершин графа конфликтов зависит от требований к решению задачи, доступных ресурсов, сложности графа и других факторов. В каждом конкретном случае необходимо провести анализ и выбрать наиболее эффективный способ решения задачи.

Одним из распространенных методов для раскраски графа конфликтов является метод жадной раскраски, который заключается в выборе каждой вершины по очереди и назначении ей минимально возможного цвета, не конфликтующего с уже раскрашенными вершинами.

Задача раскраски вершин графа — одна из классических задач комбинаторной оптимизации, которая возникла в связи с поиском оптимальных способов раскраски графа таким образом, чтобы вершины, имеющие общих соседей, имели разные цвета.

История задачи раскраски вершин графа начала свое развитие в XIX веке, когда математики стали интересоваться проблемами раскраски графов. Одним из первых исследователей этой задачи был английский математик Фрэнсис Гэлтон, который в 1869 году предложил задачу о раскраске карты мира так, чтобы соседние страны имели разные цвета.

Задача раскраски вершин графа стала особенно популярной в XX веке, когда математики начали исследовать ее более строго и систематически. В 1936 году американский математик Брукс доказал теорему о раскраске графов, которая утверждает, что для любого связного графа с максимальной степенью вершины  $d$  необходимо не более  $d$  цветов для его правильной раскраски. Также, в это же время, в начале 20 века, эта задача активно изучалась исследователями Р.Ж.Бэконом, У.Хайнрохом, П.Кохом и др. Они рассматривали преимущественно простые классы графов (деревья, циклы и т.д.) и искали оптимальные способы раскраски вершин с минимальным числом цветов.

Позже, в 1970-80-х годах, появились более общие методы для решения задачи раскраски вершин графа на произвольных графах. Среди них можно выделить жадные алгоритмы, методы динамического программирования, а также алгоритмы на основе линейного программирования.

В последующие десятилетия задача раскраски вершин графа продолжала активно развиваться, в частности, в контексте применения в других областях, таких как планирование расписаний, схемотехника, биоинформатика, теория игр, дискретная оптимизация, криптография и других областях. Были разработаны эффективные алгоритмы для

специальных классов графов, оптимизированы существующие методы и разработаны новые подходы к решению задачи.

С развитием компьютерных технологий и алгоритмов задача раскраски вершин графа стала предметом исследования для создания эффективных методов решения. В настоящее время существует множество различных алгоритмов и подходов к решению задачи раскраски вершин, которые позволяют эффективно работать с графами больших размеров и сложности.

Сегодня задача раскраски вершин графа продолжает оставаться актуальной и представляет интерес для исследователей в различных областях математики и информатики. Вместе с тем, с развитием технологий появляются новые подходы и методы для ее решения, что делает эту задачу еще более интересной и перспективной для дальнейших исследований.

Практическое применение раскраски графа конфликтов.

1. Раскраска вершин графа конфликтов является важным инструментом при проектировании многослойных печатных плат. Она позволяет оптимизировать трассировку между элементами и уменьшить вероятность возникновения конфликтов. Применение раскраски вершин графа конфликтов позволяет сократить время, затрачиваемое на решение проблем с пересечениями трасс и уменьшить количество ошибок при проектировании печатных плат. Но при применении раскраски вершин графа конфликтов необходимо учитывать возможные варианты переключения цветов для различных типов трасс и учитывать особенности конкретного проекта печатной платы.

2. Планирование расписания занятий: в учебных заведениях можно использовать раскраску графа конфликтов для оптимизации расписания уроков и занятий, чтобы избежать пересечений в расписании преподавателей или студентов.

3. Распределение задач между сотрудниками: в бизнес-сфере можно применять раскраску графа конфликтов для оптимизации распределения задач среди сотрудников, чтобы избежать перегрузки одних и недостатка работы у других.

4. Планирование мероприятий: при организации мероприятий, конференций или фестивалей можно использовать раскраску графа конфликтов для оптимизации расписания дня и избегания наложения событий.

5. Распределение ресурсов: в области производства или услуг можно применять раскраску графа конфликтов для эффективного распределения ресурсов, чтобы избежать простоев или перенагрузок.

6. Оптимизация транспортной логистики: в сфере транспортной логистики можно использовать раскраску графа конфликтов для разработки оптимальных маршрутов доставки или расписания рейсов, чтобы избежать задержек или конфликтов в расписании.

7. Организация процесса обучения: в образовательных учреждениях можно применять раскраску графа конфликтов для оптимизации процесса обучения и планирования учебных занятий, чтобы каждый студент мог эффективно использовать свое время.

8. Распределение бюджета: в финансовой сфере можно использовать раскраску графа конфликтов для оптимизации распределения бюджета и планирования финансовых потоков, чтобы избежать излишков или нехватки средств на определенные цели. 8. Управление проектами: в проектном менеджменте можно применять раскраску графа конфликтов для планирования и контроля выполнения задач и этапов проекта, чтобы избежать конфликтов в расписании или ресурсах.

9. В науке и исследованиях раскраска графа конфликтов может быть использована для анализа сложных систем и выявления ключевых факторов, влияющих на их функционирование.

10. Анализ существующих алгоритмов решения задачи.

Задача раскраски вершин графа конфликтов является NP-полной, что означает, что нет эффективного алгоритма, способного решить ее за полиномиальное время.

Одним из наиболее распространенных методов решения задачи раскраски вершин графа конфликтов является применение жадного алгоритма. Жадный алгоритм заключается в том, что на каждом шаге выбирается вершина с наименьшим количеством конфликтующих вершин и ей присваивается новый цвет. Однако жадный алгоритм не всегда гарантирует оптимальное решение задачи раскраски вершин графа конфликтов и может привести к неоптимальным раскраскам.

Для улучшения качества раскраски вершин графа конфликтов применяются различные эвристические методы, такие как методы оптимизации, мета-эвристики и генетические алгоритмы. Методы оптимизации позволяют искать оптимальные раскраски вершин графа конфликтов путем минимизации функционала критерия, который штрафует за конфликты.

Мета-эвристики основаны на применении алгоритмов, которые исследуют пространство возможных решений задачи раскраски вершин графа конфликтов в поисках оптимального. Среди наиболее известных мета-эвристических методов для решения задачи раскраски

вершин графа конфликтов можно выделить метод имитации отжига, метод переменных окрестностей и муравьиный алгоритм.

Метод имитации отжига основан на идее имитации процесса остывания металла, при котором система находит свое минимальное энергетическое состояние.

Метод переменных окрестностей предполагает изменение структуры графа конфликтов путем перемещения вершин между различными окрестностями.

Муравьиный алгоритм моделирует поведение муравьев, ищущих оптимальные пути к источнику пищи, и применяется для поиска оптимальных раскрасок вершин графов конфликтов.

Генетические алгоритмы основаны на эволюционной теории и моделируют процесс вариации и селекции в популяции решений для поиска оптимального.

Помимо вышеупомянутых методов, для решения задачи раскраски вершин графа конфликтов также применяются методы динамического программирования и методы линейного программирования.

Методы динамического программирования основаны на разбиении задачи на подзадачи и рекурсивном нахождении оптимального решения.

Методы линейного программирования позволяют формализовать задачу раскраски вершин графа конфликтов как задачу нахождения максимальной независимой вершинной маски.

Для практического применения алгоритмов решения задачи раскраски вершин графа конфликтов необходимо проводить тестирование и оценку их эффективности на различных классах графов. Эффективность алгоритмов может зависеть от характеристик и свойств графа, таких как плотность, размер и степень конфликтов между вершинами. Для улучшения результатов раскраски вершин графа конфликтов также могут применяться техники улучшения начального приближения, метрики качества и методы визуализации.

Кроме того, для эффективного решения задачи раскраски вершин графа конфликтов важно правильно выбирать параметры и настройки алгоритмов, чтобы достичь оптимальных результатов.

В заключение, задача раскраски вершин графа конфликтов при трассировке многослойных печатных плат является сложной и многогранной проблемой, требующей глубокого анализа, тщательного проектирования и инновационных подходов для ее решения. На современном этапе развития технологий электроники трассировка многослойных печатных плат является ключевым этапом в

проектировании электронных устройств, и эффективное решение задачи раскраски вершин графа конфликтов играет важную роль в обеспечении качественного функционирования этих устройств. Для успешного решения данной задачи необходимо использовать современные методы оптимизации, математического моделирования и информационных технологий. Кроме того, важно постоянно совершенствовать алгоритмы, программные средства и методики работы с данными при проектировании многослойных печатных плат для обеспечения максимальной производительности, надежности и эффективности процесса трассировки. Предстоящие исследования в этой области позволят развивать новые подходы к решению задачи раскраски вершин графа конфликтов и повышать уровень технологического прогресса в области электронного проектирования.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. В чем заключается задача раскраски вершин графа конфликтов [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Раскраска\\_графов](https://ru.wikipedia.org/wiki/Раскраска_графов).

2. Applications of Graph Coloring in Communication Networks by Rajeev Koodli and George N. Rouskas, IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2007

УДК 621.396

**СУРКОВ Р.А.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **КОНСТРУКЦИЯ БЛОКА БОРТОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ**

*Рассматривается устройство блока сопряжения магистралей бортовой радиолокационной станции, а также предназначение и характеристики бортовых радиолокационных станций.*

Многофункциональность воздушных судов включает в себя способность выполнять различные роли, включая истребителя, ударника и разведчика, благодаря наличию специального оборудования. Бортовые радиолокационные станции (БРЛС) играют ключевую роль в обнаружении и сопровождении целей, обеспечивая необходимую информацию для успешной миссии. Общая задача многофункциональных воздушных судов - эффективное выполнение

различных задач в рамках одного полета, обеспечивая высокую эффективность в условиях противодействия средств ПВО [2], [3].

Режим "воздух-воздух":

- Обнаружение большого количества воздушных целей (включая групповые) и их однозначное распознавание на больших расстояниях;
- Измерение дальности до обнаруженных целей, их направления и скорости движения;
- Автоматическое сопровождение одновременно большого количества воздушных целей;
- Применение управляемых средств поражения (УСП) одновременно по нескольким целям;
- Обнаружение метеорологических образований на пути следования;
- Предупреждение столкновения в воздухе.

Указанные требования, в дополнение к истребителям-бомбардировщикам, относится также к самолетам дальнего радиолокационному и будущим самолетам дальней авиационной линии, учитывая их способность выполнять различные задания в течение одного полета. Под конец 20-го века в Соединенных Штатах, Европе и в Японии ведется активная работа по созданию и улучшению бортовых радиолокаторов с активными фазовыми антенными решетками [2], [7].

Внедрение активной фазовой антенной решетки (АФАР) в бортовой радиолокатор предоставляет множество преимуществ, среди которых возможность создания высокой излучающей мощности благодаря объединению сигналов приемно-передающих блоков, быстрая и четкая настройка диаграммы направленности антенны, формирование необходимого числа лучей, а также параллельное излучение сигналов на различных частотах и с различной частотой повторения импульсов.

Другое значительное направление развития радиолокационных систем на борту – использование миллиметровых волн. При всех его недостатках, таких как потери мощности сигнала в воздухе, у этого есть и достоинства, включая высокую детализацию по угловым значениям, улучшенные способности обнаружения наземных объектов, более высокую контрастность для определенных видов земной поверхности и устойчивость к помехам.

Унификация бортовых радиоэлектронных комплексов (БРЭО) является важной задачей, а бортовые станции перспективных авиационных комплексов должны быть построены по модульному

принципу, обеспечивая унифицированные программные и аппаратные модули [4]. Информационная осведомленность военно-воздушных комплексов предполагает наличие оперативной информации о боевой обстановке, которая обрабатывается и передается в информационно-управляющую систему. Переход к интегрированной структуре с применением АФАР улучшает надежность и упрощает эксплуатацию БРЛС за счет уменьшения количества компонентов и соединений.

На рисунке 1 показана структурная схема БРЛС.



Рисунок 1 – Структурная схема БРЛС

### БРЛС производства США

AN/APG-77. В 80-х годах началась разработка бортовой радиолокационной станции AN/APG-77 в рамках программы ATF (Advanced Tactical Fighter). Позднее эти компании объединили свои усилия для работы над программой URR. Затем был создан опытный образец бортовой станции под обозначением AN/APG-77 для "Raptor" [6], [7].

AN/APG-77 стала первой программой в США по разработке БРЛС с активной фазированной антенной решеткой. Позже была завершена сертификация новой версии, получившей наименование AN/APG-77(V)1. Новая версия имеет возможность синтеза апертуры с расширенными функциями, обеспечивая высокое разрешение радиолокационного изображения и автосопровождение целей. Эта станция способна одновременно сопровождать до 28 воздушных целей, включая групповые, с возможностью их идентификации и распределения по уровню угрозы [4].

На рисунке 2 показана АФАР БРЛС AN/APG-77 30МК.

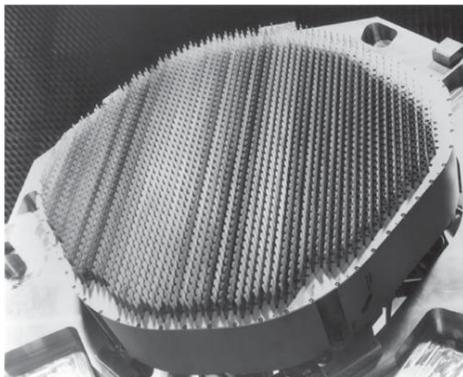


Рисунок 2 – АФАР БРЛС AN/APG-77 30МК

Основные тактико-технические характеристики БРЛС AN/APG-77(V)1:

- Диапазон частот: 8-12 ГГц (X-диапазон).
- Зона обзора по азимуту:  $\pm 60$  градусов.
- Зона обзора по углу места:  $\pm 60$  градусов.
- Количество сопровождаемых целей: 28.
- Количество одновременно атакуемых целей: 8.
- Средняя мощность излучаемого сигнала: 4 кВт.
- Тип антенны: активная.
- Количество приемо-передающих модулей: 2000.

AN/APG-81. AN/APG-81 - бортовая радиолокационная система, разработанная для использования на истребителе F-35 в рамках программы JSF [6]. Она унаследовала опыт, полученный при создании AN/APG-77, и предлагает новые возможности для обнаружения и отслеживания как воздушных, так и наземных целей. Аппаратура предлагает широкий спектр режимов работы по сравнению с рассмотренным ранее вариантом, включая такие функции, как создание карт, синтез апертуры, обнаружение движущихся объектов, высокое разрешение, пассивное распознавание радиосистем противника, идентификация и автоматическое отслеживание наземных целей, а также подавление радиоэлектронных систем ПВО [3].

На рисунке 3 показана БРЛС AN/APG-81.

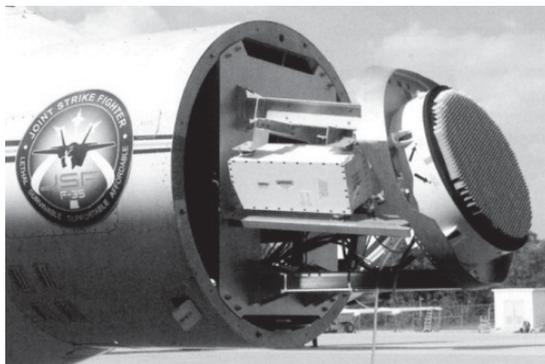


Рисунок 3 – БРЛС AN/APG-81 в носовой части летающей лаборатории ВАС

AN/APG-81 использует активно-фазированный антенный массив с электрическим сканированием, обеспечивая высокую скорость сканирования для эффективного обнаружения и отслеживания большого количества целей одновременно, что было успешно продемонстрировано во время летных испытаний на летающей лаборатории ВАС 1-11 [5], [6].

Основные тактико-технические характеристики БРЛС AN/APG-81:

- Диапазон частот: 6-18 ГГц.
- Зона обзора по азимуту:  $\pm 60$  градусов.
- Зона обзора по углу места:  $\pm 60$  градусов.
- Количество сопровождаемых целей: 28.
- Количество одновременно атакуемых целей: 8.
- Тип антенны: активная.
- Количество приемо-передающих модулей: 1000-1200.

*БРЛС отечественного производства*

Н010 «Жук-А». Разработанный корпорацией "Фазотрон", БРЛС "Жук-А" предназначен для установки на истребитель МиГ четвертого поколения с расширенными возможностями. Эта радиолокационная система использует активный фазированный антенный решетчатый массив (АФАР) с электронным сканированием [5], [6], [7].

На рисунке 4 показана АФАР БРЛС «Жук-А».



Рисунок 4 – АФАР БРЛС «Жук-А»

Н035 «Ирбис-Э». Радиолокационная система «Ирбис-Э» (рисунок 5) четвертого поколения обладает уникальной способностью обнаруживать, сопровождать и атаковать одновременно несколько воздушных и наземных целей [6], [7]. Антенна системы использует современную технологию ФАР с электронным управлением лучом, позволяющую обзор по широкому углу азимута в  $\pm 120^\circ$  путем простого механического поворота. «Ирбис-Э» способна также определять принадлежность целей, проводить картографирование поверхности с высоким разрешением, определять количество и тип воздушных целей, а также работать в условиях сложного рельефа и обнаруживать метеообразования на пути [5].



Рисунок 5 – РЛСУ «Ирбис-Э» на летающей лаборатории Су

«Оса». Радиолокационный прицельный комплекс (РЛПК) с ФАР «Скат-м» (рисунок 6) предназначен для установки на большое множество легких отечественных истребителей [3], [5], [6].

В режиме "воздух-воздух" устройство РЛПК выполняет большой спектр функций, начиная от обнаружения целей с определением дальности и скорости, заканчивая сопровождением при многолучевой атаке. В то же время, в режиме "воздух-поверхность", система способна обнаруживать морские цели в условиях высокого волнения, производить картографирование местности с использованием реального луча и измерять дальности и скорости движущихся целей.

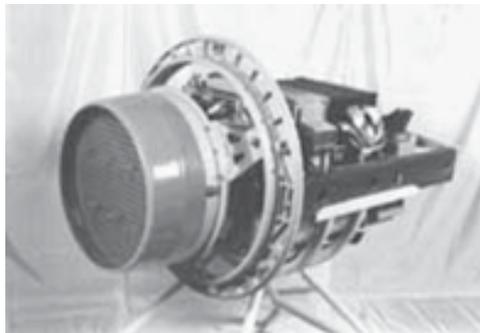


Рисунок 6 – РЛПК

Антенная система в данном комплексе, в свою очередь, представляет собой фазированно-антенную радиолокационную систему с исключительной электронной управляемостью, работающую в двух диапазонах частот и обеспечивающую эффективное управление лучом для достижения поставленных задач.

Основные тактико-технические характеристики РЛПК:

- Диапазон частот: X и L – диапазон.
  - – 85 km в передней полусфере;
  - – 40 km в задней полусфере.
  - Дальность захвата цели в режиме дискретного сопровождения: примерно 45 km
    - Зона обзора по азимуту:  $\pm 60$  градусов.
    - Зона обзора по углу места:  $\pm 60$  градусов.
    - Количество одновременно сопровождаемых целей:
      - – 8 в режиме дискретного сопровождения;
      - – 16 в режиме сопровождения при сканировании.
    - Количество одновременно атакуемых целей воздушных целей:
- 4.
- Время перемещения луча – 0,3 м/с.
  - Характеристики ФАР «Скат-м»:
  - Тип ФАР: проходного типа с волноводным питанием.

- Диаметр антенны: 460 мм.

Работы по разработке активных фазированных антенных решеток, начатые в США в конце двадцатого столетия, продемонстрировали значительные преимущества этого типа антенных систем. Они стали основным направлением исследований для ведущих американских и европейских компаний в области радиолокации. К началу 21-го века уменьшение габаритов и цены приемно-передающих устройств позволило оснастить большинство многоцелевых истребителей и бомбардировщиков ВВС США этими антеннами.

Сегодня исследования по улучшению приемно-передающих элементов для фазированных антенн продолжаются в России и в других странах. Планируется разработать универсальные приемно-передающие устройства и конформные активные решетки на их базе, что позволит увеличить мощность и радиус действия радиолокационных систем и улучшить точность обнаружения целей и охват пространства вокруг воздушного средства. Однако рост числа приемно-передатчиков потребует значительных вычислительных мощностей для управления лучом антенны.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гуськов Ю.Н., Жибуртович Н.Ю. Основные направления развития бортового радиоэлектронного оборудования летательных аппаратов различного назначения // Информационно-аналитический журнал Корпорации «Фазотрон-НИИР». 2011. № 3, 4.

2. Кондратьев А. Реализация концепции «Сетецентрическая война» в ВВС США // Зарубежное военное обозрение. 2009. № 5.

3. Антипов В.Н., Меркулов В.И., Самарин О.Ф., Чернов В.С. Основные направления развития авиационных бортовых РЛС // Успехи современной радиоэлектроники. 2009. № 10.

4. Акиншин Н.С., Быстров Р.П., Румянцев В.Л., Соколов А.В. Миллиметровая радиолокация: методы обнаружения негауссовских сигналов / под ред. Р.П. Быстрова. – М.: Радиотехника. 2012.

5. Военно-технические системы. Методические аспекты повышения эффективности функционирования. Монография / под ред. В.В. Михайлова. – М.: Радиотехника. 2012.

6. Бортовая радиолокационная станция для самолетной системы управления вооружением. [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/RU141506U1/ru>.

7. Радиолокационные радары. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/radiolocation/radar>.

УДК 621

**ТЕПЛЯКОВА У.С., ПОТАПОВА Е.В.**Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ  
ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

*В статье рассматривается разработка автоматизированной испытательной системы, виды испытательных систем, их преимущества и недостатки.*

Характерным признаком развития технических систем является их постоянное усложнение. При этом неизбежно возникают проблемы измерения, контроля и диагностики параметров, характеристик, а также технического состояния систем и устройств как в процессе их эксплуатации, так и в процессе производства.

В широком смысле автоматизация — это комплекс технических, организационных и экономических мероприятий, дающий возможность вести процессы (производственные, технологические, информационные и т. д.) без непосредственного участия в них человека. В узком понимании автоматизация — это применение технических средств автоматики для измерения, контроля и управления. Предпосылкой автоматизации является извечное стремление людей заменить свой труд трудом автоматически действующих устройств.

В зависимости от степени автоматизации различают системы автоматизированные и автоматические. В автоматизированных системах часть функций выполняется человеком оператором, тогда как автоматические системы функционируют без участия человека.

Основная цель автоматизации — улучшение технических и экономических показателей процессов измерения, контроля и управления. Иногда осуществление некоторых процессов вовсе невозможно без автоматизации. Например, измерение быстротекущих процессов, получение измерительной информации и управление в реальном масштабе времени, распознавание образов в диагностике.

Измерение — это процесс нахождения значения физической величины опытным путем.

В процессе измерения определяется численное отношение между измеряемой величиной и некоторым ее значением, принятым за единицу сравнения.

Контроль — это процесс установления соответствия между состоянием объекта и заданными нормами. В результате контроля вырабатываются суждения типа «в норме» или «не в норме». Контроль возможен там, где состояние объекта можно описать в рамках заданных норм. Описание норм задается количественно в виде аналоговых и цифровых установок.

Испытания — это опытное определение количественных и (или) качественных свойств объекта испытаний. Испытания обычно проводят с целью: получения сведений, необходимых для принятия решения о соответствии объекта испытаний заданным требованиям; изучения объекта испытаний.

Основное содержание процесса испытаний представляет собою совокупность элементарных актов двух типов:

- Выдача команды, приводящей к срабатыванию некоторого механизма, например, включить-выключить исполнительный механизм, или к воздействию на некоторый процесс, например, запустить-остановить выполнение алгоритма на бортовом компьютере.
- Измерение значения некоторого параметра, например, напряжения, тока или сопротивления электрической цепи, температуры или давления в некотором отсеке, состояния замкнуто-разомкнуто для контактов коммутирующих устройств или исследование содержимого ячеек оперативной памяти бортовой вычислительной машины.

При испытаниях проверяется правильность изменения значений параметров после выдачи заданных команд. Исход этих проверок определяет дальнейшее направление испытаний.

Реальный объект контроля представляет собою весьма сложное изделие, в котором количество точек воздействия и подлежащих исследованию параметров достигает десятков тысяч. Поэтому процесс испытаний осуществляется командой специалистов, каждый из которых действует в пределах своей компетенции. Эта ситуация требует наличия некоторой комплексной (организационной, программной, аппаратной) системы, позволяющей эффективно объединять усилия многих сотрудников над задачей испытания одного объекта.

Автоматизированная испытательная система — это система, которая позволяет человеку принимать решения по результатам контроля на разных стадиях работы.

Она включает в себя три уровня:

1. Аппаратура сопряжения с объектом контроля
2. Каналы передачи данных

### 3. Аппаратура обработки данных.

Рассмотри эти три уровня подробнее.

"Аппаратура сопряжения с объектом" – это техническое оборудование или устройство, используемое для установления связи или взаимодействия с конкретным объектом. Этот термин может применяться в различных контекстах, в зависимости от области применения.

Например, в области инженерии и телекоммуникаций, "аппаратура сопряжения с объектом" может означать коммуникационное оборудование или устройства, используемые для передачи данных, управления или мониторинга конкретных объектов.

В области медицинской техники, этот термин может относиться к устройствам, которые посредством датчиков и других средств взаимодействуют с пациентом или другим объектом для диагностики, лечения или мониторинга.

Таким образом, понятие "аппаратура сопряжения с объектом" в основном зависит от того, в какой области оно используется, и может включать в себя различные виды оборудования, технологий и методов, используемых для взаимодействия или управления конкретными объектами.

"Каналы передачи данных" представляют собой средства, используемые для передачи информации от одной точки к другой. В зависимости от контекста, каналы передачи данных могут включать в себя различные методы и технологии, используемые для передачи информации, такие как проводные и беспроводные сети, оптоволоконные кабели, радиосвязь и другие.

В телекоммуникационной сфере каналы передачи данных могут включать в себя телефонные линии, интернет-каналы, сотовые сети, спутниковые связи и прочие средства передачи информации. Каналы передачи данных также могут использоваться для передачи видео, аудио, текстовой информации и других форматов данных в цифровой или аналоговой форме.

В области компьютерных сетей каналы передачи данных могут касаться сетевых кабелей, беспроводных сетей, локальных сетей (LAN), глобальных сетей (WAN), интернета и других средств связи. Также существует понятие виртуальных каналов передачи данных, которые используются для передачи информации внутри компьютерных сетей или программных приложений.

Все эти каналы служат для связи между различными устройствами и компонентами, позволяя передавать информацию в различных форматах и протоколах от отправителя к получателю.

"Аппаратура обработки данных" – это техническое оборудование, используемое для обработки информации или данных. Это оборудование может включать в себя компьютеры, микроконтроллеры, специализированные вычислительные устройства, процессоры, микросхемы, аппаратные ускорители и другие устройства и компоненты, предназначенные для обработки, хранения, передачи и анализа данных.

Такая аппаратура может использоваться для выполнения различных задач обработки данных, таких как вычисления в реальном времени, обработка сигналов, машинное обучение, анализ больших объемов данных, сжатие данных, шифрование, графическая обработка и многое другое.

Существует три основные категории систем для проведения проверок.

1. Неавтоматизированные системы характеризуются большим участием оператора, который в соответствии с инструкцией определяет последовательность испытательных операций и временные интервалы между ними. Оператор в процессе проверок выполняет различные операции, в ряде случаев рутинные, что требует значительного времени, и при этом результаты проверок в значительной мере субъективны и зависят также от опыта и квалификации оператора.

2. Полуавтоматизированные системы проверок и испытаний в дополнение к неавтоматизированным имеют средства, обеспечивающие автоматическое выполнение проверочных операций. Применение полуавтоматизированных систем проверок и испытаний позволяет сократить время проверки и объем ручных операций и повысить объективность полученных результатов.

3. Автоматизированные системы проверок и испытаний обеспечивают автоматическое управление процессом испытаний, включая автоматическую оценку результатов проверок. Оператор при этом осуществляет выбор режимов проверок. Автоматизированные системы осуществляют автоматический съем, передачу, обработку и отображение информации, получаемой с аппарата.

Автоматизированные системы проверок и испытаний позволяют обеспечить высокий уровень достоверности проверок и сократить время проверок за счет значительного уменьшения доли ручных операций.

В современном информационном обществе аппаратура обработки данных имеет широкое применение в различных областях, включая науку, промышленность, медицину, финансы,

телекоммуникации, транспорт и многие другие. Она обеспечивает возможность эффективной обработки и анализа огромных объемов данных, что в свою очередь позволяет развивать новые технологии и решать сложные задачи.

Автоматизированное контрольно-испытательное средство обычно предназначено для проведения автоматизированных проверок и испытаний различных устройств и систем. Это может включать в себя функции автоматического контроля параметров, нагрузочное тестирование, проверку настройки и калибровки, а также другие виды технического контроля. Он может быть использован в различных отраслях, таких как производство, электроника, авиация и другие.

Контроль параметров в контексте автоматизированного контрольно-испытательного средства означает проведение проверки различных параметров устройства или системы, чтобы удостовериться в их соответствии установленным стандартам или требованиям. Эти параметры могут включать в себя напряжение, ток, частоту, сопротивление, температуру, давление и другие физические или электрические величины. Программируемые средства испытания могут проводить автоматическое сравнение измеренных параметров с заранее заданными предельными значениями, что позволяет выявить любые отклонения от установленных стандартов.

Нагрузочное тестирование, также известное как нагрузочное испытание или тестирование производительности, является методом тестирования программного обеспечения или информационной системы для оценки их производительности при различных условиях нагрузки. Целью нагрузочного тестирования является выявление пределов стабильности, пропускной способности и эффективности системы при увеличении нагрузки. Это позволяет оценить, как система будет работать в реальных условиях эксплуатации, таких как большое количество пользователей, объемы данных или интенсивные операции.

В ходе нагрузочного тестирования создаются нагрузочные сценарии, которые моделируют различные типы активности или возможных событий, которые могут происходить при реальной эксплуатации системы. Нагрузочное тестирование может включать в себя такие виды испытаний, как тестирование на максимальную нагрузку, тестирование на длительное время, тестирование на способность восстановления после сбоев, и другие типы испытаний, направленные на определение производительности и надежности системы в условиях повышенной нагрузки.

Проверка настройки и калибровки обычно применяется к различным типам технических устройств, включая оборудование, инструменты, приборы и системы.

Настройка представляет собой процесс установки различных параметров или конфигураций устройства или системы с целью обеспечения их корректной работы в соответствии с требованиями или спецификациями производителя. Это может включать в себя настройку параметров сети, программных настроек, аппаратных конфигураций и т.д. Проверка настройки включает перепроверку и убеждение в правильности установленных параметров.

Калибровка относится к процессу определения и корректировки точности измерения устройства или прибора. В процессе калибровки проводится сопоставление показаний устройства с известными эталонами и, при необходимости, корректировка показаний устройства для достижения высокой точности измерений.

Оба этих процессов являются важными для обеспечения правильной работы технических устройств и оборудования, а также для точности измерений и функционирования систем в различных областях, включая производство, науку, здравоохранение, авиацию и многие другие.

Контрольно-испытательное устройство (КИУ) – это специализированное оборудование, используемое для проверки или контроля различных параметров, качества, работы или безопасности других устройств, систем или объектов.

Примеры контрольно-испытательных устройств включают в себя:

1. Мультиметр (Вольтметр-амперметр-омметр): используется для измерения напряжения (в вольтах), силы тока (в амперах) и сопротивления (в омах) в электрических цепях.

2. Испытательный стенд для автомобильного двигателя: предназначен для проведения тестов и измерений параметров двигателя, например, температуры, давления масла, оборотов, выбросов и прочих.

3. Прибор для контроля качества воды: устройства, которые могут отслеживать уровни pH, содержание определенных веществ, и другие параметры воды для обеспечения её безопасности и пригодности к использованию.

Принципы работы контрольно-испытательных устройств могут быть различны в зависимости от их назначения, области применения и технических особенностей. Однако, общими чертами для таких устройств являются:

1. Измерение и анализ: КИУ часто используются для измерения физических или химических параметров, таких как температура, давление, напряжение, ток, скорость, влажность, содержание веществ и т. д.

2. Тестирование и контроль: устройства могут использоваться для тестирования работоспособности других устройств или систем, а также для контроля их соответствия определенным стандартам.

3. Визуальная отчетность: многие КИУ обеспечивают вывод результатов измерения или контроля на дисплей или через интерфейс, позволяющий операторам осуществлять мониторинг и принимать оперативные решения.

Принципы работы КИУ могут варьироваться в зависимости от их конкретного применения, но обычно они предназначены для обеспечения безопасности, качества и соответствия техническим требованиям объектов или систем, а также для обеспечения точного контроля и измерений.

Автоматизированные контрольно-испытательные устройства предоставляют ряд значительных преимуществ и характеризуются своими собственными положительными качествами:

- **Эффективность.** Автоматизированные КИУ способны проводить тестирование и контроль сильно увеличенной производительностью и прецизионностью, что позволяет сократить временные затраты и улучшить результаты контроля.

- **Точность.** Автоматизированные системы обычно обладают высокой точностью при измерениях и анализе данных, что способствует уменьшению человеческого вмешательства и связанных с этим ошибок.

- **Масштабируемость.** Эти устройства могут легко масштабироваться для выполнения разнообразных задач контроля и испытаний, включая обработку больших объемов данных.

- **Автоматизация процессов.** Автоматизированные КИУ позволяют проводить автоматизированную обработку данных, быструю передачу результатов тестирования, а также автоматизированный контроль на основе определенных критериев.

- **Увеличенная безопасность.** Автоматизированные устройства могут включать в себя меры предотвращения рисков, такие как автоматический выключатель в случае обнаружения аномалий или избыточных значений.

- **Мониторинг и аналитика.** Многие автоматизированные КИУ предлагают возможности мониторинга и аналитики, что позволяет получать более глубокое понимание результатов и данных испытаний.

- Сокращение издержек. Использование автоматизированных систем контроля и испытаний может привести к уменьшению необходимого количества часов работы человека, что в свою очередь снизит издержки на труд.

Эти преимущества делают автоматизированные контрольно-испытательные устройства не только более эффективными, но и более точными, универсальными и безопасными в использовании.

Некоторые из возможных недостатков автоматизированных контрольно-измерительных устройств включают:

1. Необходимость постоянного обслуживания и калибровки для поддержания точности измерений.

2. Возможная уязвимость к техническим сбоям и отказам, что может привести к неправильным результатам или поломке устройства.

3. Высокие затраты на приобретение и установку автоматизированных систем контроля.

4. Необходимость опытного персонала для обслуживания и программирования устройств.

Необходимый выбор автоматизированного контрольно-измерительного устройства должен учитывать как его преимущества, так и возможные недостатки.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Мазуров Е. С. Испытательная техника и автоматизированные системы испытаний: учебное пособие. – СПб: Политехника, 2017. – 224 с.

2. Глибовский В.В. Автоматизация процессов испытаний в приборостроении. – СПб.: СПбГУИТМО, 2018. – 268 с.

3. Шереметьев В.И. и др. Автоматизированные системы испытаний в электронике: монография. – М.: Издательский дом МЭИ, 2018. – 280 с.

4. Лелеко Н.В., Степанов Д.Н. Автоматизированные измерительные системы: монография. – Казань: Казанский университет, 2019. – 198 с.

5. Рочев В.В., Иванов А.П. Системы автоматизированных испытаний в инженерии: учебник.. – М.: Высшая школа, 2016. – 312 с.

6. Федоров П.И. Испытания и диагностика элементов ракетно-космической техники. – М.: Техносфера, 2020. – 224 с.

УДК 621

**ТЕПЛЯКОВА У.С., ПОТАПОВА Е.В.**Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВТОРИЧНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

*В статье рассматривается создание новейших альтернативных источников энергии, их виды и преимущества.*

В современном мире, в связи с проблемой изменения климата и исчерпанием традиционных источников энергии, важно продолжать исследования и разработку новых конструкций для альтернативных источников энергии. Одним из наиболее перспективных направлений является создание более эффективных и экологически чистых солнечных панелей.

Исследования в этой области направлены на увеличение эффективности преобразования солнечной энергии в электричество, а также на уменьшение затрат на производство и использование солнечных панелей. Новые конструкции солнечных панелей могут включать в себя использование более эффективных материалов, оптимизацию дизайна для увеличения захвата солнечного излучения, а также интеграцию с другими технологиями, например, хранением энергии.

Альтернативная энергия — совокупность перспективных способов получения энергии, которые распространены не так широко, как традиционные, однако представляют интерес из-за выгоды их использования при низком риске причинения вреда экологии района.

Альтернативный источник энергии — способ, устройство или сооружение, позволяющее получать электрическую энергию (или другой требуемый вид энергии) и заменяющий собой традиционные источники энергии, функционирующие на нефти, добываемом природном газе и угле.

Альтернативную энергетику также иногда называют «зеленой». Ведь, казалось бы, такие станции позволяют получать энергию как будто бы из ниоткуда, не истощая запасы полезных ископаемых и не загрязняя воздух продуктами их горения. Однако использование альтернативных источников энергии любого типа влечет за собой определенные последствия для экологии [1].

Разработка новых конструкций для альтернативных источников энергии имеет огромное значение и актуальность по ряду причин:

1. Сокращение выбросов парниковых газов: Использование альтернативных источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия, помогает снизить выбросы парниковых газов, что важно для борьбы с изменением климата и сохранения окружающей среды.

2. Диверсификация источников энергии: Развитие новых конструкций для альтернативных источников энергии способствует диверсификации источников энергии, уменьшая зависимость от ископаемых топлив и повышая энергетическую безопасность.

3. Экономическая выгода: Новые конструкции могут повысить эффективность и экономическую целесообразность альтернативных источников энергии, что способствует развитию зеленой экономики и созданию новых рабочих мест.

4. Технологический прогресс: Разработка новых конструкций требует инноваций в области инженерии, материаловедения, электроники и других областей, что способствует технологическому прогрессу и развитию научно-технического потенциала.

5. Улучшение доступности энергии: Альтернативные источники энергии могут быть более доступными для удаленных или развивающихся регионов, где нет возможности подключения к централизованным энергетическим системам [2].

В целом, разработка новых конструкций для альтернативных источников энергии играет ключевую роль в переходе к устойчивой энергетике и создании более чистой и экологически устойчивой энергетической системы.

Дальнейшее исследование и разработка новых конструкций для альтернативных источников энергии имеет большое значение для обеспечения устойчивого развития нашей планеты и уменьшения зависимости от ископаемых ресурсов. Вместе мы можем сделать больше для создания чистой и энергоэффективной будущей энергетики.

Для начала исследования процесса и разработки новых конструкций необходимо провести тщательный анализ современных технологий и научных исследований в области альтернативных источников энергии. Это позволит выявить уже существующие проблемы и недостатки, а также определить перспективные направления развития.

Далее проводится проектирование новых конструкций на основе полученных данных и проведенного анализа. Особое внимание уделяется выбору оптимальных материалов, технологий и конструктивных решений, которые обеспечивают эффективность печати и надежность устройства.

После завершения проектирования начинается этап создания прототипов и проведения испытаний. В ходе обеспечения работоспособности устройства, его энергетической эффективности, стабильности работы и других характеристик. В случае необходимости внести корректировки при освещении для улучшения результатов.

После получения результатов всех требований и условий конструкции происходит доработка процесса и оптимизация устройства для массового производства. Этот этап включает в себя совершенствование технологических процессов, снижение затрат на производство и другие меры для обеспечения прибыльной экономической модели.

В результате проведения исследований и разработки новых конструкций для альтернативных источников энергии можно получить инновационные устройства, способные эффективно преобразовывать солнечную, ветровую, гидроэнергетику и другие виды энергии в электричестве или другие виды полезной энергии. Такие технологии способствуют устойчивому развитию энергетики и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Одним из наиболее перспективных направлений в данной области является солнечная энергия. Солнечные панели являются одним из наиболее распространенных способов преобразования солнечной энергии в электричество. Однако, для дальнейшего развития этой технологии необходимо исследование и разработка новых конструкций, которые повысят эффективность и уменьшат затраты на производство.

Новые конструкции солнечных панелей могут включать в себя использование более эффективных материалов, таких как перовскиты, улучшение дизайна для увеличения захвата солнечного излучения, интеграцию с другими технологиями, такими как хранение энергии и управление нагрузкой. Также исследования в области солнечной энергии могут включать в себя разработку улучшенных методов сбора и хранения полученной энергии [3].

1. Гибкие солнечные панели: Эти панели изготавливаются из ультратонких и гибких материалов, что позволяет устанавливать их на различных поверхностях, включая кривые и наклонные. Такие панели идеально подходят для интеграции в архитектурные конструкции зданий.

2. Перовскитные солнечные панели: Перовскиты - это относительно новый тип материалов, используемых для солнечных панелей. Они обладают высокой эффективностью преобразования солнечной энергии в электричество и могут быть нанесены на

различные поверхности, что делает их компактными и легкими в установке.

3. Прозрачные солнечные панели: Эти панели разработаны таким образом, что они могут быть интегрированы в оконные стекла зданий, позволяя использовать солнечную энергию без ущерба для дизайна и эстетики здания.

4. Умные солнечные панели: С помощью технологий Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта, новые конструкции солнечных панелей могут быть оборудованы системами мониторинга и управления, что позволяет оптимизировать производство и использование энергии.



Рисунок 1 – принцип работы конструкции солнечной батареи

Эти новые конструкции солнечных панелей открывают новые возможности для использования солнечной энергии, делая ее более доступной, эффективной и удобной для людей и предприятий.

Кроме солнечной энергии, также проводятся исследования в области ветроэнергетики, геотермальной энергии, биомассы и других альтернативных источников энергии. Разработка новых конструкций для этих источников также имеет большое значение для увеличения их эффективности и широкого применения.

В целом, исследование и разработка новых конструкций для альтернативных источников энергии являются ключевыми направлениями в области устойчивого развития и борьбы с изменением климата. Совместные усилия ученых, инженеров и экологов помогут создать более эффективные и экологически чистые источники энергии для будущих поколений.

Самые необычные альтернативные источники электроэнергии:

Энергия из морских волн. Например, установка Blue X, которая преобразует кинетическую энергию морских волн в электричество.

Энергия из ДНК. Органические молекулы тоже могут преобразовывать солнечную энергию в электричество.

Респираторы с солнечными батареями. Привычная маска, на поверхности которой закреплена маленькая солнечная батарея.

Солнечные паруса. Почти то же самое, что и обычный парус на кораблях, только в движение его приводит не ветер, а солнечная энергия.

Энергия из воздуха. Например, генератор Air-gen, который создает электричество с помощью натурального белка и влаги из воздуха.

Электричество из дерева. Если сжечь древесину, а потом вернуть в исходное состояние, она вырабатывает электрическое напряжение.

Жидкое топливо из солнечной энергии. Преобразование солнечной энергии в жидкое топливо [4].

Согласно данным, в 2019 году доля альтернативных возобновляемых источников энергии (без ГЭС) составила 10,8 % в мировой генерации электричества, впервые обойдя атомную энергию по этому показателю. По состоянию на 2020 год суммарная мировая установленная мощность возобновляемой энергии (без гидроэнергетики) 1 668 ГВт. На 2020 год суммарная мировая установленная мощность солнечной энергетики достигает 760 ГВт. На 2020 год суммарная мировая установленная мощность ветроэнергетики достигает 743 ГВт. На 2020 год суммарная мировая установленная мощность биоэнергетики достигает 145 ГВт. На 2020 год суммарная мировая установленная мощность геотермальной энергетики 14,1 ГВт.

В первичной энергии (общем энергобалансе) доля альтернативной энергетики выросла до 5 %, поднявшись с 4,5 % в 2018 году и также обойдя атомную энергию.

По состоянию на 2017 год альтернативные источники энергии выработали 9,6 % электроэнергии в США, включая 6,3 % из ветровых и 1,3 % из солнечных электростанций.

За первую половину 2020 года в Германии альтернативные источники энергии выработали рекордные 52 % электричества. Ветер занял первое место среди источников электроэнергии, выработав 30,6 % электричества, а солнце дало 11,4 % [5].

Альтернативная энергетика – это будущее человечества, которое не имеет ограничения в ресурсе. При этом сами источники бесплатны

и не требуют больших вложений в их разработке в отличие от добычи нефти, газа, угля и прочих.

Но есть у этой технологии получения энергии один отрицательный момент. Это высокая цена самого оборудования и его монтажа. Ведь речь сейчас идёт о приборах, которые можно использовать в быту, то есть в собственном доме. Не каждый владелец недвижимости может вложить кругленькую сумму в альтернативный источник электроэнергии и энергии тепловой.

Проще подключиться к линейным электрическим сетям и оплачивать приходящие счета. Или приводить газ в баллонах. Здесь не требуется сложного и дорогого оборудования. Но время вносит свои коррективы. С каждым годом суммы в этих счетах растут. И велика вероятность, что придёт то время, когда не всем будет под силу их оплачивать. И вот тут придёт эра использования альтернативных источников энергии.

Переход к возобновляемой энергии — это не только экологическая необходимость, но и экономическая выгода и шанс на развитие новых технологий. Чистая энергия — это ключ к устойчивому будущему для нашей планеты и всех её обитателей. Именно сегодня мы должны принимать решения, которые обеспечат благополучие наших потомков.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Голицын М.В. Альтернативные энергоносители / М.В. Голицын, А.М. Голицын, Н.В. Пронина. – М.: Наука, 2004. – 159 с.
2. Панич А. Альтернативные источники энергии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nestor.minsk.by/sn/2003/21/sn32118.html>.
3. Куашнинг Фолькер. Системы возобновляемых источников энергии. – Астана, 2013. – 432 с.
4. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. – СПб.: Наука и Техника, 2014. – 320 с.
5. Возобновляемая энергетика в России [Электронный ресурс]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable\\_energy\\_in\\_Russia](https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy_in_Russia).

УДК 62.9

**ФЁДОРОВ В.П., ИЛЬИНЫХ В.А.**Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина**К ВЫБОРУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРАТОРА**

*В статье приводится вывод оптимальных соотношений размеров виброзадающего электромагнитного устройства и формы его питающего напряжения из условия достижения максимальной силы при заданных габаритных ограничениях.*

Электромагнитные виброзадающие устройства (вибраторы) применяются в ряде областей техники, например, в измерительных приборах [1], установках вибрационных испытаний, технологическом оборудовании. При проектировании таких устройств, как правило, требуется получить достаточную величину силы при ограниченных габаритных размерах.

Цель данной статьи – вывод зависимости создаваемой вибратором силы от его основных электрических и геометрических параметров, а также оценка величины этой электромагнитной силы при допустимых значениях тока, плотности тока в обмотке вибратора, его габаритов.

Выведем расчетные соотношения:

Известна следующая формула для определения силы притяжения ферромагнитного якоря к магнитному полюсу [2]

$$F = \frac{\hat{O}^2}{2\mu \cdot S_l}, \quad (1)$$

где  $\Phi$  – магнитный поток в зазоре между статором и якорем,

$\mu$  – абсолютная магнитная проницаемость зазора ( $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ ;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;  $\mu_r = 1$  для воздуха);

$S_{\Pi}$  – площадь магнитного потока полюса.

Предварительно выбранная конструктивная схема вибратора представлена на рисунке 1, расчетная схема его магнитной цепи – на рисунке 2.

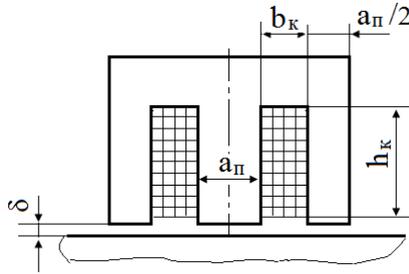


Рисунок 1 – Конструктивная схема электромагнитного вибратора:  
 $a_{\text{П}}$  – ширина полюса;  $h_{\text{к}}$  и  $b_{\text{к}}$  – размеры окна обмотки

При условии сосредоточения практически всей магнитной энергии в воздушном зазоре  $\delta$  (рис. 1), что реально имеет место для зазоров порядка  $\delta \approx 1,0$  мм и материалов магнитопровода с высокой магнитной проницаемостью, сопротивление магнитному потоку  $R_{\text{м}}$  (рис. 2) находится как

$$R_i = \frac{\delta}{\mu \cdot S_i}; \tag{2}$$

$$R'_i = R''_i = \frac{2\delta}{\mu \cdot S_i} = 2R_i,$$

что соответствует отношению площадей центрального и крайних полюсов (рисунок 1).

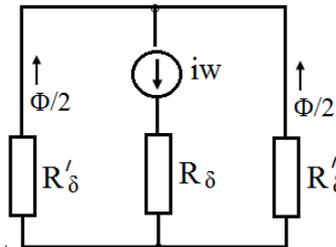


Рисунок 2 – Расчетная схема магнитной цепи вибратора

Для принятой схемы общая электромагнитная сила центрального и крайних полюсов определяется с учетом того, что  $\Phi' = \Phi'' = \Phi/2$ :

$$F_{\Sigma} = \frac{\hat{O}^2}{2\mu \cdot S_i} + 2 \frac{(\hat{O}/2)^2}{2\mu \cdot (S_i/2)} = \frac{\hat{O}^2}{\mu \cdot S_i}, \tag{3}$$

где магнитный поток центрального полюса  $\Phi$  при создаваемой обмоткой статора м.д.с  $iw$  ( $i$  – ток в обмотке,  $w$  – число витков) равен

$$\Phi = iw/(2R_{\text{м}}) \tag{4}$$

и с учетом (2):

$$\hat{O} = \frac{i \cdot w}{2 \cdot \delta} \mu \cdot S_I. \quad (5)$$

Тогда формула (3) приводится заменой  $\Phi$  в соответствии с выражением (5) к виду:

$$F_{\Sigma} = \frac{(i \cdot w)^2 \mu \cdot S_I}{4\delta^2}. \quad (6)$$

Связь тока  $i$  с его плотностью  $j$ :

$$i = j \cdot S_{np} \quad (S_{np} - \text{площадь сечения провода}) \quad (7)$$

позволяет перейти к соотношению между м.д.с. и площадью окна обмотки ( $S_{ок}$ ):

$$i \cdot w = j \cdot S_{np} \cdot w = j \cdot S_{ок} \cdot f_m, \quad (8)$$

где  $f_m$  – коэффициент заполнения окна обмотки медью.

Подстановка (8) в (6) дает

$$F_{\Sigma} = \frac{(j \cdot f_i)^2 \mu \cdot S_I}{4\delta^2} \cdot S_{ie}^2. \quad (9)$$

Это выражение является исходным для определения наилучшего соотношения размеров вибратора с точки зрения получения максимальной силы  $F_{\Sigma}$  при ограниченных габаритах.

Площади  $S_{ок}$  и  $S_n$  определяются через размеры  $b_k$ ,  $h_k$  и  $a_n$  (рис.1) соответственно:

$$S_{ок} = b_k \cdot h_k; \quad S_n = a_n \cdot c, \quad (10)$$

где  $c$  – толщина магнитопровода.

Формула (9) принимает вид:

$$F_{\Sigma} = \frac{(j \cdot f_m)^2 \mu}{4\delta^2} \cdot h_k^2 \cdot b_k^2 \cdot a_n \cdot c. \quad (11)$$

В следствие всего вышеперечисленного можно сделать первый вывод – оптимизация соотношений размеров вибратора по критерию достижения наибольшей силы  $F_{\Sigma}$  при заданных габаритных ограничениях осуществляется далее при постоянных значениях  $j$ ,  $\delta$ ,  $f_m$ ,  $\mu$ , а также  $h_k$  и  $c$ .

Так же стоит отметить, что при решении поставленной задачи нужно ещё учесть и зависимость размеров  $b_k$  и  $a_n$  при заданной ширине  $d$  сердечника (рис.1):

$$b_k = \frac{d}{2} - a_i. \quad (12)$$

Тогда  $F_{\Sigma}$  записывается как функция одного параметра

$$F_{\Sigma} = K_c \cdot \left( \frac{d}{2} - a_i \right)^2 \cdot a_i = K_c \cdot f(a_i), \quad (13)$$

где  $K_c$  – постоянный коэффициент.

Соотношения размеров  $a_n / d$  (рис.1) и  $a_n / b_k$ , обеспечивающие максимум этой функции, находятся из уравнения

$$\frac{df}{da_i} = 3a_i^2 - 2d \cdot a_i + \frac{d^2}{4} = 0. \quad (14)$$

Отсюда можно найти значения параметров, обеспечивающих экстремум функции  $f$ :

$$a_{nэ} = d/6; \quad b_{кэ} = d/3. \quad (15)$$

Как следует из формулы (6), создаваемая вибратором сила растет с увеличением тока в обмотке. Достижению необходимого значения тока может препятствовать недопустимо большая постоянная времени обмотки

$\tau = L / r$  ( $L$  – индуктивность обмотки,  $r$  – активное сопротивление обмотки). Это имеет место при питании обмотки как синусоидальным напряжением, так и прямоугольными импульсами.

Связь постоянной  $\tau$  с другими параметрами устройства выводится ниже.

Исходным – при упрощающей, но реальной предпосылке о линейности магнитной цепи – может быть принято соотношение:

$$L = w \frac{d\hat{\Phi}}{di}. \quad (16)$$

Замена здесь  $\Phi$  его выражением (5) дает:

$$L = \frac{w^2 \mu \cdot S_i}{2\delta}. \quad (17)$$

Примечание: здесь принимается допущение о незначительном изменении рабочего зазора  $\delta$  при вибрации объекта и, как следствие этого, постоянстве величины  $L$ .

Выражение постоянной времени  $\tau = L/r$  записывается, таким образом, как

$$\tau = \frac{w^2 \mu \cdot S_i}{2 \cdot \delta \cdot r} = \frac{S_{iэ}^2 f_i^2 \mu \cdot S_i}{2 \cdot \delta \cdot r \cdot s_{iэ}^2}. \quad (18)$$

Максимальное за период  $T$  питающего напряжения значение плотности тока выражается согласно рисунке 3 в виде

$$j_m = \frac{U_m}{r \cdot s_{iэ}} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{T}{2\tau}} \right). \quad (19)$$

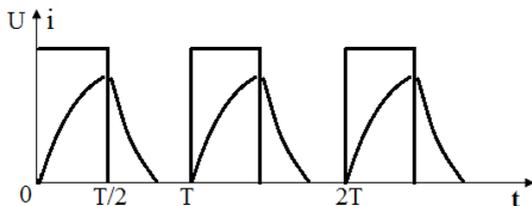


Рисунок 3 – Эпюры прямоугольных импульсов питающего напряжения и экспоненциально изменяющегося тока в обмотке электромагнита

Подстановка (19) в формулу (9) дает выражение максимальной силы:

$$F_{\Sigma m} = \frac{U_m^2}{r^2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{T}{2\tau}}\right)^2 \cdot \frac{S_{i\dot{e}}^2 \cdot f_m^2 \cdot \mu \cdot S_l}{4\delta^2 \cdot S_{i\dot{b}}^2}, \quad (20)$$

На основании (18) и (20) устанавливается следующая зависимость силы  $F_{\Sigma m}$  от  $\tau$ :

$$F_{\Sigma m} = \frac{U_m^2}{2r \cdot \delta} \cdot \left(1 - e^{-\frac{T}{2\tau}}\right)^2 \cdot \tau. \quad (21)$$

Аналогичная зависимость получается и для случая питания обмотки вибратора синусоидальным напряжением с периодом  $T$ :

$$F_{\Sigma m} = \frac{U_m^2}{2r \cdot \delta} \cdot \frac{T^2 / \tau^2}{4\pi^2 + T^2 / \tau^2} \cdot \tau. \quad (22)$$

Формула (22) выводится из общего выражения электромагнитной силы:

$$F_{\Sigma} = \frac{(i \cdot w)^2 \mu \cdot S_l}{4\delta^2}, \quad (23)$$

где ток  $i$  определяется из закона Ома для индуктивно-резистивной цепи как:

$$i = U \cdot \frac{2\delta}{\sqrt{(\omega \cdot w^2 \mu \cdot S_l)^2 + (2\delta \cdot r)^2}}. \quad (24)$$

Сопоставление полученных выше выражений (21) и (22) максимальной силы  $F_{\Sigma m}$  сводится к сопоставлению значений функций:

$$F^* = 1 - e^{-\alpha} \quad \text{и} \quad F^{**} = \frac{\alpha^2}{4\pi^2 + \alpha^2} \quad (25)$$

при разных отношениях  $\alpha = T/\tau$ .

Отсюда можно сделать вывод о большей величине функции  $F^*$  во всех случаях, кроме  $\alpha \gg 1$  и, следовательно, преимуществе питания

обмотки импульсами прямоугольной формы по сравнению с питанием синусоидальным напряжением.

Очевидным является также вывод о том, что для получения максимальной силы  $F_{\Sigma m}$  при заданных величинах питающего напряжения и магнитного зазора  $\delta$  активное сопротивление обмотки надо принять минимально допустимым ( $r = r_{\text{мин доп}}$ ); значение  $r_{\text{мин доп}}$  выбирается с учетом возможного максимального тока в обмотке.

При установленном отношении  $\frac{U_m^2}{2r \cdot \delta}$ , как следует из (21), (22), существуют оптимальные отношения  $\alpha = T / \tau$ , обеспечивающие максимум функции:

$$f = (1 - e^{-\alpha/2})^2 / \alpha \quad (26)$$

и соответственно силы  $F_{\Sigma m}$ .

Для функции (26) определение оптимального в указанном смысле отношения  $\alpha = T / \tau$  заключается в составлении и решении уравнения

$$\frac{df}{d\alpha} = \frac{e^{-\alpha/2}(1 - e^{-\alpha/2})\alpha - (1 - e^{-\alpha/2})^2}{\alpha^2} = 0. \quad (27)$$

Получается уравнение

$$\alpha - e^{\alpha/2} + 1 = 0, \quad (28)$$

решением которого является  $\alpha = 2,5$ .

Отсюда следует, что  $\tau_{\text{опт}} = 0,4 T$ .

График зависимости  $f(\alpha)$  приведен ниже на рис. 4. Очевидно, что при малых значениях постоянной времени  $\tau$  обмотки влияние её не так заметно, как при значениях выше  $\tau_{\text{опт}}$ .

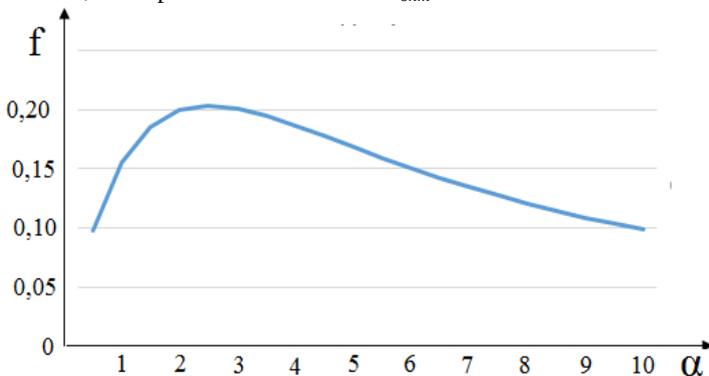


Рисунок 4 – График, показывающий зависимость электромагнитной силы от отношения  $\alpha = T / \tau$

На основании, полученных выше, результатов можно сделать следующие выводы:

1. Существуют оптимальные соотношения размеров вибратора по критерию достижения наибольшей силы  $F_{\Sigma}$  при заданных габаритных ограничениях; на основе, полученных выше, соотношений, следует проводить расчет параметров данного устройства;

2. Преимущественно питание обмотки импульсами прямоугольной формы по сравнению с питанием синусоидальным напряжением;

3. Для получения максимальной силы  $F_{\Sigma m}$  при заданных величинах питающего напряжения и магнитного зазора  $\delta$  активное сопротивление обмотки надо принять минимально допустимым.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Патент N 2360228 Российская Федерация, МПК G01N 09/00 (2006.01). Вибрационный плотномер для жидкостей / Великов А.А., Григорьев С.В – N 2008106674/28; заявл. 20.02.2008; опубл. 27.06.2009, Бюл. № 18. – 4 с.

2. Миловзоров В.П. Электромагнитные устройства автоматики. – М.: Высш. школа, 1983. – 408 с.

УДК 004.048

### ФИРСОВ Н.О., СКВОРЦОВ С.В.

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ТРАССИРОВКИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*Рассматриваются особенности алгоритмов Хейса и Джейера трассировки многослойных печатных плат, которые следует учитывать в различных сценариях проектирования.*

В мире современной электроники многослойные печатные платы играют ключевую роль в создании различных устройств, от мобильных телефонов до компьютеров и промышленного оборудования (рисунки 1). Эти платы, состоящие из нескольких слоев проводников и компонентов, требуют точной трассировки, чтобы обеспечить правильное соединение между элементами. Такая конструкция позволяет увеличить плотность компонентов и проводников на плате, что особенно важно в случае компактных

устройств, где каждый миллиметр пространства имеет значение. Благодаря высокой плотности и производительности, многослойные платы нашли применение в широком спектре областей, от потребительской электроники до промышленных систем [1, 2].



Рисунок 1 – Многослойная печатная плата

Разработка и производство многослойных печатных плат являются сложным и многоэтапным процессом, который требует сочетания инженерных знаний, технологической экспертизы и внимания к деталям (рисунок 2). Первый этап - это проектирование платы, которое включает в себя размещение компонентов, трассировку проводников и определение слоев структуры. Затем производится изготовление прототипа платы и ее тестирование на работоспособность. После успешного прохождения тестирования начинается массовое производство плат с использованием специализированных технологий, таких как методы химического осаждения меди, фотолитографии и травления [2].

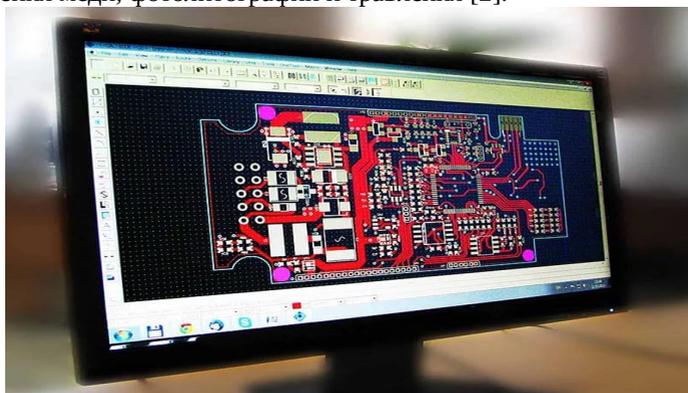


Рисунок 2 – Проектирование многослойной печатной платы

*Алгоритм трассировки Хейса.* Алгоритм Хейса [1], также известный как "метод лучей", разработан в 1961 году Риверджем Хейсом. Этот метод основан на простой идее построения пути для каждого проводника от начальной до конечной точки. В его основе лежит концепция пошагового продвижения от точки отправления к точке назначения, выбирая на каждом шаге наилучший путь, основываясь на текущем положении и требованиях трассировки.

Преимущество метода лучей заключается в его простоте и интуитивной понятности. Он легко реализуется и может быть применен к различным конструкциям печатных плат. Однако, алгоритм Хейса может давать неоптимальные результаты в сложных сценариях, особенно когда требуется учитывать большое количество факторов, таких как электромагнитная совместимость, минимизация помех и др. Также стоит отметить, что для более сложных вариантов плат метод лучей может потребовать больше времени и вычислительных ресурсов для поиска оптимального решения.

*Алгоритм трассировки Джейера* был представлен Эдвардом Джейером в 1967 году. Этот алгоритм использует более сложный подход, основанный на алгоритме поиска в глубину и стратегии обратной трассировки. В отличие от метода лучей, алгоритм Джейера [2] рассматривает весь граф трассировки как единую сущность и стремится найти оптимальные пути трассировки [3], минимизируя длины проводников и соблюдая заданные ограничения.

Преимущества алгоритма Джейера включают его способность к нахождению оптимальных решений даже в сложных сценариях. Он учитывает множество факторов при прокладке трасс, таких как минимизация помех, оптимизация путей сигналов и соблюдение электромагнитных стандартов. Однако, реализация алгоритма Джейера требует более сложных вычислений и может потребовать больше времени на отладку. Кроме того, при неправильной конфигурации параметров алгоритм Джейера может привести к нежелательным результатам, таким как перегруженность слоев платы или неправильное распределение сигналов.

*Сравнительный анализ.* Один из ключевых моментов в процессе проектирования многослойных печатных плат - выбор подходящего алгоритма трассировки. При анализе алгоритмов Хейса и Джейера важно учитывать не только их основные принципы работы, но и их преимущества и ограничения в различных сценариях применения. Сравнение этих двух алгоритмов трассировки позволяет инженерам выбрать наиболее подходящий метод в зависимости от конкретных требований и особенностей проекта (таб. 1).

Алгоритм Хейса, базирующийся на методе лучей, прост в понимании и реализации. Он отлично подходит для простых печатных плат с небольшим количеством компонентов и невысокими требованиями к производительности. Однако метод лучей может давать неоптимальные результаты, ведь он не всегда находит оптимальные пути трассировки, что может привести к увеличению длин проводников и искажению сигнала.

Алгоритм Джейера сложен в реализации, но обладает более высокой эффективностью и точностью. Он способен находить оптимальные пути трассировки даже в сложных ситуациях, что делает его предпочтительным выбором для проектов с высокими требованиями к производительности и надежности. Однако стоит учитывать, что алгоритм Джейера может потребовать больше времени на отладку и расчеты из-за своей сложности.

Таблица 1. Сравнительная таблица

<i>Алгоритм</i>	<i>Реализация</i>	<i>Быстродействие</i>	<i>Ресурсозатратность</i>	<i>Сложность</i>
<i>Алгоритм Хейса</i>	Простая	Низкое	Высокая	$O(n^2)$
<i>Алгоритм Джейера</i>	Средняя	Среднее	Средняя	$O(n^2)$

*Заключение.* Алгоритмы трассировки многослойных печатных плат Хейса и Джейера играют важную роль в проектировании современной электроники. Понимание их принципов работы, преимуществ и ограничений является ключевым для успешной разработки электронных устройств. Выбор между алгоритмами Хейса и Джейера зависит от конкретных потребностей проекта. Для небольших и простых плат с ограниченным бюджетом и временем, метод лучей может быть оптимальным выбором. Однако для крупных проектов с высокими требованиями к производительности и надежности, алгоритм Джейера является более предпочтительным вариантом.

Важно тщательно анализировать особенности проекта и требования к плате для принятия обоснованного решения. При этом с появлением новых технологий и устройств требования к трассировке плат будут постоянно меняться и инженерам предстоит продолжать работу над созданием более эффективных и инновационных методов трассировки.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств. – М.: Советское радио, 1977. – 384 с.
2. Курейчик В.М. Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирование с применением САПР. – М.: Радио и связь, 1990. – 352 с.
3. Hart, P. E., Nilsson, N. J., Raphael, B. A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. 1968. № 2. p. 100-107

УДК 004.43

**ЧЕРНЕЦОВ Н.И.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

**ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ  
ВОЛНОВОГО АЛГОРИТМА ТРАССИРОВКИ С  
МИНИМИЗАЦИЕЙ ЧИСЛА ИЗГИБОВ В QT CREATOR**

*В статье рассматривается создание проекта на C++ с использованием инструментария Qt Creator для реализации волнового алгоритма трассировки с минимизацией числа изгибов. Этот алгоритм широко используется в задачах поиска оптимального пути на графах или сетках с учетом ограничений на повороты или изгибы между сегментами пути. Разработано приложение, которое будет моделировать этот алгоритм на простой двумерной сетке.*

Волновой алгоритм (Wavefront algorithm) — это метод поиска кратчайшего пути на двумерной сетке или графе, где каждая ячейка имеет определенную пропускную способность или стоимость прохождения. Основная идея заключается в распространении волны от начальной точки к целевой, присваивая каждой ячейке значение (обычно называемое "волновым числом"), которое показывает расстояние от начальной точки. После этого путь может быть восстановлен, исходя из этих значений.

Минимизация числа изгибов в пути означает, что при выборе пути предпочтение отдается маршрутам с меньшим количеством поворотов или изгибов. Это может быть полезно, например, для роботов или автомобилей, где минимизация изгибов может означать экономию энергии или времени.

Для программной реализации волнового алгоритма трассировки с минимизацией числа изгибов в Qt Creator необходимо следовать определенным шагам:

1. Определение цели трассировки: необходимо определить цель трассировки — например, поиск оптимального пути от начальной точки до конечной, с учетом минимального количества изгибов.

2. Использование структур данных: Qt Creator предоставляет богатые возможности для работы с различными структурами данных. Для реализации волнового алгоритма могут быть использованы графы, матрицы расстояний или другие подходы, в зависимости от конкретной задачи.

3. Реализация алгоритма: волновой алгоритм трассировки основан на распространении волны от начальной точки до конечной. Он может быть реализован с использованием итеративных или рекурсивных подходов, где каждый шаг определяет следующий оптимальный путь к цели с учетом заданных ограничений.

4. Учет ограничений на изгибы: для минимизации числа изгибов в пути необходимо внедрить логику, которая оценивает и выбирает маршруты с наименьшим количеством поворотов или изгибов.

Интеграция волнового алгоритма трассировки с пользовательским интерфейсом в Qt Creator предоставляет разработчикам возможность создания интерактивных приложений с графическим интерфейсом, где пользователи могут взаимодействовать с алгоритмом через удобные элементы управления. Вот как это можно осуществить:

Интерфейс для ввода данных:

– Разработайте графический интерфейс, используя инструменты Qt Creator, который позволит пользователям указывать начальную и конечную точки для трассировки пути.

– Добавьте элементы управления, такие как поля ввода или кнопки выбора точек на графическом холсте, чтобы пользователи могли указывать местоположения.

Управление ограничениями и параметрами:

– Включите в интерфейс возможность задания дополнительных ограничений на трассировку пути, таких как минимизация числа изгибов или учет препятствий на пути.

– Добавьте переключатели или флажки для выбора параметров алгоритма, которые пользователь хочет оптимизировать.

Визуализация результата:

– Предоставьте возможность визуализации результатов работы алгоритма непосредственно на графическом интерфейсе.

– Используйте графические элементы, такие как линии или маркеры, чтобы отобразить найденный оптимальный путь или другие характеристики, полученные в результате работы волнового алгоритма.

Для данного проекта создаем файлы для интерфейса, структуры данных и графического интерфейса.

Интерфейс (`mainwindow.h`, `mainwindow.cpp`, `ui_mainwindow.h`):

– Определяет класс `MainWindow`, который представляет главное окно приложения.

– Инициализирует и настраивает элементы пользовательского интерфейса, такие как таблицы и кнопки, используя библиотеку Qt.

Структуры данных (`sell.h`):

– Содержит определение класса `Sell`, который, вероятно, представляет ячейку или элемент таблицы с дополнительными свойствами и методами.

Графический интерфейс (`ui_mainwindow.h`):

– Описывает внешний вид и расположение элементов управления в главном окне приложения.

Каждый из этих компонентов играет важную роль в приложении:

- `MainWindow` – отвечает за основное окно приложения, его структуру и взаимодействие с пользователем. Здесь определены методы обработки событий, инициализации интерфейса и другие функции, связанные с основным окном.

- `Sell` – это класс, представляющий элементы данных, которые могут использоваться в таблице или других структурах. Этот класс, вероятно, содержит методы для работы с данными элемента, такие как получение или установка значений.

- `ui_mainwindow.h` – файл, описывающий вид и расположение элементов интерфейса в главном окне. Этот файл создается автоматически средствами Qt Designer на основе созданного визуального интерфейса. Он содержит информацию о компонентах пользовательского интерфейса, которые используются в `MainWindow`.

Компоненты взаимодействуют между собой для создания полнофункционального приложения с графическим интерфейсом, где пользователь может взаимодействовать с данными и элементами управления через основное окно (`MainWindow`).

На рисунке 1 показаны используемые библиотеки.

```
#include "mainwindow.h"  
#include "ui_mainwindow.h"  
#include "sell.h"  
#include <string>  
#include <iostream>  
#include <QFont>  
#include <QLabel>  
#include <QTimer>  
#include <QMessageBox>  
using namespace std;
```

Рисунок 1 – Используемые библиотеки проекта

Библиотеки и заголовочные файлы, используемые в основном файле Mainwindow.cpp:

- `#include "mainwindow.h"` - Эта строка подключает заголовочный файл `mainwindow.h`. Заголовочные файлы используются для объявления классов, функций и переменных без их фактической реализации. В данном случае, файл `mainwindow.h` содержит объявление класса `MainWindow`, который используется в программе.

- `#include "ui_mainwindow.h"` - Эта строка подключает заголовочный файл `ui_mainwindow.h`. В файле `ui_mainwindow.h` содержится описание пользовательского интерфейса главного окна приложения, сгенерированного с помощью `Qt Designer`. Этот файл обычно автоматически создается при разработке приложения с использованием `Qt`.

- `#include "sell.h"` - Эта строка подключает заголовочный файл `sell.h`, который содержит определение класса `Sell`. Этот класс представляет элемент данных, который использован в таблице или других структурах.

- `#include <string>` - Эта строка подключает стандартную библиотеку `C++` для работы со строками (`std::string`), которая предоставляет функции и классы для работы с текстовыми данными.

- `#include <iostream>` - Эта строка подключает стандартную библиотеку `C++` для ввода-вывода (`iostream`), которая содержит основные классы для потокового ввода и вывода данных.

- `#include <QFont>` - Эта строка подключает заголовочный файл `<QFont>`, который используется для работы с шрифтами в `Qt`.

- `#include <QLabel>` - Эта строка подключает заголовочный файл `<QLabel>`, который предоставляет класс для отображения текста или изображений в Qt.

- `#include <QTimer>` - Эта строка подключает заголовочный файл `<QTimer>`, который используется для работы с таймерами в Qt.

- `#include <QMessageBox>` - Эта строка подключает заголовочный файл `<QMessageBox>`, который предоставляет класс для вывода диалоговых окон сообщений в Qt.

Создание пользовательского интерфейса главного окна приложения («`ui_mainwindow`»).

```
ui->setupUi(this);
// Установка основной таблицы для отображения
результатов вычислений
ui->tableWidget->setColumnCount(10);
ui->tableWidget->setRowCount(10);
ui->tableWidget->setHorizontalHeaderLabels(QStringList()
<< "1" << "2" << "3" << "4" << "5"
<< "6" << "7" << "8" << "9" << "10");
ui->tableWidget->setVerticalHeaderLabels(QStringList()
<< "1" << "2" << "3" << "4" << "5"
<< "6" << "7" << "8" << "9" << "10");
for (int i = 0; i < 10; i++)
{
    ui->tableWidget->setColumnWidth(i, 80);
    ui->tableWidget->setRowHeight(i, 80);
}
```

Инициализация главной таблицы (`ui->tableWidget`).

Инициализация побочной таблицы (`ui->tableWidget_2`) и отладочной таблицы (`ui->tableWidget_3`).

Аналогичные операции выполняются и для побочной таблицы (`ui->tableWidget_2`) и отладочной таблицы (`ui->tableWidget_3`), где также создается таблица размером 10x10 с установленными размерами столбцов и строк.

Назначение виджетов `QLabel` массиву `mass`:

```
mass[0][0] = ui->label_0_0;
mass[0][1] = ui->label_0_1;
```

Этот блок кода инициализирует двумерный массив `mass`, который, по-видимому, предназначен для хранения указателей на виджеты `QLabel`, расположенные в других частях пользовательского интерфейса. Эти `QLabel` виджеты могут быть связаны с метками (надписями) на пользовательском интерфейсе.

Наполнение таблицы `ui->tableWidget_2` и `ui->tableWidget_3` ячейками `QTableWidgetItem`:

```
for (int i=0; i<10; i++)
for (int j=0; j<10; j++)
{
    QTableWidgetItem *tbl = new
QTableWidgetItem(QString("?"));
    tbl->setTextAlignment(Qt::AlignCenter);
    tbl->setFont(font1);
    ui->tableWidget_2->setItem(i, j, tbl);
    QTableWidgetItem *tbl2 = new
QTableWidgetItem(QString(""));
    tbl2->setTextAlignment(Qt::AlignCenter);
    tbl2->setFont(font1);
    ui->tableWidget_3->setItem(i, j, tbl2);
    QTableWidgetItem *tbl3 = new
QTableWidgetItem(QString(""));
    tbl3->setTextAlignment(Qt::AlignCenter);
    tbl3->setFont(font1);
}
```

Этот фрагмент кода создает объект `QTableWidgetItem` для каждой ячейки в таблицах `ui->tableWidget_2`, `ui->tableWidget_3` и `ui->tableWidget`. Для таблицы `ui->tableWidget_2` ячейки инициализируются вопросительным знаком, а для остальных таблиц - пустой строкой. Устанавливаются выравнивание текста и шрифт для каждой ячейки.

Запускаем программу и вводим входные данные (А, В и границы(X)), нажимаем кнопку проверки данных, при правильном вводе, пользователь увидит в таблице слева занесенные данные (рисунки 2,3).

На рисунке 2 показано дискретное рабочее поле. В качестве математической модели монтажного пространства в программе использован ортогональный монтаж. После запуска программы необходимо задать параметры работы алгоритма: указать начальную точку построения трассы А и конечную точку В. Также вводя символы Х в соответствующих местах поля следует обозначить запрещенные для прокладки проводников ячейки рабочего поля. Ввод нужных значений в соответствующие ячейки осуществляется выбором ее левой кнопки мыши и вводом нужного управляющего символа.

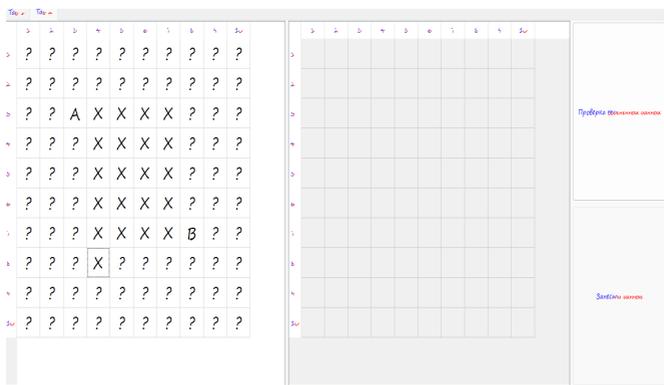


Рисунок 2 – Пример ввода входных данных

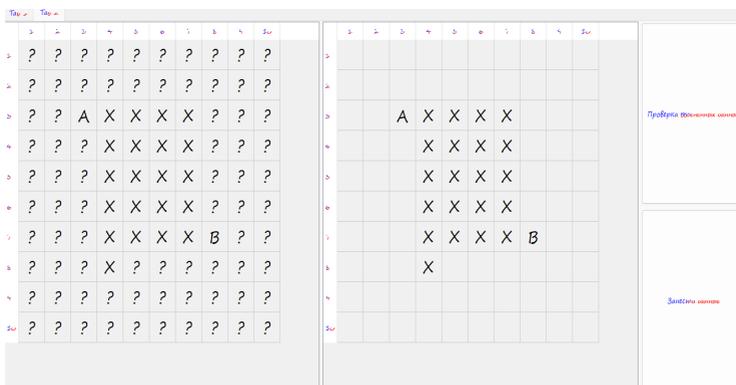


Рисунок 3 – Пример занесения данных

Далее если данные введены верно, нажимаем кнопку занести данные, переключаемся на первую вкладку в левом верхнем углу программного поля (рисунок 4).

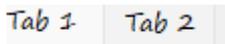


Рисунок 4 – Переключение кнопок

В окне первой вкладки, необходимо нажать кнопку «Результат», чтобы увидеть решение задачи (рисунок 5).

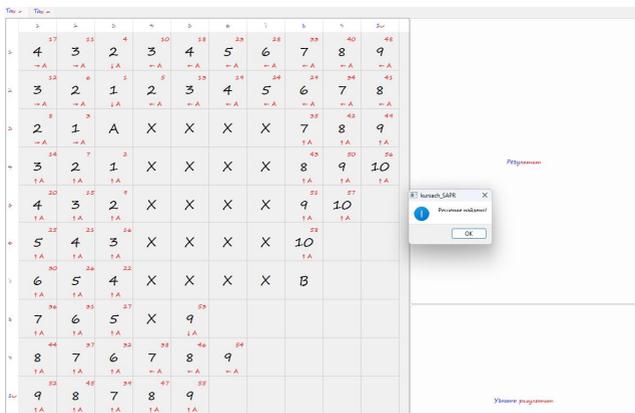


Рисунок 5 – Кнопка «Результат»

Чтобы узнать длину пути от А до Б нажимаем кнопку «Узнать результат» (рисунок 6).

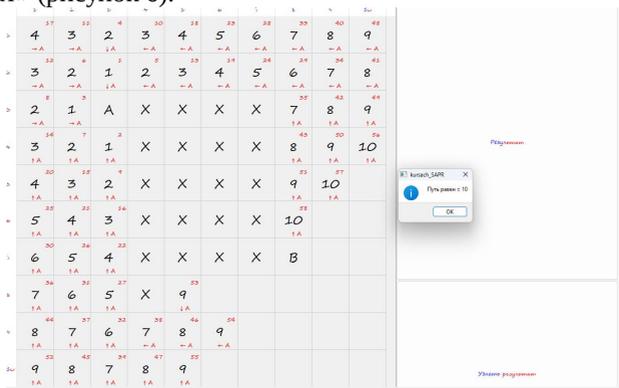


Рисунок 6 – Длина пути

На отрисованной программой сетке показаны как номера шагов алгоритма, так и путевые координаты. Путевые координаты показывают направления распространения волны на каждом фронте. В результате работы программы можно увидеть количество просмотренных ячеек дискретного рабочего поля. Во всплывающем окне показана длина построенного пути от начальной точки А до конечной точки В.

Автором было разработано приложение на языке С++ с использованием инструментария Qt Creator, способное моделировать волновой алгоритм трассировки с минимизацией числа изгибов. Это приложение будет полезным инструментом для исследования и

визуализации оптимальных путей на графах или сетках с учетом ограничений на повороты или изгибы между сегментами пути в различных специфических условиях. Описаны особенности проектирования графического пользовательского интерфейса в среде Qt Creator.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. А.Н. Сапрыкин. «Алгоритмические методы автоматизации конструирования электронных средств» [Текст]. – Рязань: Book Jet, 2021. – 118с.
2. Шлее М. Qt 5.10. Профессиональное программирование на C++. – БХВ-Петербург, 2018. – 1072 с.
3. Васильев А.Н. Программирование на C++ в примерах и задачах. – Эксмо, 2024. – 368 с.

УДК 622.23.05

### **ЧЕРНЕЦОВ Н.И.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ БЛОКА ЗВУКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

*В статье рассматривается процесс разработки конструкции блока звукового зондирования горных пород и его важность в современной горнодобывающей промышленности. Технология звукового зондирования основана на принципе измерения времени задержки отраженного звукового сигнала, что позволяет определить физические свойства горных пород.*

Процесс разработки конструкции блока звукового зондирования начинается с тщательного исследования физических свойств горных пород, которые необходимо оценить. Это включает в себя плотность, проницаемость, структуру и прочность породы, а также такие параметры, как акустическая импедантность и скорость звука в различных типах горных образований. Ученые и инженеры собирают обширные данные об этих свойствах путем проведения лабораторных испытаний, а также наблюдений на местности.

Исследования включают в себя как теоретические расчеты, так и экспериментальные наблюдения. На этапе исследования оцениваются различные методы звукового зондирования, а также их применимость в различных условиях горных работ. Важным аспектом этой фазы является также анализ предыдущих исследований и технологий, чтобы

определить, какие методы были наиболее успешными, а где есть потенциал для улучшения.

Используя эти данные, инженеры и ученые разрабатывают концепцию блока звукового зондирования, который обеспечивает точные и надежные измерения. Это включает в себя проектирование системы передачи и приема звуковых сигналов, выбор подходящих материалов для корпуса блока, разработку алгоритмов обработки данных и интерфейсов управления. Кроме того, инженеры стремятся сделать конструкцию блока компактной, легкой в использовании и устойчивой к агрессивным условиям окружающей среды, характерным для горных работ.

Итак, исследование и разработка конструкции блока звукового зондирования играют решающую роль в создании эффективного и надежного инструмента для анализа горных пород. Этот процесс требует тщательного анализа физических свойств породы, а также инновационного подхода к разработке технических решений.

После разработки концепции следует создание прототипа блока звукового зондирования. Прототипирование является неотъемлемой частью процесса разработки, поскольку оно позволяет инженерам и ученым проверить работоспособность конструкции, ее точность и надежность.

Прототип создается на основе предварительного проектирования и тщательного анализа концепции. В этой фазе инженеры работают над тем, чтобы воплотить идеи в жизнь, используя доступные материалы и технологии. Важно, чтобы прототип был максимально приближен к конечному продукту, чтобы результаты тестирования были максимально репрезентативными.

После создания прототипа следует его тестирование. Тестирование проводится как в контролируемых лабораторных условиях, так и на месте настоящей эксплуатации. В лаборатории проводятся стандартизированные испытания, направленные на проверку различных аспектов работы блока звукового зондирования, таких как точность измерений, скорость обработки данных, и надежность работы в различных условиях.

Однако настоящая проверка происходит в реальных условиях горных работ. Прототип устанавливается на рабочем объекте, где его производительность оценивается в реальном времени. Это позволяет выявить потенциальные проблемы и улучшить конструкцию блока звукового зондирования перед тем, как он будет введен в серийное производство.

Таким образом, прототипирование и тестирование являются ключевыми этапами в разработке конструкции блока звукового зондирования. Эти шаги позволяют убедиться в том, что разрабатываемый продукт соответствует требованиям качества и производительности, что в свою очередь способствует его успешному внедрению на рынок и повышению эффективности горнодобывающих работ.

После тестирования происходит важная фаза оптимизации и улучшения конструкции блока звукового зондирования. На этом этапе основной упор делается на анализ обратной связи от инженеров, специалистов по горным работам и конечных пользователей. Этот обмен информацией позволяет выявить слабые места в конструкции блока и выработать стратегии для их устранения.

Целью оптимизации и улучшения является повышение эффективности и надежности устройства. Это может включать в себя изменения в дизайне, материалах или технологиях производства. Например, на основе обратной связи может быть проведено улучшение алгоритмов обработки данных для более точных результатов зондирования, или внедрение новых материалов для повышения прочности и долговечности блока.

Оптимизация и улучшение конструкции блока звукового зондирования часто является итеративным процессом, который может занимать значительное время и ресурсы. Однако, благодаря этому процессу, возможно достичь значительного улучшения производительности и надежности устройства, что приводит к повышению эффективности горных работ и снижению рисков для персонала.

Важно отметить, что оптимизация и улучшение конструкции блока звукового зондирования должны быть ориентированы на конечные потребности пользователей и требования реальных условий эксплуатации. Только таким образом можно добиться максимальной эффективности и применимости разрабатываемого устройства.

Внедрение звукового зондирования в горнодобывающую промышленность обладает рядом преимуществ, которые делают эту технологию важным инструментом для анализа горных пород и улучшения процессов добычи. Рассмотрим некоторые из основных преимуществ звукового зондирования.

1. Одним из ключевых преимуществ звукового зондирования является его способность к немедленному и неинвазивному измерению физических свойств породы. Благодаря этому, инженеры и геологи могут быстро получить информацию о составе и структуре

горных образований без необходимости внедрения специального оборудования или осуществления сложных процедур.

2. Звуковое зондирование позволяет проводить измерения на больших глубинах и в труднодоступных местах, где другие методы могут быть неэффективны или невозможны. Это делает звуковое зондирование универсальным инструментом для геологических исследований, позволяя получать данные из самых отдаленных и сложных месторождений.

3. Современные методы звукового зондирования обеспечивают высокую точность и надежность измерений. Это позволяет инженерам и геологам получать достоверную информацию о физических свойствах горных пород, что является ключевым для принятия обоснованных решений в процессе добычи полезных ископаемых.

4. Использование звукового зондирования позволяет минимизировать риски при проведении горных работ и повышает безопасность персонала. Благодаря более точному представлению о структуре горных образований, можно избежать непредвиденных ситуаций и предотвратить возможные аварии.

5. Звуковое зондирование позволяет существенно экономить время и ресурсы, которые могли бы быть потрачены на более традиционные методы исследования горных пород.

В целом, звуковое зондирование представляет собой мощный инструмент для исследования геологических формаций и оптимизации процессов горнодобывающей промышленности. Его преимущества делают эту технологию неотъемлемой частью современных горных работ и научных исследований в области геологии и геофизики.

Разработка конструкции блока звукового зондирования горных пород играет ключевую роль в современной горнодобывающей промышленности. Эта технология становится все более востребованной благодаря своей способности предоставлять точные и надежные данные о геологических формациях, что позволяет улучшить безопасность и эффективность горных работ.

Эффективное использование звукового зондирования позволяет оптимизировать процессы добычи полезных ископаемых, уменьшить риски и повысить производительность. Благодаря возможности немедленного и неинвазивного измерения физических свойств породы, инженеры и геологи могут быстро адаптировать свои стратегии и принимать обоснованные решения на основе полученных данных.

Однако, разработка конструкции блока звукового зондирования – это непрерывный процесс. Постоянное совершенствование технологии и улучшение конструкции блока необходимы для того,

чтобы оставаться на передовой горнодобывающей отрасли. Ожидается, что дальнейшие инновации в этой области приведут к еще более точным и эффективным методам зондирования, что в конечном итоге повысит результаты и эффективность работы в горнодобывающей промышленности.

Таким образом, разработка конструкции блока звукового зондирования является ключевым элементом в современной горнодобывающей отрасли. Эта технология не только улучшает безопасность и производительность горных работ, но также способствует оптимизации процессов добычи полезных ископаемых и продвижению индустрии вперед через инновации.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Иванов А.А. Технические аспекты разработки звукового зонда для горнодобывающей промышленности. – Москва: Техногеология, 2021.
2. Петров В.Б. Применение звукового зондирования в геологических исследованиях. – Санкт-Петербург: Геофизика, 2019.
3. Смирнов Г.И. Инновационные методы зондирования горных пород. – Новосибирск: Горный Мир, 2020.
4. Козлов Д.С. Развитие технологий звукового зондирования в горнодобывающей отрасли. – Екатеринбург: УралГео, 2018.
5. Николаев Е.П. Эффективность применения звукового зонда в геологической разведке. – Красноярск: ГеоМайн, 2022.

УДК 004.65

**ШЕЙКИС А.Е.**

Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТРАССИРОВКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

*В статье рассматривается применение генетического алгоритма для автоматической трассировки печатных плат.*

Печатные платы (ПП) являются основой почти всех электронных устройств, от мобильных телефонов до компьютеров и медицинского оборудования. Они обеспечивают механическую поддержку для компонентов и соединяют их электрически. Конечная цель трассировки печатной платы – минимизировать длину путей,

уменьшить перекрестные помехи и обеспечить оптимальное расположение компонентов. Автоматизация трассировки, процесса размещения соединений на ПП, важна для ускорения производства, улучшения точности и снижения вероятности ошибок. Одним из методов автоматизации процесса трассировки ПП является генетический алгоритм.

Генетический алгоритм (ГА) является моделью эволюции, которая моделирует процессы, происходящие в природе, такие как мутация, скрещивание и отбор. Он воспроизводит принципы, лежащие в основе биологической эволюции, но применяется к решению задач оптимизации. ГА использует аналогию с биологическими процессами, такими как генетическое наследование и естественный отбор. Например, в ГА понятие хромосомы представлено в виде кодировки решений, а генетические операторы, такие как кроссовер и мутация, моделируют процессы изменения и разнообразия.

Целью ГА является нахождение оптимальных или приближенных к оптимальным решений задач оптимизации. Он ищет решения в пространстве возможных вариантов, применяя эволюционные операторы для создания и изменения потенциальных решений. Генетический алгоритм работает итеративно, продолжая эволюцию популяции решений через серию поколений. На каждой итерации происходит оценка качества решений, и на основе этой информации происходит создание нового поколения. Алгоритм продолжает свою работу до выполнения условия остановки, которое может быть задано заранее, например, определенным числом поколений или достижением определенного уровня приспособленности.

Генетические алгоритмы применяются для автоматической трассировки печатных плат для оптимизации путей подключения компонентов. Они используют принципы естественного отбора и эволюции, чтобы находить оптимальные решения, учитывая ограничения на размеры и электрические характеристики. Генетические алгоритмы могут эффективно находить оптимальные или приближенные решения в сложных пространствах поиска, что делает их полезными инструментами в проектировании печатных плат.

Основные различия генетических алгоритмов от других методов оптимизации и поиска включают в себя следующее:

1. ГА выбирают промежуточные решения из случайного набора и оптимизируют их по заданным критериям, улучшая их свойства.

2. Решение задачи представляет собой закодированную структуру, а не набор параметров, что может ускорить процесс оптимизации.

3. Для оценки пригодности решения используются правила выживания, что способствует разнообразию решений.

4. В ГА широко используются вероятностные и случайностные методы при генерации, преобразовании и обработке решений, что предотвращает образование однотипных решений.

Основные этапы простого генетического алгоритма заключаются в следующем:

1. Генерация начальной популяции. Существуют различные стратегии, такие как полный охват всевозможных решений (стратегия «одеяла»), фокусировка на разновидностях одного решения (стратегия «фокусировки») и генерация случайного, но не исчерпывающего всех возможных вариантов множества решений (стратегия «дробовика»).

2. Случайный выбор родительских особей.

3. Копирование родительских хромосом для применения генетических операторов.

4. Применение оператора кроссинговера с определенной вероятностью.

5. Применение оператора мутации с определенной вероятностью.

6. Отбор и удаление хромосом для восстановления первоначального размера популяции.

7. Повторение шагов 2-6 до достижения заданного числа поколений или выполнения дополнительных условий.

8. Вывод индивида с наилучшим значением целевой функции.

Критерием выбора и оценки решений служит целевая функция, зависящая от нескольких переменных. Такими переменными, применительно к САПР, могут быть: суммарная длина трасс, количество переходных отверстий и т.д.

Волновая процедура в генетическом алгоритме применяется на этапах формирования начальной популяции и создания новых решений после применения генетических операторов. Этот метод трассировки является уникальным и позволяет построить путь между двумя точками в лабиринте, если такой путь возможен. Он хорошо сочетается с особенностями печатных плат, особенно в однослойных платах с нерегулярным размещением компонентов. Однако у него есть недостатки, такие как образование длинных параллельных проводников, вызывающих взаимоиндуктивность, и низкая

производительность на больших платах с множеством проводников и контактных площадок.

В процессе этого метода все ячейки монтажного поля разделяются на занятые и свободные. Занятые ячейки содержат проводники или монтажные выводы элементов, а также границы платы и запрещенные участки. При проведении новой трассы можно использовать только свободные ячейки, и их количество уменьшается по мере продвижения. Моделируется волна, распространяющаяся от источника к приемнику через свободные ячейки. Вес каждой ячейки фронта волны оценивается с учетом качества проведения пути. Процесс распространения волны продолжается до достижения приемника или исчерпания свободных ячеек. Если волна достигает приемника, то проводится путь от приемника к источнику через ячейки с уменьшающимися значениями веса. Условия для проведения пути задаются в правилах приписывания веса ячейкам.

10	11	10	9	8	7	8	9	10	11	
9	B	9	10			6	7	8	9	10
8		8	9			5	6	7	8	9
7	6	7	8			4	5	6	7	8
	5	6		2	3	4		6	7	
5	4		2	1	2	3		5	6	
4	3	2	1	A	1	2	3	4	5	
5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	
6	5	4	3	2	3	4	5	6	7	

Рисунок 1 – Пример распространённой волны

Генетические алгоритмы представляют собой мощный инструмент для автоматизации процесса трассировки печатных плат. Они обеспечивают эффективное решение сложной задачи путем применения принципов естественного отбора и эволюции. Генетический алгоритм позволяет находить оптимальные маршруты соединений, учитывая ограничения и требования к печатной плате. Благодаря своей способности к самообучению и адаптации, он значительно ускоряет и упрощает процесс разработки электронных устройств, делая его более эффективным и экономически выгодным.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иванова Н.Ю. Технология проектирования печатных плат в САПР P-CAD-2006: учебное пособие / Иванова Н.Ю., Петров А.С., Поляков В.И., Романова Е.Б. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 168 с.

2. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. – Таганрог: изд-во ТРТУ, 1998. – 242 с.

3. Курейчик В.М., Родзин С.И. Эволюционные алгоритмы: генетическое программирование. Обзор. // Известия РАН. ТиСУ. 2002. №1. С. 127–137.

4. Пичутин А.В., Горелик А.А., Непомнящих А.В. Алгоритм размещения соединений в многослойных печатных платах // Вестник Удмуртского университета. Серия 1: Математика. Механика. Компьютерные науки. – 2015. – № 25(2). – С. 243-255

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ ЭС

Межвузовский сборник научных трудов

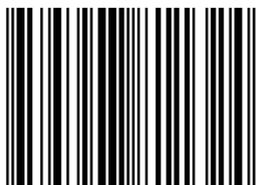
Компьютерная верстка: А.Н. Сапрыкин, М.С. Кошелева  
Изображение, используемое на обложке сборника,  
взято с сайта freerik.com

Подписано в печать 02.05.24. Формат бумаги 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать струйная. Усл. печ. л. 17.  
Тираж 100 экз. Заказ № 7116.

Издательство ИП Коняхин А.В. (Book Jet)

Отпечатано в типографии Book Jet  
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, д. 18  
Сайт: <http://bookjet.ru>  
Почта: [info@bookjet.ru](mailto:info@bookjet.ru)  
тел.: +7 (4912) 466-151

ISBN 978-5-907811-32-4



9 785907 811324 >

