



НАУЧНЫЙ
ФОРУМ
nauchforum.ru



№ 4(5)

НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

МОСКВА, 2017



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам V международной заочной
научно-практической конференции*

№ 4 (5)
Май 2017 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2017

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

Председатель редколлегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

Копылов Алексей Филиппович – канд. тех. наук, доц. кафедры радиотехники Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета, Россия, г. Красноярск;

Маршалов Олег Викторович – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

Н34 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам V междунар. заочной науч.-практ. конф. – № 4 (5). – М.: Изд. «МЦНО», 2017. – 60 с.

ISSN 2541-8394

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2017

Оглавление	
Технические науки	5
Раздел 1. Технические науки	5
1.1. Информатика, вычислительная техника и управление	5
РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ВЕБ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНОЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАРТЫ Алексеев Дмитрий Николаевич	5
1.2. Машиностроение и машиноведение	11
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА Масюк Владимир Михайлович Каниболоцкий Семен Семенович	11
1.3. Приборостроение, метрология и информационно–измерительные приборы и системы	18
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЧ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ С РАЗЛИЧНОГО РОДА ВКЛЮЧЕНИЯМИ Петухова Наталья Александровна	18
1.4. Химическая технология	35
ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИМИ ГРУППАМИ Пасько Татьяна Владимировна Бесперстов Игорь Валерьевич Дубовицкий Виктор Сергеевич Пасько Анастасия Александровна	35
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ РЕЗЬБОВЫХ СМАЗОК Фатхутдинов Тагир Занфирович Ягудин Марат Азатович Галикеев Денислам Рафисович	43

1.5. Энергетика	50
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПЕРЕДВИЖНЫХ ДИЗЕЛЬ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	50
Анисимов Владимир Фёдорович Новиков Алексей Алексеевич	
Раздел 2. Математика	54
2.1. Дискретная математика и математическая кибернетика	54
ОПТИМАЛЬНЫЕ СЛОВАРНЫЕ РАСКРАСКИ ВЗВЕШЕННЫХ ГРАФОВ	54
Смирнова Татьяна Геннадьевна	

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ВЕБ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНОЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАРТЫ

Алексеев Дмитрий Николаевич

*аспирант, Южно-Российский государственный политехнический
университет им. М.И. Платова,
РФ, г. Новочеркасск*

DEVELOPING THE ARCHITECTURE OF THE WEB APPLICATION TO RECOGNIZE HANDWRITING MIND MAP

Dmitry Alekseev

*post-graduate student,
South - Russian state Polytechnic University.M.I. Platov,
Russia, Novocherkassk*

Аннотация. В статье рассматривается разработка общей архитектуры веб приложения для распознавания рукописных интеллект карт в рамках выполнения НИОКР по теме: «Разработка и внедрение алгоритмов распознавания образов интеллект карт с преобразованием их в текстовый формат». Данная архитектура состоит из клиентского веб-интерфейса, взаимодействующего с уровнем моделей данных.

Abstract. The article discusses the development of the overall architecture of the web application to recognize handwriting, mind maps in the framework of R&d on the topic: “Development and implementation of algorithms for pattern recognition mind maps and convert them to text format”. This architecture consists of a client web interface that interacts with the level of data models.

Ключевые слова: распознавание образов; интеллект карты; систематизация информации; архитектура веб приложений.

Keywords: pattern recognition; mind maps; systematization of information; web application architecture.

В настоящее время наблюдается рост популярности использования интеллект карт, инструменты автоматизации процесса создания интеллект карты, пользуются всё большим спросом. Активно осуществляется разработка приложений для персональных компьютеров и смартфонов, также растет качество камер, и развивается такое направление в информационных технологиях, как машинное зрение. Поэтому для сложившегося рынка, актуально разработать алгоритмы распознавания образов интеллект карт с изображений и предоставить пользователем возможность конвертировать, создаваемые ими рукописные интеллект карты в электронный формат.

Общая архитектура веб-приложения распознавания интеллект-карт MindVision, реализуется исходя из технологии «клиент-сервер» т.е. состоит из клиентской и серверной частей. Клиентская часть, в свою очередь реализует пользовательский интерфейс, формируя запросы к серверу и обрабатывает ответы от него. Серверная часть получает запрос от клиента, выполняет вычисления, после этого формирует веб-страницу и отправляет её клиенту по сети с использованием веб – протокола HTTP.

Разработанное веб-приложение, представляет сложное техническое решение, многофункциональный веб-сервис, позволяющий распознавать интеллект карты с графических изображений или фотографий пользователей с последующим редактированием полученной структуры. Процесс распознавания может осуществляться, на различных языках.

Для программной реализации веб-приложения данного уровня сложности, в рамках технологии «клиент-сервер», изначально была выбрана микросервисная архитектура, которая представляет систему, где каждый бизнес-компонент представляет собой микросервис. Такое

решение, более подходящее для масштабирования функциональных возможностей сервиса и обеспечивает простоту его развития в соответствии с потребностями бизнеса. Основной модуль распознавания обладает базой данных, в которой хранятся электронные структуры интеллект карт пользователей и их авторизационные данные, которые защищены при передачи протоколами шифрования. Обмен данными между микросервисами осуществляется через API интерфейс компонентов. Такая архитектура в настоящее время становится стандартом для непрерывно развивающихся систем. Она позволяет изолировать наборы бизнес-логики в отдельные микросервисы, что представляет разделение функциональных модулей, реализующих сервисы презентации интеллект карт, создания карт из текстового описания и инструмента планирования.

Таким образом части пользовательского интерфейса, в архитектуре сервиса mindvision разделены и сохраняют взаимосвязь между собой. Это позволяет наладить внутривзаимодействие между клиентской и серверной частью.

Рассмотрим архитектуру разработанного веб приложения на рисунке 1.

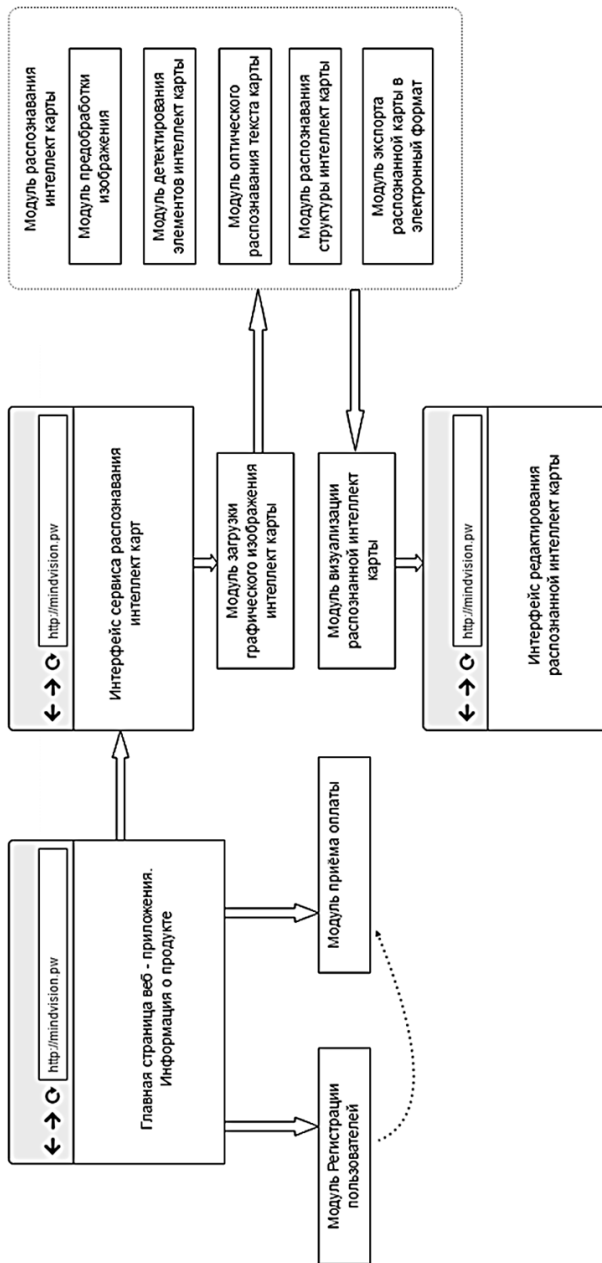


Рисунок 1. Архитектура веб-приложения распознавания интеллекта карт

Веб приложение состоит из набора клиентских интерфейсов и серверных модулей, реализующих компоненты его бизнес логики.

Интерфейс главной страницы, предоставляет информацию о продукте, его возможностях, и содержит ценностные предложения для различных сегментов целевой аудитории. Данный интерфейс позволяет зарегистрироваться новым пользователям, чтобы попробовать возможности распознавания интеллект карт и перейти к оплате премиум подписки на сервис, предоставляющей расширенные функциональные возможности.

Бизнес логика регистрации и авторизации пользователей находится, в соответствующем модуле. Логика интеграции с платёжным агрегатором для реализации системы оплаты за премиум подписку находится в модуле приёма оплаты.

С главной страницы пользователь попадает в интерфейс сервиса распознавания интеллект карт, где посредством взаимодействия с ним пользователь передаёт в модуль загрузки изображения, графический образ нарисованной им рукописной интеллект карты, для последующего распознавания. Данный модуль отправляет изображение на сервер, где непосредственно осуществляется процесс распознавания.

Модуль распознавания интеллект карты включает взаимосвязанные компоненты, имеющие модульное представление и реализующие элементы бизнес логики и разработанные программные алгоритмы:

1. Алгоритмы предобработки изображений для последующего распознавания, включающие в себя: устранение шума, выравнивание яркости, контраста, выделение и удаление теней, вычитание фона.
2. Алгоритмы детектирования ассоциативного текста на графическом образе интеллект карты, методы детектирования ветвей интеллект карты (прямых линий) и центральной идеи (овалов).
3. Алгоритмы реализующие оптическое распознавание детектированного текста по средствам базовой библиотеки tesseract OCR и языковых наборов обученных данных.
4. Алгоритм составления иерархии распознанных элементов и увязывание их в единую структуру интеллект карты.
5. Экспорт распознанной интеллект карты в электронный формат.

После окончания работы модуль распознавания, передаёт электронную интеллект карту в формате json в модуль визуализации, который реализует графическую раскладку графа в векторном формате svg и позволяет применять различные варианты визуальных стилистик. Данный модуль после осуществлённых вычислений

осуществляет визуализацию в интерфейсе редактирования интеллектуальной карты, который, в свою очередь, представляет собой отдельный полноценный редактор интеллектуальной карты, дающий пользователю возможность далее работать с распознанной интеллектуальной картой, после чего сохранять её в различные форматы и обмениваться с другими людьми.

Серверные модули реализованы на языке программирования C#, платформа Microsoft .NET Framework 4.6. Модуль оптического распознавания интеллектуальной карты разработан на основе библиотеки компьютерного зрения OpenCv 3.1 и соответствующей оболочки EmguCv. Клиентская логика и веб-интерфейсы реализованы на языке JavaScript и Framework AngularJS 1.6.2. –являющийся фреймворком с открытым исходным кодом, расширяющий браузерные возможности приложения на основе MVC-шаблона. В результате AngularJS уменьшает роль DOM-манипуляций и улучшает тестируемость приложения. Алгоритмы визуализации и раскладки графов созданы с использованием открытой библиотеки d3.js, реализующие широкие возможности работы с векторной графикой в рамках веб-приложений.

Данные работы осуществлены в рамках выполнения НИОКР по программе «СТАРТ» и позволили подготовить, для выхода на рынок инструментов для создания интеллектуальных карт, новый интернет-сервис направленный на обеспечение инновационного развития в области систематизации информации.

Список литературы:

1. Билл Скотт, Тереза Нейл. Проектирование веб-интерфейсов. Символ-Плюс. 2010. 352.
2. Интеллектуальные карты для бизнеса: Тони Бьюзен при участии Криса Гриффитса — Санкт-Петербург, Попурри, 2011 г.
3. Л. Шкляр Р. Розен. Архитектура веб-приложений. Эксмо, 2010.
4. Обнаружение, распознавание и определение параметров образов объектов. Методы и алгоритмы. Александр Коренной. 2012
5. Valeri Karpov, Diego Netto. Professional AngularJS. John Wiley & Sons, Indianapolis 2015.

1.2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА

Масюк Владимир Михайлович

*канд. физ.-мат. наук, доц.,
Московский государственный университет им. Н.Э. Баумана,
Калужский филиал,
РФ, г.Калуга*

Каниболоцкий Семен Семенович

*студент кафедры «Мехатроники и робототехники»,
Московский государственный университет им. Н.Э. Баумана,
Калужский филиал,
РФ, г.Калуга*

DESIGN OF THE ELECTRONIC PART OF THE ROBOTIC MANIPULATOR ELEMENT STABILIZATION SYSTEM

Vladimir Masyuk

*phD, assistant professor, Department of Mechatronics and Robotics,
Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch,
Russia, Kaluga*

Semen Kanibolotskiy

*student, Department of Mechatronics and Robotics,
Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch,
Russia, Kaluga*

Аннотация. Поставлена проблема разработки электронной системы управления звеном робота манипулятора. Используется микроконтроллер Atmega. Проектируется Н-мост с широким диапазоном изменения скважности. Поученная система является часть экспериментального стенда по исследованию динамики робототехнического звена.

Abstract. The problem of developing an electronic control system for the unit of the robot manipulator is posed. The microcontroller Atmega is used. The H-bridge with a wide range of change in the duty cycle is being designed. The designed system is part of an experimental stand for studying the dynamics of the robotic unit.

Ключевые слова: робототехника, H-мост, электронная схема управления, робототехнический модуль.

Keywords: Robotics, H-bridge, electronic control circuit, robotic module.

Системой динамической стабилизации на основе робототехнического манипулятора с вращательной кинематической парой (Сервопривод) обобщенно называют привод, который имеет отрицательную обратную связь по моменту, положению и другим параметрам. Данные приводы широко используются в промышленности, поскольку удовлетворяют основным требованиям: точное управление параметрами движения, такими как скорость момент, угол поворота, линейное позиционирование. Сервопривод является сложной технической системой и разработка, и проектирование таких систем включает в себя следующие этапы: обработка данных с энкодера (датчика обратной связи), разработка микроконтроллерной системы управления, разработка силовых электронных ключей управления приводами, согласование энергетических характеристик, а также попутно решаются частные задачи, которые возникают на этапах разработки [4]. Сейчас, в основном, используются сервоприводы на основе бесколлекторных двигателей постоянного тока, как обладающие лучшим набором технических параметров, но в макетных или экспериментальных разработках используются редко по причине высокой стоимости системы и сложности обеспечения управления по углу поворота.

В данной работе рассмотрены некоторые вопросы проектирования робототехнического манипулятора с одной вращательной кинематической парой. Кинематическая схема представлена на рис.1.

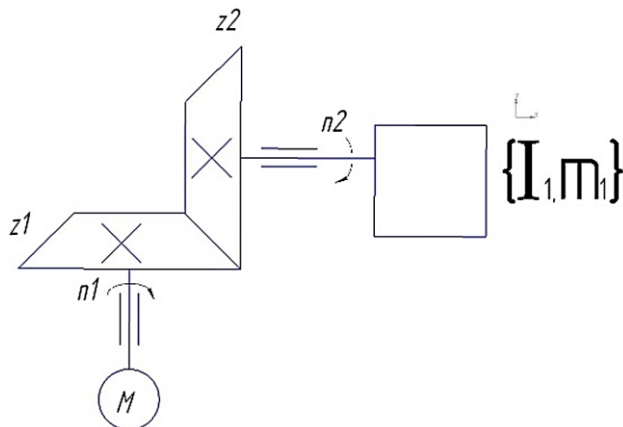


Рисунок 1. Кинематическая схема проектируемого устройства

Следующим этапом исследования является проектирование системы обработки информации, поступающего с абсолютного энкодера. Были поставлены следующие задачи: произвести анализ требуемой разрядности датчика, оценить необходимое быстродействие микроконтроллера (МК) для обработки информации, спроектировать схему согласования уровней напряжений датчика и МК [5–8].

Исходя из задачи проектирования элемента робототехнического звена в виде поворотного элемента с допустимыми линейными скоростями не выше 1 м/с и точностью позиционирования в угловых координатах не хуже 1° в качестве абсолютного энкодера был выбран прибор Коуо TRD-NA1024NW с разрешением 10 бит [3]. Угловое разрешение системы:

$$\Delta = \frac{360^\circ}{1024} \approx 0,35^\circ \quad (1)$$

Допустимые угловые скорости энкодера – 3000 об/мин, что при плече манипулятора до 1 м полностью удовлетворяет заданию.

Основные характеристики энкодера: разрешающая способность: $N=10$ бит, потребляемый ток: менее 70 мА; напряжение питания: от 10.8 до 26.4 В; максимальная частота отклика: 20 кГц; остаточное напряжение 0.4–1.5 В.

Таким образом, следующим шагом является выбор обрабатывающего контроллера. Оценим требования к нему: скорость обработки информации с датчика не хуже чем

$$I \geq 1c^{-1} \cdot 1024 = 1024 \frac{bit}{c}. \quad (2)$$

Быстродействие контроллера для операций управления приводом: не хуже, чем время реакции системы на поворот привода на единицу измерения. Энкодер установлен на выходном тихоходном валу мотор-редуктора. Т.е., при повороте системы на величину $\Delta = 0,35^\circ$ и с учетом коэффициента передачи редуктора $\eta = 1:3$ при разрядности счетчика 8bit имеем необходимую минимальную граничную частоту работы МК:

$$f \geq \left(1 / \frac{1}{1024} \frac{1}{3}\right) 256 = 786432 \text{Гц}. \quad (3)$$

Далее нужно учитывать, что за данный такт времени МК должен успеть произвести расчет алгоритма управления. Исходя из опыта исследования работы подобных систем, частота работы МК должна быть по меньшей мере в 2-5 раз больше минимальной (в случае простейших алгоритмов управления), чтобы обеспечить запас производительности для расчетов, учета прерываний и др. Учитывая данные оценки, рабочая частота контроллера должна лежать в пределах 2–10 МГц. Анализ технического задания показал, что для проекта целесообразно использовать контроллер на основе ATmega 2560 для предварительной отладки системы управления (рабочая частота 16 МГц) и, для окончательного проекта, позволяющего обрабатывать сложные сценарии управления контроллер на основе STM32 (тактовые частоты 84–100 МГц) [1].

В рамках данной работы исследуются характеристики абсолютного энкодера Коуо TRD-NA1024NW, способ подключения энкодера к микроконтроллеру и считывания с него данных. Были поставлены текущие задачи исследования: исследование характеристик энкодера Коуо TRD-NA1024NW, разработка электронной схемы для подключения энкодера Коуо TRD-NA1024NW к микроконтроллеру с помощью отдельной платы.

При работе энкодер выдает данные в виде кода Грея, а поскольку информация, выраженная в Грей-коде, имеет кодированный характер,

не несущей реальной числовой информации, перед дальнейшей обработкой данные должны быть сперва преобразованы в стандартный бинарный код. Осуществляется это при помощи преобразователя кода (декодера Грей-Бинар), который к легко реализуется с помощью цепочки из логических элементов XOR как программным, так и аппаратным способом. На данном этапе разработки воспользуемся программным методом с помощью микроконтроллера.

Рассмотрим проектирование схемы согласования и подключение к ПК и к пакету Matlab [2]. Изначально рассматривалось промышленное применение робототехнического устройства, поэтому необходимым условием является полная гальваническая развязка по питанию. Заодно проектируемая схема должна обеспечить согласование уровней питания энкодера (12В) и МК (5В). Электрическая принципиальная схема для одного канала приведена на рис. 2.

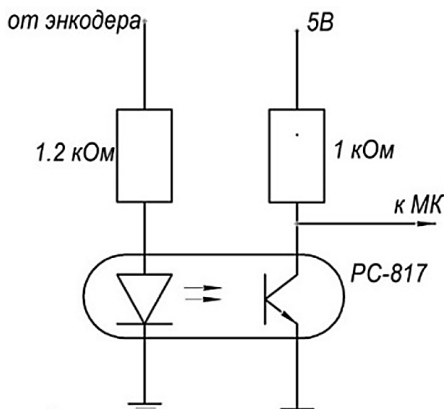


Рисунок 2. Преобразователь уровня сигнала с опторазвязкой

Для разработки электрической принципиальной схемы была использована программа fritzing, которая позволяет быстро построить принципиальную схему устройства, создать ее представление в виде соединения макетов элементов, разработать печатную плату для ее дальнейшего изготовления и импортировать схему в какие-либо другие программные обеспечения для продолжения работы с ней. Следующий этап работы – проектирование мощной ключевой схемы управления приводом на основе Н-моста. Требование: обеспечить гальваническую развязку по входу и по управлению ключами и смоделировать работу системы при релейном управлении при $f=0$.

В результате была разработана схема управления приводом на основе H-моста (рис. 3). Особенностью данной схемы является возможность работы при коэффициентах заполнения ШИМ $\gamma = 0..100\%$, что недостижимо при типовой схеме включения ИМС IR2110 с бустрепным питанием. Такой результат достигается использованием независимых источников питания для каждого из ключей. Практические испытания показали работоспособность схемы без радиаторов на силовых транзисторах при токах до 10 А и частоте ШИМ до 10 кГц.

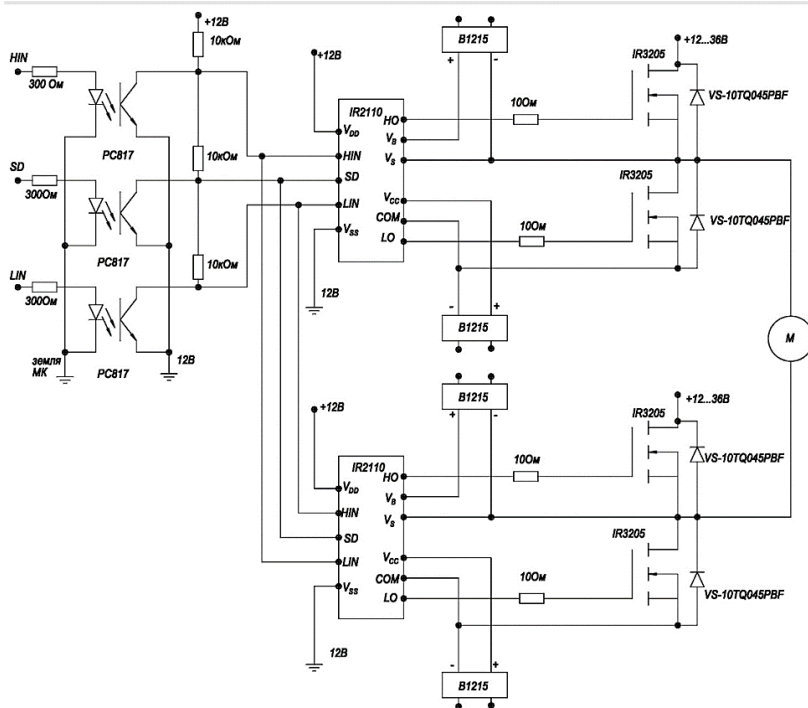


Рисунок 3. H-мост управления приводом

Выводы. Получены результаты 3D моделирования, произведена трансляция модели в SimMechanics, получены результаты натурных испытаний электропривода и построена его упрощенная математическая модель. На данном этапе исследований также были решены следующие задачи: исследованы возможности абсолютных энкодеров,

исследованы характеристики энкодера Коуо TRD-NA1024NW, исследованы способы преобразования кода Грея в двоичный код и разработан программный код для платформы Arduino, разработана схема подключения энкодера Коуо TRD-NA1024NW к микроконтроллеру, разработана мощная ключевая схема управления приводом на основе H-моста. В ходе исследования была показана возможность применения комбинированного электропривода, включающего: угловой редуктор в задачах робототехники. Разработанная математическая модель может быть использована для проектирования различного рода робототехнических устройств, особенностью которых являются: высокие нагрузки, скорость, точность выполнения движений. В рамках исследования была установлена область параметров системы необходимая для составления корректного технического задания и выбора необходимых компонент.

Список литературы:

1. Елисеев Н. Embedded World-2014 – встраиваемые системы в полном объеме. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2014 г., № 3.
2. Лазарев Ю.Ф. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2005. – 512 с.: ил.
3. Принцип работы абсолютного энкодера – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.megasensor.com/ugol-povorota/glossarij/absolyutnyye-enskodery/princip-raboty-absolyutnogo-enskodera> (Дата обращения 10.10.2016).
4. Шандаров Е.С. Основы мехатроники и робототехники. Пособие по практическим занятиям – [Электронный ресурс]: Учебные пособия – Электрон. дан. – М.: ТУСУР, 2012. – 17 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/11262> (Дата обращения: 3.04.2017).
5. Jones D.L. PCB design tutorial // June 29th. – 2004 – [Электронный ресурс] – URL: <http://bbs.hwrf.com.cn> (Дата обращения: 10.10.2016).
6. Igoe T. Making things talk: Practical methods for connecting physical objects. – O'Reilly Media, Inc., 2007.
7. Oxe J., Blemings H. Practical Arduino: cool projects for open source hardware. – Apress, 2011.
8. Starting a new project – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://fritzing.org/building-circuit/> (Дата обращения: 10.10.2016).

1.3. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО–ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЧ-ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ С РАЗЛИЧНОГО РОДА ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Петухова Наталья Александровна

магистр, аспирант,

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский
университет информационных технологий, механики и оптики,
РФ, г. Санкт-Петербурге*

ELECTRODYNAMIC PROPERTIES OF MICROWAVE PHOTONIC CRYSTALS FROM VARIOUS GENUS INCLUSIONS

Natalia Petukhova

master, PhD student,

*St. Petersburg National Research University
of Information Technologies, Mechanics and Optics,
Russia, St. Petersburg*

Аннотация. В статье работы проведён аналитический обзор литературных источников об исследованиях особенностей взаимодействия электромагнитного излучения сверхвысокочастотного диапазона с микрополосковыми фотонными кристаллами. Также показана возможность использования данных методик для измерения параметров жидких диэлектриков.

Abstract. An analytical review of the literature on the investigation of the features of the interaction of electromagnetic radiation of the microwave range with microstrip photonic crystals is carried out in the article. The possibility of using these techniques for measuring the parameters of liquid dielectrics is also shown.

Ключевые слова: СВЧ; микрополосковый; фотонные кристаллы; Брэгговские структуры; метаматериалы; диэлектрическая проницаемость; диэлектрик.

Keywords: microwave; microstrip; photonic crystals; Bragg structures; metamaterials; dielectric constant; dielectric.

В последнее время растет интерес к исследованиям нового класса периодических структур, называемых «фотонными кристаллами». Эти структуры состоят из периодически расположенных составляющих, размеры которых сравнимы с длиной волны распространяющегося в них электромагнитного излучения. В спектре пропускания такой структуры имеется частотная область, запрещенная для распространения электромагнитной волны – аналог запрещенной зоны в кристаллах. При наличии нарушений в периодичности слоистой структуры в запрещенной зоне фотонного кристалла могут возникать узкие «окна» прозрачности. В СВЧ-диапазоне одномерный фотонный кристалл может быть реализован как с помощью волноводов с диэлектрическим заполнением [6; 9; 7], так и планарных линий передачи с периодически изменяющейся структурой [10; 8].

Использование открытых СВЧ-линий передачи позволяет сочетать достаточно высокую чувствительность СВЧ-методов измерений с технологичностью изготовления структур и оправок для измерения и отсутствием жестких требований на размеры образцов. К недостаткам измерительных систем на открытых линиях передачи можно отнести наличие потерь на излучение на открытых концах передающих линий, неоднородностях, например, связанных с необходимостью использования коаксиально-микрополосковых переходов, трудности в проведении локальных измерений.

Среди различных типов планарных схем микрополосковые являются наиболее часто используемыми в СВЧ-электронике. Микрополосковые схемы достаточно широко используются при реализации СВЧ-методов измерения параметров материалов, в частности, материалов подложек СВЧ-схем.

В связи с высокой чувствительностью частотной зависимости «окон» прозрачности в запрещенной зоне фотонного кристалла к параметрам нарушения периодичности, перспективным представляется использование микрополосковых фотонных кристаллов для определения параметров материалов в СВЧ-диапазоне.

СВЧ-устройства, которые можно обобщить определением структуры с периодическими неоднородностями, широко известны в теории и технике направляющих и излучающих систем. Подобные устройства, принцип действия которых основан на взаимодействии

прямых и многократно отраженных от неоднородностей электромагнитных волн, нашли применение при создании фильтрующих схем, формирователей и преобразователей радиочастотных сигналов.

Наблюдающаяся на современном этапе научно-технического развития тенденция трансферта оптических и радиочастотных технологий обусловила повышенный интерес к этим устройствам как аналогам оптических фотонных кристаллов, Брэгговских структур и метаматериалов. Исследование свойств таких устройств в одном диапазоне электромагнитных колебаний может помочь открыть новые качества и явления в другом диапазоне.

Одним из направлений обмена технологий являются сенсорные приложения. Примером может служить волоконно-оптическая решетка Брэгга, широко используемая в измерительной технике, аналогом которой в радиодиапазоне можно назвать коаксиальный волновод с продольными периодическими неоднородностями [8].

В работе [5] описана предложенная её авторами методика измерения диэлектрической проницаемости материалов при использовании одномерных периодических структур миллиметрового диапазона длин волн. Для этого предлагается использовать волновод, содержащий чередующиеся диэлектрические вкладыши с двумя различными значениями диэлектрической проницаемости. Структура рассматривается, как СВЧ-аналог одномерного распределенного диэлектрического зеркала, (брэгговского отражателя), образованного чередованием слоев с различными показателями преломления и характерными толщинами, удовлетворяющими резонансному условию Брэгга [1]. В спектре пропускания такой микроструктуры появляется частотная область, запрещенная для распространения электромагнитной волны – фотонная запрещенная зона. Локальное изменение любого параметра такой структуры, например, периода чередования слоев или диэлектрической проницаемости одного из слоев, приводит к образованию дефекта в строгой пространственной периодичности структуры и позволяет получить узкий пик пропускания в области запрещенной зоны.

В [5] предлагается использовать фазочувствительные свойства пика пропускания для определения диэлектрической проницаемости различных образцов материалов СВЧ диапазона, которые выполняют роль нарушения пространственной периодичности.

Важным выводом, который и доказывает возможность прикладного использования данной методики для измерения диэлектрической проницаемости материалов, является монотонная, зависимость изменения резонансной частоты пика пропускания (см. рис. 1) от величины ε_{DEF} .

Таким образом, имея калибровочную кривую $f_{RES}(\epsilon_{DEF})$ подобную изображенной на рис. 2, определенную для нескольких известных (калиброванных) значений ϵ_{DEF} , можно определить диэлектрическую проницаемость неизвестного материала, зная положение его пика пропускания на АЧХ периодической структуры.

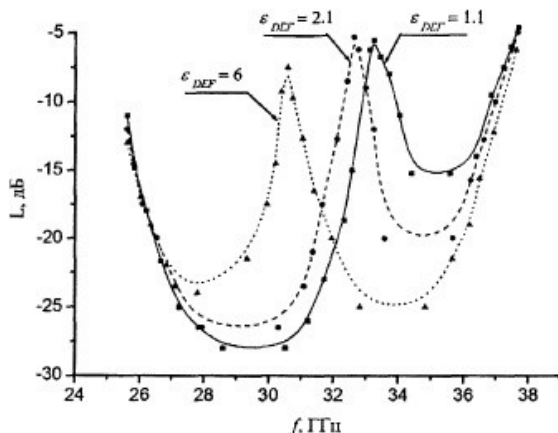


Рисунок 1. Характерная АЧХ брэгговской структуры с дефектом

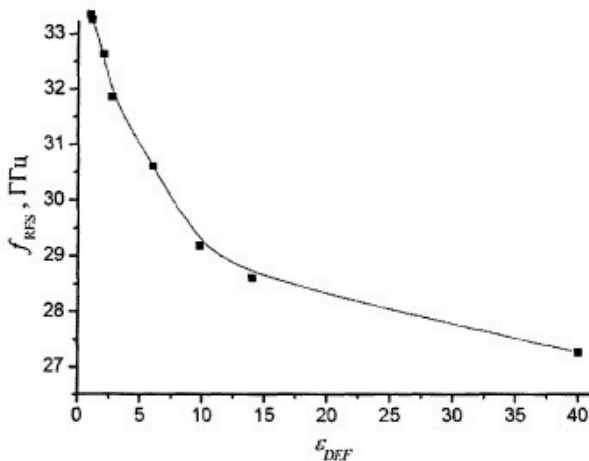


Рисунок 2. Изменение спектрального положения пика пропускания АЧХ брэгговской структуры от величины ϵ_{DEF}

Авторы [5], однако, рассматривали лишь материалы с малыми потерями на СВЧ и потому измеряли только действительную часть комплексной диэлектрической проницаемости. К тому же предложенный ими метод является чисто калибровочным, что приводит к снижению гарантированной точности измерений. К недостаткам этого метода также можно отнести трудность его применения для измерения параметров жидкостей вследствие необходимости решать проблему обеспечения герметичности. Кроме того, использование волноводных систем затрудняет возможность измерений параметров материалов в условиях воздействия на нее внешних электромагнитных полей, так как для измерения используется закрытая волноводная система, представляющая своего рода экранирующую систему.

В работе [3] приведены результаты исследований характеристик запрещенной зоны волноводной брэгговской структуры, которая является аналогом одномерного фотонного кристалла в оптике. Показана возможность управления этими характеристиками при изменении периода подобной структуры. Предлагалось использовать брэгговские структуры в качестве режекторных волноводных фильтров миллиметрового, субмиллиметрового и терагерцового диапазонов с различными частотными характеристиками.

Рассматривались периодические структуры, представляющие собой чередующиеся слои диэлектриков: пенопласта с $\epsilon_1 = 1,1$ и поликора (Al_2O_3) с $\epsilon_2 = 9,8$. Исследуемые структуры заполняли прямоугольный волновод сечением $7,2 \times 3,4$ мм. Исследовались параметры запрещенной зоны при изменении периода l диэлектрической структуры, причем изменение периода структуры происходило за счет изменения толщины пенопласта, при этом толщина второго диэлектрика (поликора) оставалась постоянной. При таком увеличении периода структуры авторы [3] наблюдали уменьшение ширины запрещенной зоны, и смещение ее центральной частоты в область меньших частот, как это видно из графиков, приведенных на рис. 3.

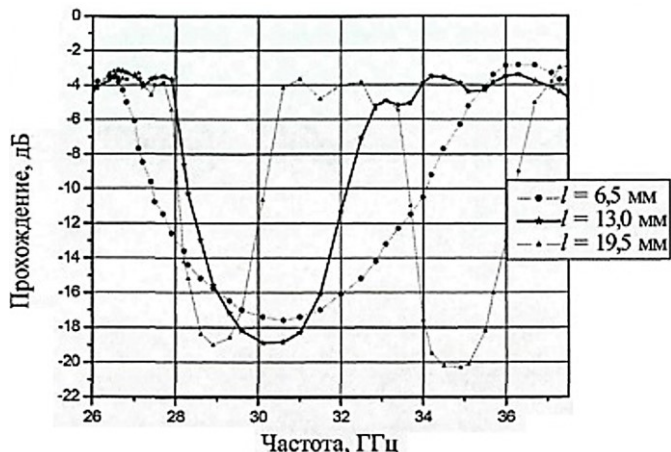


Рисунок 3. Экспериментальные АЧХ брэгговских структур с различными периодами

Полученные результаты позволили авторам [3] говорить о возможности создания эффективных режекторных фильтров с несколькими частотными полосами заграждения. Добавление количества периодов структуры приводило к увеличению ослабления в запрещенной зоне, тем самым улучшая прямоугольность амплитудно-частотных характеристик подобных режекторных фильтров.

Авторы [13] рассматривали СВЧ-фотонный кристалл (рис. 4), представляющий собой воздушную полосковую линию, в которой в полосковом проводнике шириной 20 мм создана периодическая система прямоугольных отверстий 3x12 мм, расположенных с периодом 4 мм.

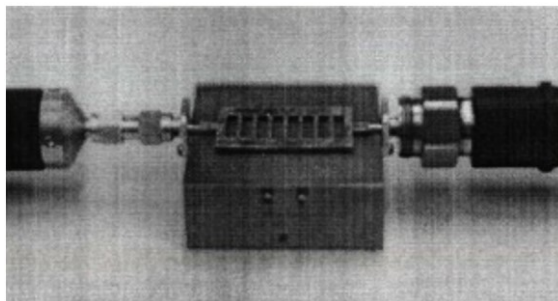


Рисунок 4. СВЧ-фотонный кристалл на основе воздушной полосковой линии с отверстиями в полосковом проводнике

В работе [13] изучен спектр пропускания такой структуры с целью исследовать возможность появления в нем полосы заграждения - так называемой, фотонной запрещенной зоны. Расчет производился с использованием аналитических выражений для краевых частот фотонной запрещенной зоны в одномерных фотонных кристаллах. Причем рассматривались аналитические выражения, полученные при условии, что волновое сопротивление периодически изменяется вдоль структуры ввиду ее пространственной периодичности и выражения, построенные с использованием эффективного показателя преломления n_{eff} , величина которого также периодична. В этой работе наблюдается хорошее совпадение расчетных и экспериментальных спектров пропускания СВЧ-фотонного кристалла, как это можно наблюдать на графиках рис. 5. Образование фотонных запрещенных зон объясняется явлением отражения электромагнитной волны на границах слоев. Приводятся расчеты показывающие образование дефектной моды в фотонной запрещенной зоне, порожденной нарушением периодичности структуры, рассматриваемым в виде изменения длины одного из слоев.

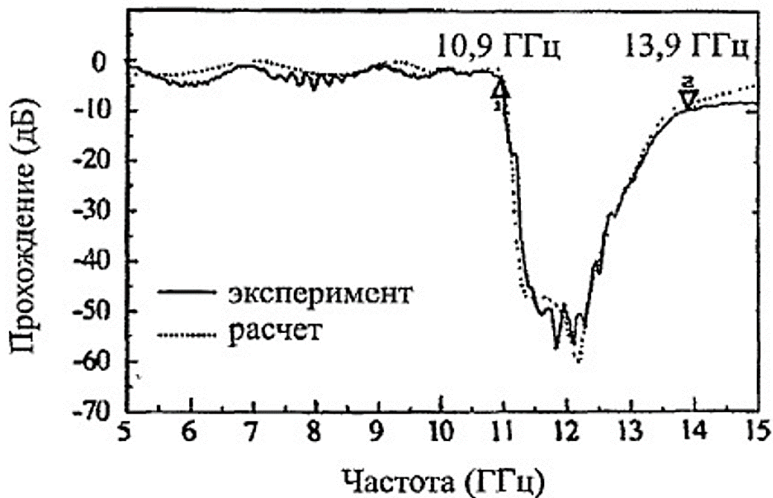


Рисунок 5. Расчетный и измеренный спектры пропускания структуры, изображенной на рис. 1.4

В работе [1] предложили слоистые структуры, обладающие свойствами фотонных кристаллов, в которых в качестве составных элементов использовались тонкие металлические пленки. В [1] рассматривалась возможность численного моделирования многослойных металлических структур с использованием аналитических формул, при этом толщина слоев могла быть до 1000 раз меньше толщины скин-слоя и достигать нескольких ангстрем. Авторы предложили использовать подобные структуры при создании высокодобротных резонаторных систем. Прирост добротности по сравнению с монолитными металлическими аналогами зависит от числа слоев и от их толщины и при некоторых условиях может достигать 170 раз.

В работе [11] рассматриваются импедансные поверхности с запрещенными зонами, представляющие собой периодические системы выступов грибовидной формы, объединенные в двумерную решетку (рис. 6), называемые двухслойными высокоимпедансными поверхностями. Такие поверхности, хорошо проводящие постоянный ток и токи малой частоты, в СВЧ-диапазоне имеют запрещенную зону (диапазон частот), в которой коэффициент передачи электромагнитной волны по поверхности близок к нулю.

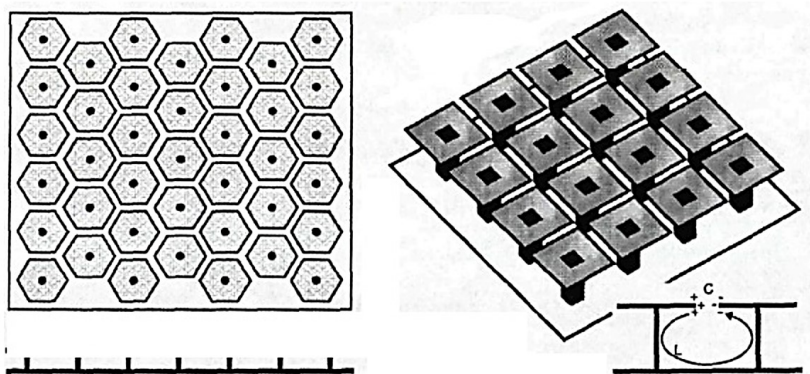


Рисунок 6. Примеры двухслойных импедансных поверхностей

Авторы провели серию измерений частотной зависимости коэффициента прохождения электромагнитного излучения по импедансной поверхности. При этом отдельно измеряли вертикальную (ТМ поверхностные волны) и горизонтальную (ТЕ поверхностные волны) составляющие электрического поля. Результаты, приведенные на рис. 7 и 8 демонстрируют наличие запрещенной зоны.

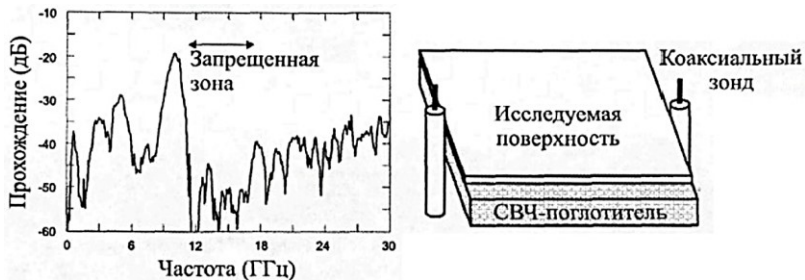


Рисунок 7. Спектр прохождения ТМ волн по импедансной поверхности и измерительная схема

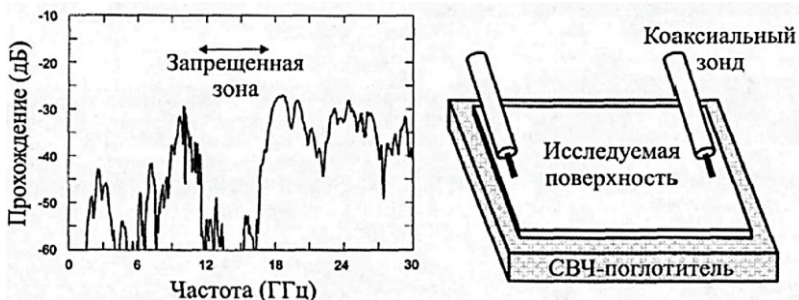


Рисунок 8. Спектр прохождения ТЕ волн по импедансной поверхности и измерительная схема

В работе [11] рассмотрены также трехслойные высокоимпедансные поверхности, отличающиеся от двухслойных наличием еще одного ряда грибовидных выступов большей высоты. Экспериментальные результаты (рис.9) для такой структуры также демонстрируют наличие запрещенной зоны в спектре поверхностных электромагнитных волн, но на более низких частотах из-за значительно большей межрезонаторной емкости.

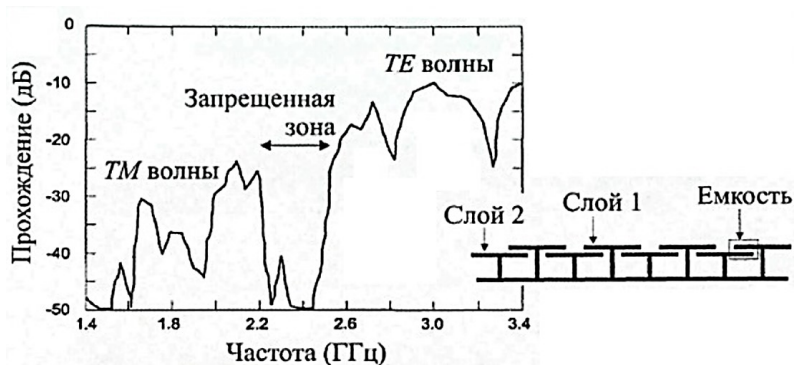


Рисунок 9. Спектр поверхностных волн и структура трехслойных импедансных поверхностей

В работе [12] рассматривается периодическая структура, изображенная на рис. 10, содержащая несколько диэлектрических пластин с нанесенными на них круглыми металлическими отражателями. Теоретические расчеты прохождения и отражения электромагнитного излучения в таких структурах, произведенные с использованием аналитических уравнений, демонстрируют хорошее совпадение с результатами измерений, как это можно наблюдать на графиках (рис. 11), построенных для четырехслойной структуры.

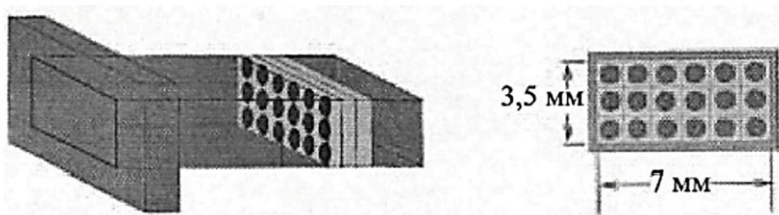


Рисунок 10. Волноводная структура

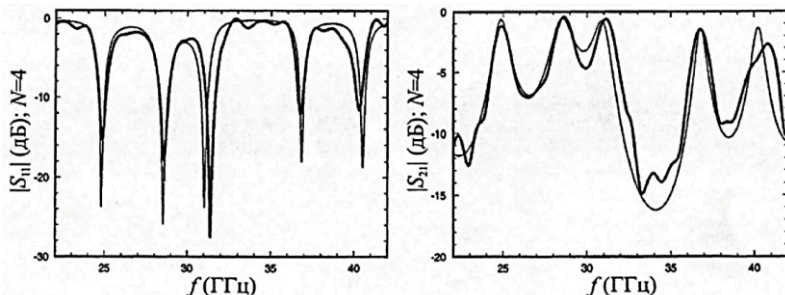


Рисунок 11. Спектры отражения (слева) и пропускания (справа) четырехслойной структуры

Используя разработанную методику расчета многослойных структур, состоящих из пластин с отражательными элементами, авторы решили задачу подбора толщины пластин, количества и размеров отражательных элементов с целью получения полосы пропускания в заданном частотном диапазоне. Рассчитанные частотные зависимости прохождения электромагнитной волны через структуру с оптимизированными параметрами, представленные на рис. 12, позволили авторам говорить о возможности создания полосно-пропускающих СВЧ-фильтров на основе таких структур со сверхплоской полосой пропускания (0,25 дБ) и высоким подавлением (100 дБ).

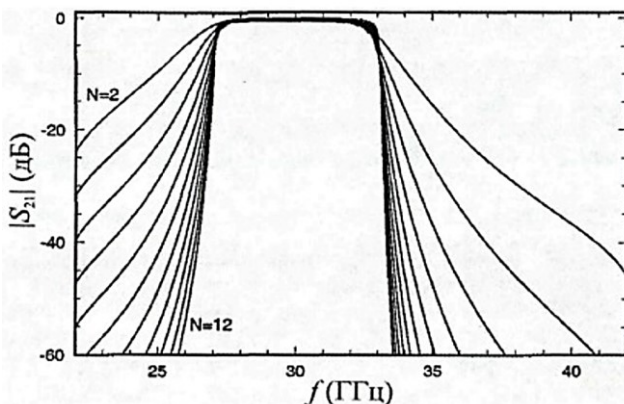


Рисунок 12. Расчетные спектры пропускания структур с оптимизированными параметрами, построенные для различного числа слоев

Результаты численного моделирования с использованием аналитических уравнений, проведенные авторами [12], хорошо совпадают с результатами моделирования с использованием коммерческого пакета проектирования СВЧ-схем Ansoft HFSS.

Авторы [13] рассматривают одномерные структуры с фотонной запрещенной зоной, созданные с использованием планарных линий передачи. Были изготовлены периодические структуры на основе копланарных волноводов, копланарной полосковой линии и щелевых линий, в которых параметры линии передачи периодически изменялись в направлении распространения волны. Авторы провели серию измерений S-параметров изготовленных структур, а также компьютерное моделирование прохождения и отражения СВЧ-излучения. При этом исследовались как строго периодические структуры, так и структуры содержащие нарушение периодичности в виде удлинения одного из периодов повторения геометрических параметров. На рис. 13 представлены расчетные и измеренные спектры пропускания и отражения для копланарной структуры, демонстрирующие появление запрещенной зоны в спектре периодической структуры и появление пика пропускания в запрещенной зоне при внесении в структуру неоднородности, слева - строго периодичная структура, справа - с нарушением периодичности. Для структур на основе копланарных волноводов и щелевых линий передачи авторы получили качественно похожие частотные зависимости.

В работе [13] предлагается на основе строго периодических структур создавать полосно-подавляющие фильтры, а на основе структур с нарушением периодичности высокодобротные резонаторы.

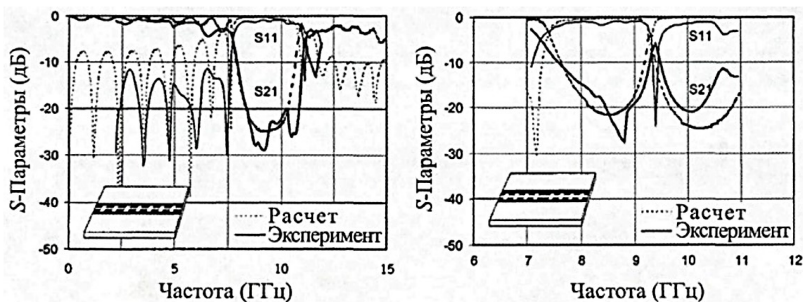


Рисунок 13. Расчетные и измеренные спектры пропускания и отражения периодической структуры на основе копланарной полосковой линии

В статье [4] рассматриваются микрополосковые модели одномерной сверхрешетки, созданные на основе нерегулярных микрополосковых структур, отличающихся простотой и технологичностью в изготовлении. Такие конструкции рассматриваются в качестве СВЧ-аналогов диэлектрических сверхрешеток, состоящих из материалов с различным показателем преломления, и представляют интерес при исследовании свойств периодических структур. Принимая во внимание тот факт, что процесс изготовления многослойных структур технологически сложен и дорог, в некоторых случаях первоначальные экспериментальные исследования свойств сверхрешеток целесообразно проводить на объемных (не пленочных) аналогах, работающих на частотах, значительно ниже оптических.

Авторами [4] на основе энергетических соотношений предложен метод, позволяющий получить частотные зависимости коэффициентов связи резонаторов в микрополосковой модели одномерной сверхрешетки. Модель учитывает явления на границе соединения микрополосковых линий с различным волновым сопротивлением Z , для которого приводится соотношение:

$$Z = \begin{cases} \frac{120\pi/\varepsilon_{\text{эф}}}{1,393 + \frac{w}{h} + 0,667\ln\left(\frac{w}{h} + 1,444\right)}, & w \geq h \\ \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_{\text{эф}}}} \ln\left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h}\right), & w < h, \end{cases}$$

где: w – ширина полоскового проводника;

h – толщина диэлектрической подложки;

$\varepsilon_{\text{эф}}$ – проницаемость, определяющая скорость распространения и, соответственно, длину электромагнитной волны в микрополосковой линии передачи, которая связана с диэлектрической проницаемостью материала подложки ε и геометрическими размерами элементов линии соотношением:

$$\varepsilon_{\text{эф}} = \frac{\varepsilon + 1}{2} + \frac{\varepsilon - 1}{2} P,$$

$$\text{где } P = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{1 + 12w/h}}, & w \geq h, \\ \frac{1}{\sqrt{1 + 12w/h}} + 0,04(1 - w/h)^2, & w < h. \end{cases}$$

Разработанная модель использовалась для расчета прохождения и отражения излучения в структурах, содержащих три последовательно включенных резонатора, из которых средний имел отличные от двух крайних- резонаторов параметры. Измерения, проведенные на ряде микрополосковых структур, показали достаточно хорошее совпадение теории с экспериментом.

Авторами [2] рассматриваются микрополосковые структуры, содержащие большее число слоев. На рис. 14 изображены топология и амплитудно-частотные характеристики многослойных периодических микрополосковых структур, настроенных как полосно-пропускающий фильтр на центральную частоту полосы пропускания $f_0 = 3$ ГГц и относительную ширину полосы пропускания $\Delta f / f_0 = 40\%$, измеренную по уровню -3 дБ от уровня минимальных потерь. Такие структуры также могут быть рассмотрены как аналоги оптических фильтров и зеркал, причем, в качестве последних особый интерес представляет структура, состоящая из двух подрешеток (рис. 14, справа, сплошные линии – прямые потери, штриховые - потери на отражение), обладающая полосой заграждения в диапазоне частот, превышающем октаву.

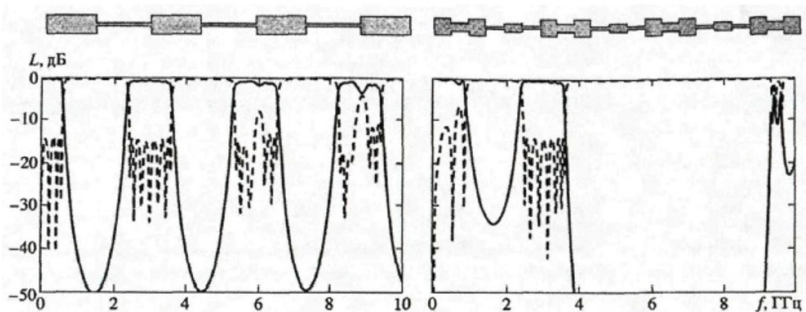


Рисунок 14. Амплитудно-частотные характеристики микрополосковых моделей одномерного ФК с обычной решеткой (слева) и с решеткой, состоящей из двух подрешеток (справа)

Области частот, где коэффициент отражения света падающего на ФК близок к единице, принято называть фотонными запрещенными зонами. Очевидно, что введение дефекта в ФК, например, слоя, отличающегося толщиной или диэлектрической проницаемостью от основной периодической структуры, приводит к искажению АЧХ за счет проявления резонансов в этом слое-дефекте. Такие дефекты

называют примесными, а их спектральные частоты – примесными модами колебаний. При описании примесных мод в работе [2] оперируется понятием нагруженной добротности, отмечая, что резонанс примесной моды обладает высокой нагруженной добротностью, если он попадает в центр фотонной запрещенной зоны.

Экспериментальная проверка, проведенная авторами [2] на микрополосковых конструкциях, изготовленных методом гравировки по лаку, показала достаточно хорошее согласие полученных результатов с численным расчетом одномерных моделей нерегулярных структур с использованием квазистатического приближения. Это можно видеть из приведенных на рис. 15 расчетных и измеренных амплитудно-частотных характеристик микрополосковой модели фотонного кристалла с дефектом.

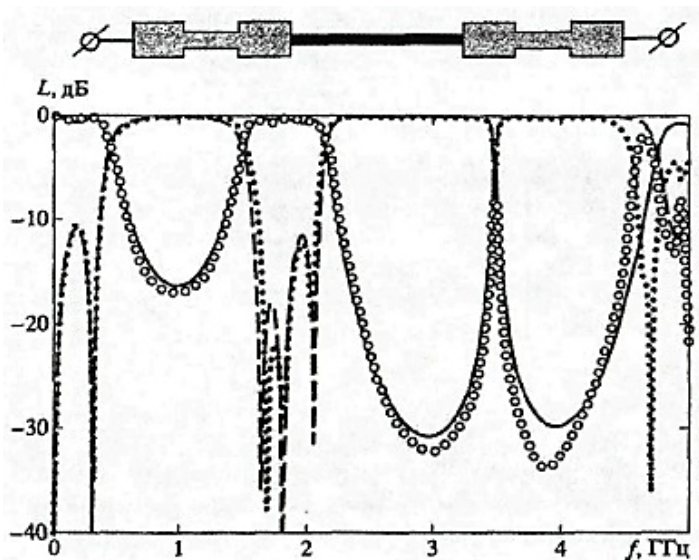


Рисунок 15. Топология и частотные зависимости прямых и обратных потерь для микрополосковой модели одномерного фотонного кристалла с дефектом.

Линии – расчет, точки – эксперимент

Таким образом проведён аналитический обзор литературных источников об исследованиях особенностей взаимодействия электромагнитного излучения сверхвысокочастотного диапазона с микрополосковыми фотонными кристаллами.

Список литературы:

1. Акиба С., Утака К. Динамические одночастотные полупроводниковые лазеры. – М.: Мир, 1989.
2. Беляев Б.А., А.С. Волошин, В.Ф. Шабанов, Исследование добротности резонанса примесной моды в микрополосковой модели одномерного фотонного кристалла // Доклады Академии Наук, 2005, том 403, № 3, С. 319–324.
3. Данилов В.В., Олейник В.В., Волноводные брэгговские структуры с запрещенными зонами в К-диапазоне // Материалы 16-ой: Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» КрыМиКо–2006. Украина, Севастополь, 11–15 сентября 2006 г. С. 830–831.
4. Милкин С.С., Стародубов А.В., Горин Д.А., Калинин Ю.А. Коаксиальная ячейка для измерения параметров жидких диэлектриков на сверхвысоких частотах (СВЧ) // патент на полезную модель RUS 119124 26.03.2012.
5. Олейник В.В., Макаров Д.Г., Данилов В.В., Измерение: диэлектрической проницаемости с использованием волноводной брэгговской структуры // Материалы 15-ой Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» КрыМиКо–2005. Украина, Севастополь, 12–16 сентября 2005 г. С. 785–786.
6. Петухова Н.А., Куракин А.С. К вопросу о измерении параметров жидких диэлектриков // Сборник научных трудов SWORLD - 2015. - С. 82-85.
7. Петухова Н.А. Моделирование установки для измерения параметров жидких диэлектриков // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2016. № 3 (42). С. 23–32.
8. Севастьянов А.А. Измерение диэлектрических характеристик жидкостей с помощью решеток брэгга в радиочастотном коаксиальном кабеле // Современные проблемы науки и образования. – 2014. № 4. С. 213.
9. Усанов Д.А., Никитов С.А., Скрипаль А.В., Куликов М.Ю., Пономарев Д.В. Измерение параметров твердых и жидких диэлектриков на сверхвысоких частотах с использованием микрополосковых фотонных структур // Радиотехника и электроника. - 2012. Т. 57. № 2. С. 230.
10. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Абрамов А.В., Боголюбов А.С., Романов А.В., Куликов М.Ю., Пономарев Д.В. Фотонные структуры в свч-диапазоне и их применение для измерения параметров композитов с включениями из углеродных нанотрубок и жидких диэлектриков // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2010. Т. 13. № 3. С. 26–34.
11. Dan Sievenpiper, Lijun Zhang, Romulo F. Jimenez Broas, Nicholas G. Alexopolous, and Eli Yablonovitch, High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band // IEEE Transactions on microwave theory and techniques, VOL.47, №. 11, november 1999, P. 2059–2074.

12. Kuriazidou C.A., Contopanagos H.F., Alexopolos N.G. Monolithic waveguide filters using printed photonic-bandgap materials // IEEE Transactions on microwave theory and techniques. 2001. V. 49. №. 2. P. 297–306.
13. Tae-Yeoul and Kai Chang. Uniplanar one-dimensional photonic-bandgap structures and resonators // IEEE Transactions on-Microwave Theory and Techniques. – 2001. – Vol. 49, №. 3. – P. 549–553.

1.4. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИМИ ГРУППАМИ

Пасько Татьяна Владимировна

канд. техн. наук, доц.,
Тамбовской государственной технической университет,
РФ, г. Тамбов

Бесперстов Игорь Валерьевич

магистрант,
Тамбовской государственной технической университет,
РФ, г. Тамбов

Дубовицкий Виктор Сергеевич

магистрант,
Тамбовской государственной технической университет,
РФ, г. Тамбов

Пасько Анастасия Александровна

студент,
Тамбовской государственной технической университет,
РФ, г. Тамбов

FUNCTIONALIZATION OF CARBON NANOTUBES BY OXYGEN-CONTAINING GROUPS

Tatiana Pasko

candidate of Engineering sciences, associate Professor,
Tambov State Technical University,
Russia, Tambov

Igor Besperstov

graduate student, Tambov State Technical University,
Russia, Tambov

Victor Dubovitsky*graduate student, Tambov State Technical University,
Russia, Tambov***Anastasia Pasko***student, Tambov State Technical University,
Russia, Tambov*

Аннотация. В каждом конкретном случае применения углеродных нанотрубок необходимы различные поверхностные характеристики, что на практике не всегда легко обеспечить. Поэтому модификация боковых и концевых участков углеродных нанотрубок зачастую является необходимой процедурой при создании материалов с требуемыми поверхностными и объемными свойствами. Окисление, являясь одним из основных видов ковалентного присоединения функциональных групп, позволяет сформировать на поверхности углеродных нанотрубок различные кислородсодержащие группы. Для придания углеродным нанотрубкам гидрофильных свойств и совместимости их с жидкими средами в качестве окислителей используют персульфат аммония, персульфат натрия, персульфат калия, гипохлорит натрия, гипохлорит калия. Наиболее эффективным подходом к получению гидрофильных углеродных нанотрубок является механохимическая обработка исходных нативных трубок.

Abstract. In each case of application of carbon nanotubes, different surface characteristics are required, which in practice is not always easy to provide. Therefore, modification of the lateral and terminal areas of carbon nanotubes is often a necessary procedure for creating materials with the required surface and volume properties. Oxidation, being one of the main types of covalent attachment of functional groups, makes it possible to form various oxygen-containing groups on the surface of carbon nanotubes. To give the carbon nanotubes hydrophilic properties and their compatibility with liquid media, ammonium persulphate, sodium persulfate, potassium persulfate, sodium hypochlorite, and potassium hypochlorite are used as oxidants. The most effective approach to the production of hydrophilic carbon nanotubes is the mechanochemical treatment of the original native tubes.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки; кислородсодержащие группы; гидрофильность; функционализация.

Keywords: Carbon nanotubes; Oxygen-containing groups; Hydrophilicity; Functionalization.

Для каждого конкретного применения требуются углеродные нанотрубки (УНТ) с различными поверхностными характеристиками, что на практике бывает затруднительно. Поэтому функционализация боковых и концевых участков УНТ часто является необходимой манипуляцией при создании материалов с измененными поверхностными и объемными свойствами.

Существует два основных подхода к изменению поверхности УНТ для придания необходимых свойств: 1) ковалентное присоединение функциональных групп; 2) нековалентное удерживание химических соединений поверхностью УНТ за счет сил Ван-дер-Ваальса, электростатического или р-электронного взаимодействия.

Ковалентное связывание происходит при химических и электрохимических реакциях. Основными видами химической ковалентной функционализации являются реакции окисления, фторирования и амидирования и др. Ковалентное связывание происходит с присоединением функциональных групп либо к открытым кончикам трубки, либо к ее боковым поверхностям.

Функционализация позволяет разделить спутанные УНТ, что способствует более равномерному распределению трубок в водных или органических растворах. Прививка аминных, карбоксильных, эпоксидных групп обеспечивает хорошую совместимость нанотрубок с эпоксидными смолами, присоединение арильных, алкильных, алкоксильных групп улучшает распределение нанотрубок в неполярных полимерах, а фторалкильные группы улучшают совместимость УНТ с фторопластом-4.

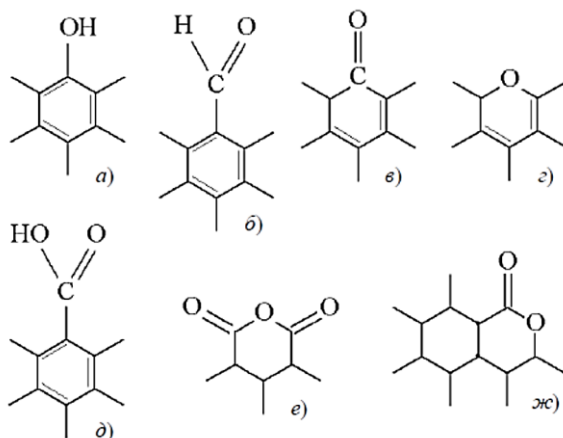
Данное исследование имеет целью проведение анализа методов модификации многослойных углеродных нанотрубок кислородсодержащими группами, в частности технологий получения полифункциональных гидрофильных УНТ.

Окисление является самым распространенным способом химической модификации углеродных нанотрубок, используемой для их очистки и функционализации. В результате такой обработки на поверхности углеродных нанотрубок формируются различные кислородсодержащие группы (рисунок 1) – гидроксильные, альдегидные, кетонные, эфирные, карбоксильные, ангидридные, лактонные [1].

Наиболее часто на поверхности окисленных УНТ фиксируют карбоксильные, гидроксильные, карбонильные и лактонные группы. В качестве окисляющих реагентов чаще всего используют кислородсодержащие кислоты и смеси на их основе.

Обработка кислотами обычно представляет собой многочасовой процесс, осуществляемый при кипячении реакционной массы.

Результатом такой функционализации являются гидроксильные, лактонные и карбоксильные группы на поверхности УНТ. Авторы [3, 2] считают, что при окислении в смеси концентрированной азотной и серной кислот (в соотношении 3:1 по массе) сформируются серосодержащие функциональные группы.



а – гидроксильная (фенольная); *б* – альдегидная; *в* – кетонная; *г* – эфирная; *д* – карбоксильная; *е* – ангидридная; *ж* – лактонная

Рисунок 1. Типы функциональных групп, формирующихся при окислении углеродных нанотрубок

В работе [10] высказывается предположение, что при окислении многослойных УНТ концентрированной азотной кислотой помимо открытия концов нанотрубок и появления кислородсодержащих групп, на поверхности формируются ароматические полициклические соединения, которые могут не только удаляться при помывке щелочью, но и обратно адсорбироваться на нанотрубках. Этот эффект может способствовать стабилизации водных дисперсий.

Эффективными могут быть и окислительные системы, содержащие в качестве главного компонента соляную кислоту, перекись водорода, перманганат калия, персульфаты и гипохлориты.

Для интенсификации жидкофазной функционализации возможно применение различных физико-химических методов. Например, в [5] показана возможность эффективного карбоксилирования УНТ в смеси азотной и серной (3:1) кислот при комнатной температуре под действием ультразвукового излучения.

С целью сохранения морфологии материала авторы [11] рассматривают возможность окисления массивов из вертикально-ориентированных УНТ микроволновой плазмой. В [8] показано, что при обработке многослойных углеродных нанотрубок индуктивной двойной плазмой происходит формирование карбонильных и эфирных групп.

В ряде публикаций предлагается осуществлять газофазную функционализацию УНТ с применением в качестве окислителей углекислого газа, водяного пара, кислорода воздуха, озона, паров азотной кислоты и др.

В отдельную группу выделяются методы механохимического окисления углеродных нанотрубок. Авторы [6] считают, что такая обработка способствует формированию на поверхности УНТ минимального количества кислородсодержащих групп при заметном укорочении и дезагломерации.

Возможно также электрохимическое окисление УНТ, в ходе которого формируются как поверхностные функциональные группы, так и объемные включения.

Углеродные нанотрубки склонны образовывать агломераты, что затрудняет их распределение в различных средах. Для получения устойчивых дисперсий УНТ применяют различные способы модифицирования исходных трубок, которые осуществляются путем присоединения к поверхности УНТ тех или иных функциональных групп, обеспечивающих их совместимость со средой, используют поверхностно-активные вещества, укорачивают слишком длинные УНТ различными методами.

Одним из способов модифицирования УНТ является окисление УНТ под действием различных жидких или газообразных окислителей (азотная кислота в виде жидкости или пара, перекись водорода, растворы персульфата аммония при различных рН, озон, диоксид азота и другие).

В работе [5] описан способ модифицирования УНТс применением азотной кислоты, перекиси водорода и персульфата аммония. Недостатком данного способа является его недостаточная эффективность для расщепления агломератов УНТ и достижения хорошей диспергируемости окисленных УНТ в воде и полярных органических растворителях. Как правило, окисленные этими методами углеродные нанотрубки хорошо диспергируются в воде и полярных органических растворителях (под действием ультразвука) лишь при очень малой концентрации нанотрубок в жидкости (обычно порядка 0,001–0,05 % масс).

При превышении пороговой концентрации нанотрубки собираются в крупные агломераты (хлопья), выпадающие в осадок.

В ряде работ описан способ модифицирования УНТ путем их укорачивания, которое достигается продолжительной механической обработкой УНТ в жидкостях или в замороженных матрицах. Укороченные УНТ обладают лучшей диспергируемостью в жидкостях и лучшими электрохимическими свойствами. Недостатком этого способа является то, что он не обеспечивает функционализации УНТ полярными группами, вследствие чего обработанные таким способом УНТ все же недостаточно хорошо диспергируются в полярных средах.

Исследователи японского Университета Кэйо в своей работе изучили безрастворное механохимическое окисление фуллерена в атмосфере кислорода при механическом воздействии при давлении кислорода 1 атм (рисунок 2). Продукты окисления представляют собой полиокисленные фуллерены $C_{60}O_n$, содержащие связи C–O–C и C=O [9].

Конкурендно окислению происходят побочные реакции, такие как, например, полимеризация C_{60} и $C_{60}O_n$. Среднее число атомов кислорода n в продукте окисления после 5 часов механоокисления составляет 8,6 на молекулу C_{60} . Генерация синглетного кислорода в ходе механохимического окисления было подтверждено методом ЭПР.

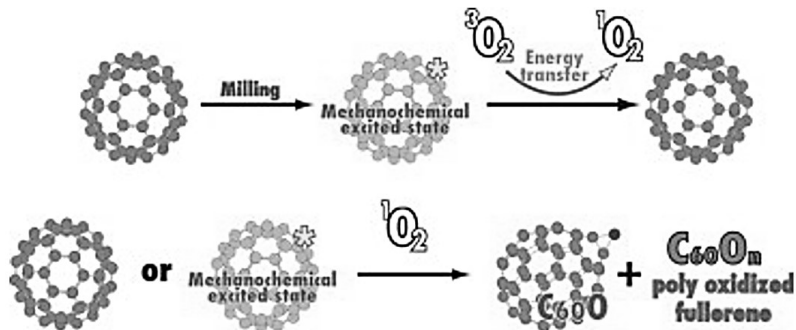


Рисунок 2. Схема окисления

«Отлавливание» 1O_2 полностью ингибирует окисление фуллерена. Исследователи полагают, что образование 1O_2 происходит благодаря переносу энергии с механически возбужденного состояния фуллерена. Частица 1O_2 играют ключевую роль в окислении C_{60} в результате механического окисления.

Так же известен способ [4] модифицирования УНТ путем их глубокого окисления при продолжительном кипячении в водном растворе, содержащем серную и азотную кислоты. При этом вначале происходит прививка к поверхности УНТ полярных функциональных групп (в частности карбоксильных), а при достаточно продолжительном времени обработки достигается укорачивание нанотрубок. Одновременно наблюдается также уменьшение толщины нанотрубок вследствие полного окисления поверхностных углеродных слоев до углекислого газа. В опубликованных источниках отмечается, что укороченные окисленные углеродные нанотрубки обладают повышенной способностью диспергироваться в воде и в полярных органических растворителях.

Недостатками данного способа являются необходимость применения большого избытка кислот, что удорожает процесс и создает экологические проблемы при утилизации отходов, а также, окисление части углерода нанотрубок до углекислого газа, что снижает выход конечного продукта (модифицированных углеродных нанотрубок) и удорожает его. Кроме того, такой способ затруднительно масштабировать. В лабораторных условиях можно применять стеклянные приборы, однако, для опытно-промышленного производства предпочтительно оборудование из нержавеющей стали. Кипячение нанотрубок в растворах кислот создает проблему коррозионной стойкости оборудования.

Поставленная задача решается тем, что в способе модифицирования углеродных нанотрубок, включающем обработку углеродных нанотрубок водным раствором окислителя, обработку углеродных нанотрубок водным раствором окислителя проводят одновременно с механической обработкой, причем, в качестве окислителя применяют раствор персульфата или гипохлорита при pH более 10. Для механической обработки могут быть использованы известные в технике устройства, например, бисерная мельница, вибрационная мельница, шаровая мельница и другие подобные устройства. Практически, бисерная мельница является одной из наиболее удобных устройств для решения поставленной задачи.

В качестве окислителей могут быть использованы персульфат аммония, персульфат натрия, персульфат калия, гипохлорит натрия, гипохлорит калия. Наиболее эффективно предлагаемый способ осуществляется при обработке углеродных нанотрубок раствором окислителя при pH более 10. При меньшем pH возможна коррозия оборудования и нецелевое разложение окислителя с выделением хлора (из гипохлорита) или кислорода (из персульфата).

Список литературы:

1. Горский С.Ю. Разработка процесса функционализации углеродных нанотрубок в парах азотной кислоты и перекиси водорода: дис... канд. техн. наук: 05.17.08, 02.00.04 / Горский Сергей Юрьевич. – Тамбов, 2014. – 182 с. – Библиогр.: С. 140–161.
2. Кирикова М.Н. Физико-химические свойства функционализированных многостенных углеродных нанотрубок: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04 / Кирикова Марина Николаевна. – М., 2009. – 24 с.
3. Chemistry of Carbon Nanotubes / T. Lin, V. Bajpai, T. Ji, L. Dai // *Aust. J. Chem.* – 2003. – V. 56. – P. 635–651.
4. Chiang Y.-C., Lin W.-H., Chang Y.-C. The influence of treatment duration on multi-walled carbon nanotubes functionalized by H₂SO₄/HNO₃ oxidation // *Applied Surface Science.* – 2011. – V. 257. – P. 2401–2410.
5. Datsyuk V., Kalyva M., Papangelis K., Parthenios J., Tasis D., Siokou A., Kallitsis I., Galiotis C. Chemical oxidation of multiwalled carbon nanotubes // *Carbon.* – 2008. – V. 46. – P. 833–840.
6. MWCNT Activation and its Influence on the Catalytic Performance of Pt/MWCNT Catalysts for Selective Hydrogenation / A. Solhy, B.F. Machado, J. Beausoleil et al. // *Carbon.* – 2008. – V. 46. – P. 1194–1207.
7. Ng C.M. Improved Functionalization and Recovery of Carboxylated Carbon Nanotubes Using the Acoustic Cavitation Approach / C.M. Ng, S. Manickam // *Chemical Physics Letters.* – 2013. – V. 557. – P. 97–101.
8. Oxygen Functionalisation of MWNT and their use as Gas Sensitive Thick-Film Layers / R. Ionescu, E.H. Espinosa, E. Sotter et al. // *Sensors and Actuators B.* – 2006. – V. 113. – P. 36–46.
9. Solvent free mechanochemical oxygenation of fullerene under oxygen atmosphere / H. Watanabe et al. // *Tetrahedron Letters.* – 2007. – V. 48, Is. 46. – P. 8132–8137.
10. The Surface Acidity of Acid Oxidised Multi-walled Carbon Nanotubes and the Influence of In-situ Generated Fulvic Acids on their Stability in Aqueous Dispersions / Z. Wang, M.D. Shirley, S.T. Meikle et al. // *Carbon.* – 2009. – V. 47. – P. 73–79.
11. Vertically Aligned Carbon Nanotubes: Synthesis and Atomic Oxygen Functionalization / J.-F. Colomer, B. Ruelle, N. Moreau et al. // *Surface & Coatings Technology.* – 2005. – V. 205. – P. 592–596.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ РЕЗЬБОВЫХ СМАЗОК

Фатхутдинов Тагир Занфирович

*магистрант каф. БНГС, УГНТУ,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа*

Ягудин Марат Азатович

*магистрант каф. БНГС,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа*

Галикеев Денислам Рафисович

*студент каф. БНГС,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа*

APPLICATIONS OF METAL NANOPOWDERS FOR THE MODIFICATION OF THREAD LUBRICANTS

Tagir Fatkhutdinov

*undergraduate department of drilling oil and gas wells, USPTU,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Marat Yagudin

*undergraduate department of drilling oil and gas wells, USPTU,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Dinislam Galikeev

*student, department of drilling oil and gas wells, USPTU,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Аннотация. В данной статье представлена разработка резьбовых смазок для бурильных труб. Цель работы заключается в улучшении показателей бурения скважин путем повышения долговечности и герметичности замковых соединений бурильного инструмента на базе исследования и разработки смазочного материала с высокими эксплуатационными свойствами в широком температурном диапазоне. Были рассмотрены основные требования к работе бурильной колонны в процессе строительства скважины. Рассмотрена возможность

использования ультрадисперсных порошков металлов, их оксидов, как добавку к резьбовой смазке, улучшающей ее триботехнические характеристики. Методом электролиза был получен медный порошок, который далее был исследован на фазовый и количественный состав. Разработана композиция резьбовой смазки с применением медного нанопорошка, далее исследуемая на рабочие характеристики. Исследования резьбовой смазки проходили на четырехшариковой машине трения (ЧШМ) и на гидропрессе, измеряющем герметизирующие свойства смазочных агентов. По результатам экспериментальных исследований можно сделать заключение о том, что использование медного порошка положительно влияет на рабочие характеристики смазочных агентов, повышает долговечность и герметичность резьбовых соединений, тем самым, увеличивая срок работы всей колонны бурильных труб.

Abstract. The paper presents on research work of development of thread lubricant for drill pipes. The aim of work was a creation of the lubricant that increases durability of drill pipe threads. We were consider basic requirements for drill pipe assembly during oil and gas well building and application of transition metal powders as additive for a thread lubricant that improving work properties. By electrolysis method was synthesized a copper powder, which was further explored on the phase and quantitative composition. Was developed a using a powder composition of thread lubricant, which explored for work properties. The researches have passed on friction machine and hydraulic press, which measure sealing properties. By results of experiments, we can conclude that application of high dispersal copper powder have positive effects on thread's work properties. The additive increases durability and impermeability of drill threads, thereby, increasing the working life of drill pipe assembly.

Ключевые слова: Колонна бурильных труб, резьбовые соединения, резьбовая смазка, медный порошок, фазовый состав, композиция смазки, четырехшариковая машина трения, гидропресс.

Keywords: Drill pipe assembly, thread, thread lubricant, copper powder, phase composition, friction machine, lubricant composition, hydraulic press.

В процессе проводки скважин бурильная колонна подвергается в основном напряжению растяжению-сжатию, кручению, знакопеременного изгиба, на нее воздействуют силы трения и коррозионно-активный буровой раствор при повышенных температурах и давлениях. При этом наиболее слабым элементом бурильных колонн остается резьбовое соединение [6].

По нашему мнению, одним из наиболее перспективных методов улучшения технико-экономических показателей бурения является введение мелкодисперсных (наноразмерных) порошков смазочных материалов дает возможность расширить рабочий интервал нагрузок вследствие того, что при срабатывании смазочных материалов на поверхности трения образуются тонкие металлические пленки, препятствующие износу трущихся поверхностей. Кроме того, условия эксплуатации смазок в резьбе ужесточаются с ростом глубин бурения, промывочной жидкости, увеличением давлениями в резьбе и действием ряда других факторов.

Цель данной работы заключается в улучшении показателей бурения скважин путем повышения долговечности и герметичности замковых соединений бурильного инструмента на базе исследования и разработки смазочного материала на основе ультрадисперсных порошков металлов с высокими эксплуатационными свойствами в широком температурном диапазоне.

Разработана рецептура и технология изготовления смазки к резьбовым соединениям бурильного инструмента на основе остаточного масла И-50А и полисилоксановой кислоты, высокие показатели триботехнических и механических свойств которой достигаются использованием в ее составе 5 % медного нанопорошка. Электрокристаллизацию меди осуществляли из недиаэрированных растворов сульфата меди (0,01–0,2 моль/л) в смеси вода–изопропиловый спирт (0,00–0,12 м. д.) без принудительного перемешивания. Водород, выделяющийся в небольших количествах при протекании сопутствующего процесса, обеспечивал естественное перемешивание раствора в объеме прикатодного пространства и способствовал разрыхлению растущего осадка. Длительность процесса электролиза для каждого эксперимента имела свое временное значение. Критерием прекращения процесса осаждения являлось бурное выделение водорода. Выделяющийся водород не влиял на качество продукта и не входил в состав формирующегося осадка. Электролиз проводили при 25 0С. По окончании процесса электроосаждения полученный осадок многократно промывали бидистиллированной водой до постоянного значения электропроводности раствора и высушивали до порошкообразного состояния.

Одним из основных этапов работы было получение и анализ медного нанопорошка. При электролизе использовалась электрохимическая ячейка, снабженная винипластовой крышкой с параллельно закрепленными анодами. В первом случае анодами служили инертные (нерастворимые) оксидорутениево-титановые пластины, во втором

в качестве растворимых анодов применялись пластины, изготовленные из электролитически чистой меди. По результатам потенциометрического и хроматографического анализов растворов после электролиза содержание сульфата меди составляло $\sim 0,07\text{--}0,09$ моль/л, а изопропилового спирта $\sim 0,03$ м.д., что вполне соответствовало оптимизированным начальным условиям получения ультрадисперсных металлсодержащих осадков. В качестве катода использовали стальной цилиндрический стержень, который закрепляли в центре крышки. Площадь поверхности осадка увеличивалась в ходе электролиза, обуславливая увеличение силы тока таким образом, чтобы его плотность оставалась постоянной.

Далее проводился анализ полученного порошка следующими методами:

- 1) рентгено-фазный анализ на рентгеновом дифрактометре Bruker D2 Phaser
- 2) исследование структуры и количественного состава образца на растровом электронном микроскопе Jeol JSM 6610LV (рис.2).



Рисунок 1. Рентгеновский дифрактометр Bruker

Исследования на дифрактометре показали наличие в полученном образце нанопорошка меди и его оксидов. Анализ на растровом микроскопе показал количественный состав молекул меди (92 %) и кислорода (6%) в образце порошка.



Рисунок 2. Растровый микроскоп Jeol JSM

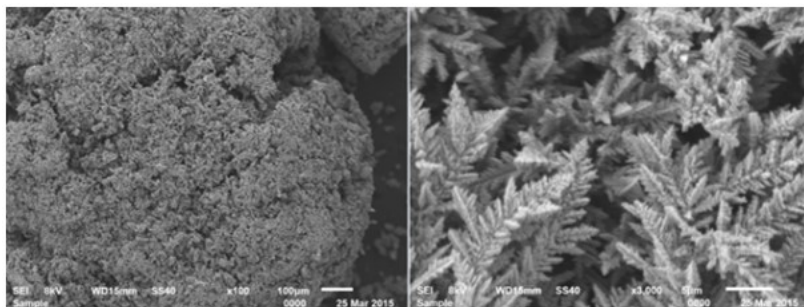


Рисунок 3. Электронные снимки образцов медного нанопорошка

Следующим основным этапом было проектирование и разработка композиции смазочного агента. За основу была взята резьбовая смазка Р-425. Было проведен ряд исследование экспериментов по исследованию эксплуатационных характеристик резьбовой смазки:

- 1) проверка на трение скольжения на четырех-шариковой машине трения (ЧШМ);
- 2) анализ герметичности резьбового соединения на нагнетательной установке (замер предельного давления разгерметизации);
- 3) проверка антикоррозионных свойств;
- 4) замер температур каплепадения, замерзания и вспышки.

Исследования смазки проводились на четырехшариковой машине трения и гидравлическом прессе. Для сравнения был взят образец резьбовой смазки Р-416, обширно внедряемый на месторождениях Крайнего Севера. Результаты исследований представлены в таблице.

Таблица 1.

Результаты исследования на машине трения

Тип смазки	РСБ-1	Р-425
Критическая нагрузка, Н	2210	1100
Нагрузка сваривания, Н	9900	2800
Индекс задира	1640	519
Показания износа, мм	2,4	2,0

По результатам вышеуказанных исследований, полученная нами композиция резьбовой смазки показала себя как более пригодная к эксплуатации в различном спектре рабочих условий (применение в зонах Крайнего севера, в условиях агрессивного воздействия компонентов бурового раствора и при глубоком эксплуатационном бурении, связанного с работой бурильного инструмента с высокими внешними и внутренними давлениями).

Список литературы:

1. Акпанбаев Р.С. Исследование процесса электролитического получения мелкодисперсного медного порошка в присутствии модифицирующих органических соединений 2010, 115 с.
2. Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманов С.А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин/ А.И. Булатов, Ю.М. Проселков, С.А. Шаманов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. - 1007 с.: ил.

3. Пустовойтенко И.П. Предупреждение и ликвидация аварий в бурении / И.П. Пустовойтенко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М., Недра, 1988. – 279 с.: ил.
4. Современные проблемы буровой и нефтепромысловой механики: Сб. науч. тр./ Уфим. нефт. ин-т. – Уфа, 1990. – 197 с.
5. Тесакова М.В. Электрохимическое осаждение, физико-химические свойства и практическое применение ультрадисперсных порошков меди и ее оксидов, 2008. 173 с.
6. Янгиров Ф.Н. Улучшение показателей бурения применением новой смазки в резьбовых соединениях бурильного инструмента, 1999. 165 с.

1.5. ЭНЕРГЕТИКА

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПЕРЕДВИЖНЫХ ДИЗЕЛЬ-ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Анисимов Владимир Фёдорович

канд. техн. наук, доц.,

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
РФ, г. Рязань*

Новиков Алексей Алексеевич

магистрант,

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
РФ, г. Рязань*

AUTOMATION OF THE MOBILE DIESEL POWER STATIONS

Vladimir Anisimov

*candidate of Engineering Sciences, assistant professor in Ryazan State
Radioengineering University, Russia, Ryazan*

Aleksey Novikov

*master student in Ryazan State Radioengineering University, Russia,
Ryazan*

Аннотация. В малой энергетике широко распространены передвижные дизель-электростанции. В статье описываются степени автоматизации ДЭС, области применения, особенности их эксплуатации.

Abstract. In a small energy widespread a mobile diesel power stations. The article describes a degree of automation diesel power stations, application, features their operation.

Ключевые слова: автоматизация, дизель-электростанция, сигнализация, стабилизация, степень автоматизации.

Keywords: automation, diesel power station, signalling, stabilization, degree of automation.

В современной электроэнергетике широко и повсеместно применяются устройства релейной защиты и автоматики. Не является исключением здесь и малая энергетика, ярко представленная в хозяйстве страны передвижными дизель-электростанциями. Дизель-электростанции, в основном, применяются там, где по каким-то причинам нецелесообразно или невозможно электроснабжение потребителей от линий электропередач, а также, при необходимости обеспечения автономного, не зависящего от внешних ЛЭП электропитания, возможности резервирования ЛЭП. Передвижные дизель-электростанции на базе автомобильных прицепов, такие как изделия: 5И57А; 5И57А-1; 99Х6 и другие очень востребованы в Вооружённых Силах Российской Федерации.



Рисунок 1. Передвижная дизель-электростанция 5И57А

Перечисленные дизель-электростанции технически оснащены специальными устройствами и механизмами, обеспечивающими возможность своевременного обслуживания и автоматизированного управления, контроль над стабильной работой генератора, а также обеспечивающие выполнение операций по автоматическому пуску и остановке дизеля, и являются автоматизированными дизель-генераторными установками. Данные механизмы позволяют произвести предварительную настройку генератора на заданный режим работы и не требуют последующего вмешательства человека во время рабочего цикла установки. Функции обслуживающего персонала сводятся к подготовке к работе, периодическому осмотру, и в случае необходимости – ремонту автоматизированной установки.

Для повышения технико-эксплуатационных характеристик дизельных генераторов, устройства, обеспечивающие их автоматическую работу, разрабатывают специальным образом, который позволяет использовать автоматику в качестве отдельной составной части в общем комплексе системы автоматизации дизельной электростанции.

В соответствии с требованиями ГОСТ 50783-95 [3] в Российской Федерации, в зависимости от назначения установки и условий её эксплуатации, предусматривается три (не считая нулевой) степени автоматизации дизельной электростанции:

- степень автоматизации 0 – Стабилизация выходных электрических параметров. Защита электрических цепей;
- степень автоматизации 1 – Стабилизация выходных электрических параметров. Аварийно-предупредительная сигнализация и аварийная защита. Автоматическое поддержание нормальной работы после пуска и включения нагрузки, в т. ч. без обслуживания в течение 4 или 8 ч;
- степень автоматизации 2 – Стабилизация выходных электрических параметров. Аварийно-предупредительная сигнализация и аварийная защита. Дистанционное и (или) автоматическое управление при пуске, работе и остановке со сроком необслуживаемой работы в течение 16 или 24 ч;
- степень автоматизации 3 – Стабилизация выходных электрических параметров. Аварийно-предупредительная сигнализация и аварийная защита. Дистанционное и (или) автоматическое управление всеми технологическими процессами, в т. ч. при параллельной работе, со сроком необслуживаемой работы в течение 150 или 240 ч. (для электроагрегатов и электростанций с тракторными двигателями 90 и 120 ч.)

Передвижные дизель-электростанции 5И57А и 5И57А-1 степени автоматизации – 3 [1, с. 11] оснащены устройствами, обеспечивающими: автоматический и дистанционный пуск и остановку двигателя, автоматическую остановку двигателя при достижении критических значений уровня и давления масла, уровня и температуры охлаждающей жидкости, частоты вращения коленчатого вала, поддержание электростанций в режиме горячей готовности (засчёт установленных в системах смазки и охлаждения электронагревателей), автоматическую дозаправку топливных баков (электростанция 5И57А-1), возможность автоматического открытия и закрытия вентиляционных люков.

Дизель электростанция 99Х6 степени автоматизации – 2 [3, с. 7], с допустимым сроком необслуживаемой работы в течение 72 часов.

Автоматизация и наличие компьютерной системы управления электростанцией не означает отсутствия надобности контроля за работой техники. К примеру, при недостаточности пускового тока, попытка автоматического запуска агрегата, после первой неудачной попытки, будет продолжаться с установленной временной выдержкой, не смотря на очевидную бесполезность. Иногда, наличие некоторых элементов автоматизации создаёт проблемы при эксплуатации оборудования. Такая ситуация может сложиться, к примеру, в результате неадекватной работы датчиков уровня топлива, провоцирующей включение аварийной лампочки «неисправность ДЭС». Возможно, было бы разумно предусмотреть вариант работы с отключением некоторых источников сигналов. Также, на сегодняшний день автоматика не контролирует техническое состояние подвижных частей агрегатов (правильность регулировки клапанов газораспределения, натяжение приводных ремней, работу форсунок), если речь идёт о дизель-электростанциях, обозначенных выше. Поэтому, автоматика значительно упрощает работу трудящихся в малой энергетике, но не отменяет надобности квалифицированных специалистов.

Список литературы:

1. Дизель-генераторы типа ДГМ-100. Руководство по эксплуатации У45 РЭ-1 / В.Р. Малышева, И.А. Азисов, М.С. Сафонова, Н.И. Бирюкова. Барнаул, 1988. 181 с.
2. ГОСТ Р 50783-95 Электроагрегаты и передвижные электростанции с двигателями внутреннего сгорания. Общие технические требования. Режим доступа. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003539>. (Дата обращения 20.04.2017)
3. Электростанция 99Х6. Техническое описание. Министерство Обороны Российской Федерации. 91 с.

РАЗДЕЛ 2. МАТЕМАТИКА

2.1. ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

ОПТИМАЛЬНЫЕ СЛОВАРНЫЕ РАСКРАСКИ ВЗВЕШЕННЫХ ГРАФОВ

Смирнова Татьяна Геннадьевна

*канд. физ.-мат. наук, доц., Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
РФ, г. Нижний Новгород*

OPTIMAL WORD COLOURINGS OF WEIGHTED GRAPHS

Tatyana Smirnova

*candidate of physical and mathematical sciences, associate professor,
Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod,
Russia, Nizhni Novgorod*

Аннотация. Правильная словарная раскраска графа есть сопоставление его вершинам слов, при котором слова, соответствующие смежным вершинам, находятся в отношении антипрефиксности. В статье изучаются классы графов, для которых возможно нахождение оптимальной словарной раскраски графа за полиномиальное время.

Abstract. A regular word colouring of a graph is a correspondence between words and its vertices under which the words corresponding to adjacent vertices are in the antiprefix relation. In the present article we are studying the classes of graphs for which is possible the finding an optimal word colouring of the graph for polynomial time.

Ключевые слова: правильная словарная раскраска графа, неравенство Мак-Миллана, оптимальный префиксный код.

Keywords: regular word colouring of a graph; hydraulic systems; Macmillan's inequality, optimal prefix coding.

В работе рассматривается задача о правильной словарной раскраске [1, 2] обыкновенного графа, которая представляет собой обобщение хорошо известной задачи о правильной вершинной раскраске графа.

Правильной словарной раскраской обыкновенного графа $G = (V, E)$ называется функция $f : V \rightarrow A^+$, где $A = \{0, 1, \dots, q-1\}$ ($q \geq 2$), такая, что слова, соответствующие смежным вершинам графа, находятся в отношении антипрефиксности:

$$(v_i, v_j) \in E \Rightarrow f(v_i) \prec \succ \quad , \quad (1)$$

(здесь $\prec \succ$ – отношение антипрефиксности на паре слов, означающее, что никакое из них не является начальным отрезком другого). Две вершины графа назовем соцветными, если существует такая правильная словарная раскраска этого графа, при которой этим вершинам сопоставлены одинаковые слова.

Правильная словарная раскраска графа G может быть задана словарным вектором $f(G) = \langle f(v_1), \dots, f(v_n) \rangle$. Характеристикой словарной раскраски $f(G)$ графа G является спектральная функция словарной раскраски: $d(f(G)) = \langle d(f(v_1)), \dots, d(f(v_n)) \rangle$, где $d(\alpha)$ – длина слова α , которую будем называть спектром длин словарной раскраски.

Пусть $M(G)$ – спектральная матрица графа G , строками которой являются минимальные попарно несравнимые спектры длин словарных раскрасок графа G . Отметим, что множество строк $M(G)$ конечно для любого графа по теореме Диксона и для любого графа может быть расшифровано, однако сложность расшифровки спектральной матрицы $M(G)$ может быть велика, так как задача относится к числу NP -трудных задач.

Для полных графов K_n правильные словарные раскраски – это в точности префиксные коды. Так как необходимое и достаточное условие существования правильной словарной раскраски K_n есть неравенство Мак-Миллана:

$$\sum_{i=1}^n q^{-d(f(v_i))} \leq 1, \quad (2)$$

а правильная словарная раскраска на каждой клике графа G должна быть префиксным кодом, получаем очевидное необходимое условие существования правильной словарной раскраски G в виде системы неравенств Мак-Миллана:

$$\sum_{v_i \in B_j} q^{-d(f(v_i))} \leq 1 \quad (j = 1, \dots, r), \quad (3)$$

где: $\{B_1, \dots, B_r\}$ – множество всех клик графа G .

При $r = 1, 2$ система неравенств (3) определяет также и достаточное условие существования правильной словарной раскраски G , однако при $r \geq 3$ подобное утверждение не имеет места.

Рассмотрим взвешенный граф (G, p) , на вершинах которого задана вероятностная функция $p: v_i \rightarrow p_i$, где $0 < p_i < 1$ для всех $i = 1, \dots, n$, $\sum_{i=1}^n p_i = 1$. Величину $C(f(G), p) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot d(f(v_i))$ назовем стоимостью словарной раскраски $f(G)$ взвешенного графа (G, p) .

Правильная словарная раскраска $f^*(G)$ называется оптимальной, если

$$C(f^*(G), p) = \min_{f(G)} C(f(G), p). \quad (4)$$

Обратим внимание, что для полного взвешенного графа (K_n, p) оптимальная правильная словарная раскраска – есть в точности оптимальный префиксный код, который может быть получен при помощи алгоритма Хаффмана [3]. В общем случае задача оптимальной словарной раскраски взвешенного графа (G, p) включает в себя две проблемы: во-первых, построение спектральной матрицы графа G , во-вторых, минимизация линейной формы относительно вероятностного вектора p .

Граф $G = (V, E)$ называется r -дольным, если множество его вершин можно разбить на r непересекающихся подмножеств V_1, V_2, \dots, V_r , так что каждое ребро графа G инцидентно вершинам из разных подмножеств V_i и V_j , где $i \neq j$. Полным r -дольным графом называется r -дольный граф G с разбиением вершин на доли

V_i, V_2, \dots, V_r , при котором каждая вершина любой из долей V_i , где $i = 1, 2, \dots, r$, соединена со всеми вершинами каждой из остальных долей.

Пусть $V_1 = \{v_1^1, v_2^1, \dots, v_{i_1}^1\}$, $V_2 = \{v_1^2, v_2^2, \dots, v_{i_2}^2\}, \dots, V_r = \{v_1^r, v_2^r, \dots, v_{i_r}^r\}$ - разбиение вершин полного r -дольного графа G . В этом графе имеется в точности $i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_r$ клик, которые могут быть перечислены с помощью прямого произведения $V_1 \times V_2 \times \dots \times V_r$. Следует отметить [4], что у графов рассматриваемого класса количество клик может быть асимптотически максимальным (порядка $3^{n/3}$), поэтому сложность расшифровки спектральной матрицы для полного r -дольного графа может быть весьма велика.

Рассмотрим полиномиальный алгоритм построения оптимальной правильной словарной раскраски для класса полных r -дольных графов.

Пусть (G, p) - взвешенный полный r -дольный граф, множество вершин которого разбито на доли $V_1 = \{v_1^1, v_2^1, \dots, v_{i_1}^1\}$, $V_2 = \{v_1^2, v_2^2, \dots, v_{i_2}^2\}$, $\dots, V_r = \{v_1^r, v_2^r, \dots, v_{i_r}^r\}$, и каждой вершине v приписана вероятность p .

Теорема 1. Если $f^*(G)$ – оптимальная правильная словарная раскраска взвешенного полного r -дольного графа (G, p) , тогда вершины, принадлежащие каждой доле графа, соцветны, т. е. $f^*(v_1^k) = f^*(v_2^k) = \dots = f^*(v_{i_k}^k)$ для всех $k = 1, 2, \dots, r$.

Теорема 2. Стоимость оптимальной правильной словарной раскраски полного r -дольного графа (G, p)

$$C(f^*(G), p) = \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^{i_k} p_j^k \cdot d(f^*(v_j^k)) = \sum_{k=1}^r d(w_k) \sum_{j=1}^{i_k} p_j^k, \quad (5)$$

где: $w_k = f^*(v_1^k) = f^*(v_2^k) = \dots = f^*(v_{i_k}^k)$ для всех $k = 1, 2, \dots, r$

Таким образом, для нахождения оптимальной правильной словарной раскраски взвешенного полного r -дольного графа (G, p) , имеет место следующий алгоритм.

Шаг 1. Определяем $p_k = \sum_{j=1}^{i_k} p_j^k$ для всех $k = 1, 2, \dots, r$. Пользуясь алгоритмом Хаффмана находим оптимальный префиксный код (w_1, w_2, \dots, w_r) относительно вероятностного вектора (p_1, p_2, \dots, p_r) .

Шаг 2. Находим оптимальную правильную словарную раскраску взвешенного полного r -дольного графа (G, p) , учитывая соцветность вершин из каждой доли графа. Получаем $f^*(v_1^k) = f^*(v_2^k) = \dots = f^*(v_{i_k}^k) = w_k$ для всех $k = 1, 2, \dots, r$.

Оценивая трудоемкость отдельных шагов алгоритма, можно установить, что она равна $O(n \cdot \log n)$, где n - число вершин графа.

Список литературы:

1. Марков Ал.А., Смирнова Т.Г. О словарных раскрасках и некоторых совершенных графах // Дискретная математика. – 1990. – Т.2. Вып.2. – С. 16–32.
2. Смирнова Т.Г. О хроматической размерности графов // Дискретная математика. – 1989. – Т.1. Вып.3. – С.139–140.
3. Huffman D.A. A method for the construction of minimum redundancy codes // Proc.IRE. – 1952. Vol.40. – P.1098–1101.
4. Moon J.W., Moser L. On cliques in graphs // Israel J. Math. – 1965. Vol. 3. – P. 23–28.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам V международной заочной
научно-практической конференции*

№ 4 (5)
Май 2017 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 18.05.17. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 3,75. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
127106, г. Москва, Гостиничный проезд, д. 6, корп. 2, офис 213
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленного оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru