

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В. И. ВЕРНАДСКОГО»

## **СБОРНИК ТЕЗИСОВ УЧАСТНИКОВ**

IV научно-практической конференции  
профессорско-преподавательского состава,  
аспирантов, студентов и молодых ученых

**«ДНИ НАУКИ КФУ им. В.И. ВЕРНАДСКОГО»**

г. Симферополь 2018 год

---

**Техническая редакция и верстка:**

Отдел организации научно-исследовательской работы студентов и конкурсов Управления организации научной деятельности Департамента научно-исследовательской деятельности ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

IV научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского» / Сборник тезисов участников/ Том 6. Физико-технический институт / Симферополь, 2018

В сборник включены доклады участников IV научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского», отражающие достижения научных и практических изысканий в сфере естественных, гуманитарных, технических наук и информационных технологий.

Работы публикуются в редакции авторов. Ответственность за достоверность фактов, цитат, собственных имен и других сведений несут авторы.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

(наименование секции)

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ГРАНИЦЫ ДЛЯ РАСЧЁТА  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CUDA

Чабанов В.В.

*ассистент кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического  
института КФУ*

[chabanov.vv@cfuv.ru](mailto:chabanov.vv@cfuv.ru)

**Введение.** В качестве модели для тестирования алгоритма рассматривался синхронный электродвигатель с гладким статором (рис. 1). Число полюсов 18. Вал 1 и втулка 2 изготовлены из магнитомягкой стали. Постоянные магниты 3 намагничены вдоль оси полюса. Как правило, применяются магниты NdFeB.

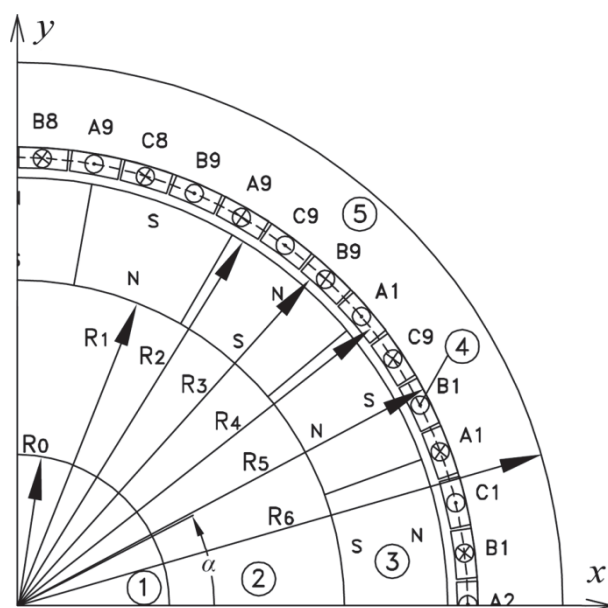


Рис. 1 Фрагмент сечения электродвигателя плоскостью перпендикулярной его оси (оси z)

Трёхфазная обмотка двигателя набирается из 27 катушек (по 9 катушек в каждой фазе). Каждая катушка содержит  $w$  витков медного провода диаметром  $d$  (с изоляцией) и  $d_0$  (без изоляции). Обмотка статора, как и магнитная система ротора, в каждой фазе имеет 18 полюсов. Пакет статора 5 шихтованный. Катушки в каждой фазе соединены последовательно и питаются трёхфазным синусоидальным напряжением.

Расчёт оптимальных характеристик подобных электромеханических систем производится в основном на основе сеточных алгоритмов. Недостатками этих алгоритмов

является необходимость явно задавать граничные условия на внешней поверхности электродвигателя, а также отсутствие возможности разделить источники поля на две независимых группы: первичные и вторичные источники.

Вышеперечисленных недостатков лишён метод интегральных уравнений. Но ввиду того, что решение системы интегральных уравнений часто требует больших временных затрат применение этого метода ограничено относительно простыми системами.

**Цель работы** – анализ возможности применения программно-аппаратной архитектуры параллельных вычислений CUDA для ускорения решения систем интегральных уравнений, а также разработка соответствующего алгоритма на примере расчёта магнитного поля электродвигателя с постоянными магнитами.

**Задача:** разработать алгоритм и написать программу для эффективного решения систем нелинейных интегральных уравнений в применении к задаче расчёта магнитного поля электромеханических систем.

Большинство электромеханических систем слишком сложны, чтобы получить аналитическое решение системы интегральных уравнений, поэтому такие уравнения решают численными методами, например сведением их к системе линейных алгебраических уравнений.

Краткая схема работы алгоритма:

Исходные данные о геометрии системы представлены в виде прямых и дуг, пересекающихся в узловых точках и образующих группы замкнутых контуров.

На основании исходной информации строится семейство первичных дискретизаций с малым числом разбиений. По этим дискретизациям формируются и решаются СЛАУ.

Благодаря информации, полученной с предыдущего этапа, формируется новое семейство дискретизаций.

Последний шаг повторяется до достижения необходимой точности расчёта или максимального числа граничных элементов.

Суть метода заключается в формировании и выборе наилучших дискретизаций на каждом шаге алгоритма, а за счёт использования CUDA достигается ускорение работы алгоритма как целого.

**Выводы.** Разработан алгоритм и написано программное обеспечение, выполняющее автоматическое построение дискретизации границы электромеханической системы на примере электродвигателя с постоянными магнитами. Алгоритм использован в процесс решения задачи расчёта магнитного поля, а именно для эффективного решения системы интегральных уравнений за счёт адаптивного перестроения дискретизации границы.

Разработанный алгоритм адаптирован для работы на оборудовании, поддерживающем архитектуру параллельных вычислений CUDA, что приводит к существенной экономии временных ресурсов.

В качестве развития планируется расширить область задач, на которых можно применить описанный алгоритм.



## ИНТЕРНЕТ КАК ПОЛЕ РАЗВИТИЯ НОВОГО ЧЕЛОВЕКА

Здоров А. А.<sup>1</sup>, Лыхина Ю. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>студент кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-Технического  
Института КФУ

<sup>2</sup>старший преподаватель кафедры философии естественнонаучного профиля  
Таврической академии КФУ  
[zdorow.andrey@mail.ru](mailto:zdorow.andrey@mail.ru)

**Введение.** Глобальная сеть Интернет – символ рубежа XX и XXI столетий, одно из наиболее впечатляющих воплощений современной технологической мысли – становится все более мощным фактором влияния на сознание все большего числа людей.

Тема изменений, происходящих в сознании и поведении при участии Интернета, чрезвычайно широка и многогранна. Попытки системной концептуальной проработки соответствующей проблематики сталкиваются с трудностями особого рода.

В настоящее время сетевые коммуникации развились из простого теоретического проекта в новую эмпирическую реальность.

Электронный обмен информацией развивается все быстрее, манифестацией динамики, которой являются социальные сети, чаты, форумы, электронная почта и прочие средства обмена данными.

Перманентная возможность доступа в интернет в корне изменяет принцип приобретения знаний, как имеющих в письменной форме, так и разработанных в электронном варианте.

**Целью работы** является исследование процесса влияния сети Интернет на сознание людей. Для достижения цели необходимо выполнить поставленные **задачи**:

- изучить процесс становления сети Интернет;
- рассмотреть методы влияния сети Интернет на ценностные ориентиры людей.

**Методика исследования** базируется на методах изучения, анализа, наблюдения и обобщения информации, которые позволяют исследовать сеть Интернет и ее роль в современном мире виртуальной реальности.

**Результаты исследования.** На базе использования высоких технологий в последние десятилетия началось формирование отраслей, специфическим образом сочетающих формы материального производства и услуг: речь идет о производстве программных продуктов, развитии средств связи, возникновении целой сети Интернет-услуг.

Интернет, часто выступающий в роли «общего места» ряда исследований, презентуется как нечто привычное и потому не нуждающееся в определении и исследовании; а, вместе с тем, круг дефиниций, его детектирующий довольно ограничен (виртуальность, коммуникация, симуляция...).

Теории информационного общества сыграли значительную роль в разработке новых подходов к изучению коммуникации во второй половине XX века.

В сравнении с другими СМИ (газеты, журналы, листовки, брошюры и т. д.), информация в глобальной сети является более доступной (т. к. она доступна любому лицу, подключенному к сети Интернет), регулярно обновляется, не имеет ограничений по объему, сопровождается большим количеством графической информации (фото, видео).

Отсутствие пространственных границ делает информацию, размещенную в Интернете, доступной независимо от местонахождения пользователя.

Интернет как неотъемлемое социально-культурное явление указывает на технологию коммуникации, а сама коммуникация осуществляется через предоставляемые им услуги. Таким образом, социальные сети сопоставимы в текущей социокультурной ситуации со СМИ, поскольку аудитория некоторых Интернет-ресурсов вполне сопоставима, а иногда превышает аудиторию многих газет, радиостанций и телеканалов.

**Выводы.** Интернет обладает массой достоинств, которые облегчают повседневную жизнь современного человека. Благодаря научно-техническому прогрессу ежедневное общение и обмен информацией стали происходить быстрее и удобнее. Всем известно, что Интернет сближает общество на глобальном уровне: его используют для создания и развития бизнеса, для импорта и экспорта товаров, для отдыха и релаксации, поиска данных и любой информации, то есть для мировой торговли и коммуникации.

Однако в связи с бурным развитием технологий коммуникаций, люди не успевают адаптироваться под новые возможности что вызывает разного рода расстройства, и зависимости, однако большая часть из них – это развывшиеся аддукции из реального мира, которые в цифровом мире подкрепляют и дополняют друг друга.

Таким образом, Интернет оказывает значительное влияние на ценностные ориентиры молодежи, он плотно вошел в обиход современного человека, грань между виртуальностью и реальностью стала очень тонкой.

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СВЕРТОЧНОЙ ИСКУССТВЕННОЙ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ

Михерский Р.М.

*доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования  
Физико-технического института КФУ*

[mrm03@mail.ru](mailto:mrm03@mail.ru)

В настоящее время для распознавания зрительных образов наиболее перспективными являются два подхода: сверточные нейронные сети и искусственные иммунные системы. Каждый из этих подходов имеет свои преимущества и недостатки. Так сверточные нейронные сети обладают хорошим качеством распознавания образов и имеют высокую скорость распознавания. В свою очередь искусственные иммунные системы имеют высокую скорость обучения и возможность обучения новому образу в любой момент работы этих систем.

В данной работе предложен новый тип искусственных иммунных систем – сверточная искусственная иммунная система.

На первом этапе в этой системе производится многократная свертка исходных изображений, с использованием нескольких жестко заданных ядер свертки.

На втором этапе, на основании полученных в результате свертки данных, создаются «вирусы», используемые для обучения искусственной иммунной системы.

На третьем этапе обученная искусственная иммунная система используется для классификации изображений. Предварительно эти изображения подвергаются свертке и на их основе также создаются «вирусы».

Построенная сверточная иммунная система обладает хорошим качеством распознавания образов и высокой скоростью обучения.

# СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ 3D-ПРИНТЕРОМ ДЛЯ ПЕЧАТИ ШОКОЛАДОМ

Мустафаева М.И. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>студентка кафедры компьютерной инженерии и моделирования  
Физико – технического института КФУ

научный руководитель: к. т. н., доцент Сосновский Ю.В.  
meryemka\_142@mail.ru

**Введение.** В современном мире технологии 3D-печати открывают новые возможности в самых разных областях деятельности. В данной статье будет описываться новая технология создания объектов и предметов с помощью пищевого материала – шоколада. Шоколадный 3D-принтер позволяет создавать объемные фигуры, эксклюзивные сувениры, шоколадные композиции. Преимущества использования 3D-принтеров: моделирование элементов любой сложности и формы, быстрота и высокая точность изготовления.

**Цель работы** – разработка системы управления 3D-принтером для печати пищевым материалом – шоколадом. **Задачи работы:** исследование данного материала, подборка режимов печати (температуры, скорости подачи, толщина слоев и т.п.), создание специальной печатающей головки, адаптация ПО и системы управления под указанный материал.

**Результаты исследований.** В первую очередь для реализации шоколадного принтера изучены особенности технологии печати: объектом исследования стал шоколад различных видов, а предметом – состав и свойства. В качестве исследуемого вещества были использованы образцы темного шоколада, проведен ряд экспериментов. На начальном этапе использовалось ручное управление печатающей головкой, при этом основная задача заключалась в поиске оптимальной консистенции, температуры материала, скоростей подачи и движения головки. Некоторые результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1. Экспериментальные данные

Форма	T°C	Число слоев	t,c	v,см/с	Толщина, см
Прямоугольник	23	5	74	0,94	1,1
Ромб	23	7	93	1,2	1,2

Для работы с 3D-принтером и процесса создания модели необходимо привлекалось следующее программное обеспечение:

1. Среда программирования «Arduino IDE» – для корректировки прошивки (задания собственных особых настроек для нестандартного материала печати, а также настройка механики принтера), компиляции и загрузки прошивки в управляющий контроллер Arduino Mega 256;
2. Программа «Marlin» – основа т.н. прошивки, которая в ходе работы над проектом подверглась некоторой доработки и существенным изменениям в части настроек температур, подач и т.п.
3. Программа «Pronterface» – для программного взаимодействия с ПО принтера, в частности для проверки работы принтера, предварительного нагрева стола перед печатью, текущих настроек, контроля температуры и т.п. Также эта программа осуществляет управление принтером, загружая в него управляющие команды траектории движения в виде G-кодов. Пример интерфейса программы показан на рисунке 1. Кнопка «Port» позволяет автоматически определить подключенный COM порт, следующая графа – выбранный COM порт, далее выбираем подходящую скорость, завершающее нажатие кнопки – «Connect». После того, как подключение

- было выполнено, отображается информация. К примеру, с помощью команды M119 сообщается состояние концевых датчиков;
4. **G-код** – язык программирования для станков с числовым программным управлением. Для анализа **G-кода** у использовался онлайн сервис «Gcode.ws», позволяющий формировать нужные управляющие команды в формате, доступном для ПО управления принтером;
  5. Слайсер Slic3r – использовался для конвертации модели из стандартных форматов, поддерживаемых САПР, к примеру .STL в формат, предназначенный для встроенного ПО принтера, т.е. фактически обеспечивал процесс подготовки слоев и траекторий модели к печати.

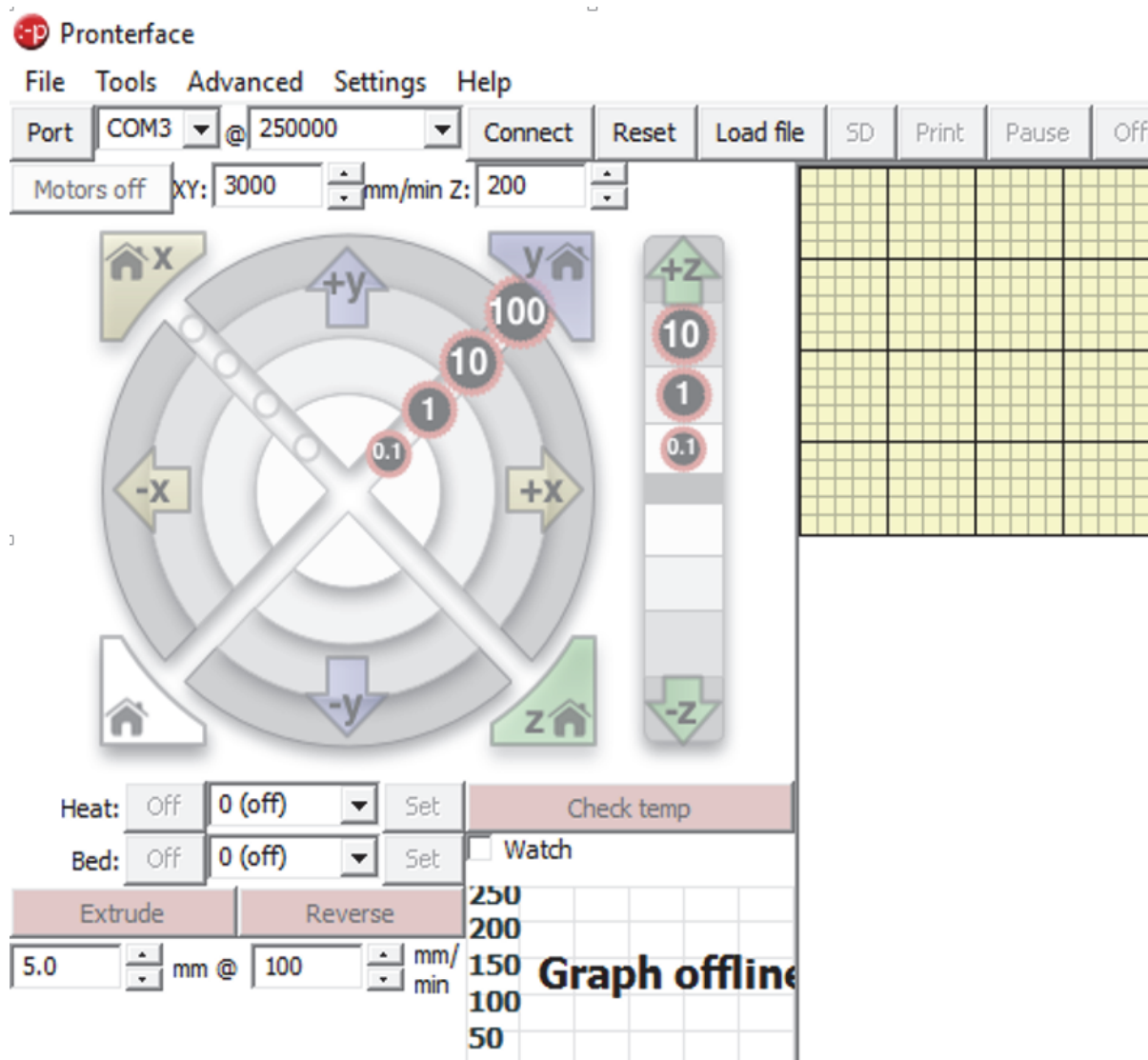


Рис.1 Интерфейс программы «Pronterface»

**Выводы.** В ходе работы собрана механическая часть принтера, выполнена работа по определению оптимальной консистенции, температуры материала, скоростей подачи и движения головки применительно к нестандартному материалу для печати – шоколаду. Выполнено изменение и настройка базовой прошивки «Marlin», настройка механической и программной системы 3D-принтера.

## СЕРВЕРА-ЛОВУШКИ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ МОДЕЛИ СЕТЕВОГО ВТОРЖЕНИЯ

Дмитренко П.С.<sup>1</sup>, Сагатов Е.С.<sup>2</sup>, Шкирдов Д.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*ассистент кафедры компьютерной инженерии и моделирования  
Физико-технического института КФУ*

<sup>2</sup>*к.т.н., доцент кафедры суперкомпьютеров и общей информатики  
Самарского университета*

<sup>3</sup>*студент кафедры суперкомпьютеров и общей информатики Самарского университета*

**Введение.** С начала публичной эксплуатации глобальной сети она подверглась нападениям злоумышленников. Первоначальная цель злоумышленников заключалась в нанесении ущерба другим пользователям глобальной сети, в настоящее время действия злоумышленников все чаще направлены на то, чтобы нарушить техническую инфраструктуру сети в целом. Для достижения этих целей злоумышленники объединяются в группы и координируют свои действия, совершенствуя методы нападения. К деструктивным действиям частных лиц в последние десятилетия активно подключаются специальные службы многих государств, способные влиять на методы вторжений еще на этапе создания сетевого сервиса. Таким образом, осуществлять эффективный контроль над вторжениями достаточно тяжело, так как новые методы взлома появляются и совершенствуются постоянно. Для того, чтобы держать под контролем процесс появления новых технологий сетевых вторжений необходимо построить соответствующую модель.

**Целью работы** является разработка модели вторжения с использованием серверов-ловушек. Модель сетевых вторжений должна содержать ранжированный список типов атак для сетевых сервисов, а также базу данных IP адресов, с которых осуществляются вторжения. Сначала необходимо идентифицировать тип атаки, а потом найти сколько раз повторяется этот тип.

При создании измерительной инфраструктуры необходимо решить две основных проблемы. Первая из них касается конструкции измерительного узла, то есть набора информационных сервисов, инсталлированных на сервере ловушке, а также способе сбора информации о сетевой активности. Вторая проблема заключается в выборе мест для размещения серверов ловушек, а также способов управления полученной сетью.

В качестве операционной системы для сервера ловушки выбрана GNU Debian/Linux. Так как любое сетевое обращение к серверу осуществляется по коммуникационному порту, то контроль над портами является первостепенной задачей. Для осуществления этого контроля применяется ряд программных средств, к ним относятся wireshark, который записывает на внешнем порту весь трафик, утилита iptables, которая управляет межсетевым экраном, а также пакет sFlow предназначенный для учета трафика по технологии NetFlow.

В данной работе предложен подход, основанный на понятии ловушки (honeypot, приманка). Под ловушкой будем понимать сервер с реальным IP-адресом, на котором установлено программное обеспечение, реализующее ряд популярных Интернет сервисов. Задача ловушки состоит в привлечении злоумышленников, записи их действий и последующем их анализе. Поэтому запросы к такому серверу, особенно многократные, можно классифицировать, как аномальную сетевую активность.

Таким образом, была определена конструкция измерительного узла. Но для проведения измерений одного узла недостаточно, для проверки данных необходимо развернуть целую сеть таких узлов. Места их расположения зависят от сообщества, для которого необходимо построить модель сетевой атаки. Так как мы пытаемся построить такую модель для европейской части России, то и сервера ловушки разместим в Самаре, Ростове на Дону и Крыму. Выбор места размещения определялся простотой их развертывания. Для того, чтобы провести дополнительную оценку полученных данных мы инсталлировали подобный сервер на одном из хостингов в США.

Указанная инфраструктура, состоящая из четырех серверов ловушек, была полностью запущена в эксплуатацию в середине марта 2017 года. Информация с тех пор собиралась и накапливалась без перерыва, и мы проанализировали данные за год.

**Результаты исследований.** Системе серверов-ловушек удалось собрать колоссальный объем данных за время её работы. Впоследствии эти данные были обработаны и собраны в файлы-журналы по различным категориям. Количество запросов к серверам-ловушкам показано в таблице 1.

Таблица 1 – Количество запросов

	США	Крым	Ростов на Дону	Самара
ВСЕГО	9524	61442	9272	41359

Обращения к серверам-ловушкам осуществлялись сразу из нескольких стран. Распределение IP-адресов по странам показано на рисунке 1.

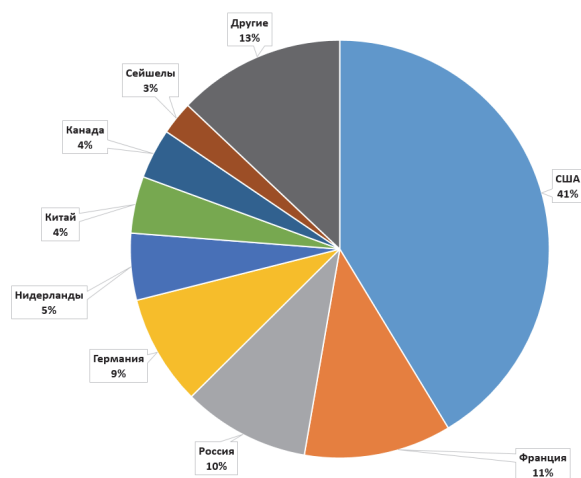


Рисунок 1 — Распределение адресов по странам

На данный момент в базу черного списка включено 387 адресов.

**Выводы.** В ходе выполнения работы разработана модель вторжения с использованием серверов-ловушек, географически размещенных в Самаре, Ростове-на-Дону, Крыму, США. За год работы собран и обработан огромный объем запросов к различным сетевым сервисам серверов-ловушек. Обращения к сервисам систематизированы как географически, так и по типам. Выявлены различные типы атак на открытые уязвимости honeypot'ов. На основании полученных данных составлен ранжированный список типов атак для сетевых сервисов, базу данных IP адресов, с которых осуществляются вторжения, идентифицированы типы атак, определено количество их повторений. В ходе работы продолжается сбор данных с серверов-ловушек для получения более точных результатов.



# ИССЛЕДОВАНИЕ КОННЕКТИВНЫХ СВОЙСТВ СЕТЕЙ MANET С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Руденко М.А.

*к.т.н., доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования*

*Физико-технического института КФУ*

[maridigit@gmail.com](mailto:maridigit@gmail.com)

**Введение.** Современное общественное развитие тесно связано с процессом совершенствования информационных и компьютерных технологий. В Республике Крым актуальным направлением является развитие туризма, которое требует внедрения современных средств связи для организации гостиничного бизнеса, проведения экскурсий и облегчение коммуникаций для повышения привлекательности отдыха. Многие учреждения и предприятия заинтересованы в развертывании беспроводных самоорганизующихся сетей.

Однако постоянные изменения топологии, вызванные мобильностью узлов, делают маршрутизацию в беспроводных самоорганизующихся сетях сложной научно-технической проблемой. Наряду с обеспечением помехоустойчивости, безопасности передаваемых сообщений.

Решение приведенных проблем основывается на решении задач анализа и синтеза беспроводных сетей. Анализ представляет собой соответствие фактически полученных характеристик реальной беспроводной самоорганизующейся сети с проектными данными, обеспечивающие объективные оценки, которые позволяют определить режимы работы сети, источники понижения качества обслуживания и предоставить пути решения этих проблем.

**Цель работы** - исследования коннективных свойств сетей MANET с помощью имитационного моделирования.

**Задачи:** исследовать теоретические и практические аспекты построения беспроводных сетей и сетей MANET; разработка концепции и модели анализа и оценки коннективных свойств сетей MANET; оценка эффективности функционирования беспроводных самоорганизующихся сетей с помощью стохастических методов на основе экспериментальных данных, выявить параметры и характеристики для проведения имитационного эксперимента с помощью агентного моделирования; анализ результатов имитационного моделирования функционирования сети MANET, сформировать рекомендации по организации сети в зависимости от динамики топологии и активности мобильных узлов во времени.

Поскольку основной характеристикой беспроводных самоорганизующихся сетей является переменная топология, самый актуальный вопрос, который необходимо решить для её организации, – как эффективно построить маршрут между источником сообщений и адресатом. Протоколы маршрутизации делят несколько классов проактивные, в которых каждый узел строит свою таблицу маршрутизации и делится информацией об изменении топологии сети со своими соседями. Реактивные (работающие по запросу). Таблицы маршрутизации не строятся, маршрут составляется по мере необходимости. Используется широковещание для определения пути отправки сообщения. На практике используют гибридные протоколы. Крупная сеть делится на подсети. Внутри подсетей на узлах создаются таблицы маршрутизации. Маршрут через подсети составляется через широковещательные запросы и определение наиболее актуального в данный момент пути.

**Методика исследований.** Для эффективного анализа и оценки функционирования беспроводных самоорганизующихся сетей необходимо использовать имитационное моделирование, что позволит построить имитационные модели, с временными характеристиками узлов, а также с возможностью отображения их плотности, характера перемещений в различные временные интервалы.

**Результаты исследований.** В результате анализа особенностей реализации беспроводных мобильных самоорганизующихся сетей были выделены преимущества применения таких сетей. К преимуществам относится эффективное применение незадействованного вычислительного и телекоммуникационного ресурса множества мобильных устройств, скорость развертывания сети и возможность формирования самоорганизующихся сетей без опорных базовых станций.

Главной проблемой широкого распространения мобильных сетей, является проблема маршрутизации. Проектирование беспроводных самоорганизующихся сетей является сложной задачей, для решения которой недостаточно использовать один метод для моделирования всех процессов, связанных с преобразованием данных в современных сетях. Эффективные методы планирования для сбалансированного использования различных ресурсов беспроводных сетей должны учитывать случайный характер обращений к различным ресурсам при выполнении программы. Сложность прогнозирования числовых характеристик процессов в БСС, привело к необходимости использования теории случайных процессов и разработку на этой основе методов стохастического управления ими. Это требует изучения особенностей стохастических моделей, связанных с выполнением программ, методов и программных средств при проектировании БСС.

Реализация беспроводных мобильных самоорганизующихся сетей должна проводится с помощью программных продуктов имитационного моделирования. Средства моделирования должны обеспечивать построение структуры компьютерной модели на определенных уровнях её детализации, воспроизведение логико-аналитического описания элементов алгоритмической имитации её функционирования. Вышеназванные особенности сложных компьютерных сетей нуждаются в специальных подходах и технологиях построения и анализа моделей БСС. Применение имитационного моделирования в современном интегрированном виде расширяет возможности исследования сложных систем. На сегодняшний день перспективными являются задачи разработки инструментальных средств и технологий имитационного моделирования, сочетающих различные подходы к построению и исследованию моделей сложных систем.

**Выводы.** В работе были исследованы коннективные свойства сетей MANET с помощью имитационного моделирования беспроводных самоорганизующихся сетей. Разработана концепция коннективных свойств. Проведена оценка эффективности функционирования беспроводных самоорганизующихся сетей на основе экспериментальных данных, выявлены параметры и характеристики для проведения ИМ с помощью агентного моделирования. Оптимизированы адаптивные таблицы маршрутизации без снижения вероятности «гарантированной» доставки пакетов от узла источника к узлу назначения. Проведена зависимость показателей плотности и зон покрытия во времени к работоспособности сети. Благодаря полученным статистическим данным, был произведен имитационный эксперимент для моделирования плотностных характеристик радиовидимости окружения агентов сети. Имитационное моделирование, позволило отобразить динамические характеристики беспроводных самоорганизующихся сетей в определенные временные интервалы, на некоторой карте местности. Проанализированы полученные результаты моделирования функционирования сети MANET, сформированы рекомендации по организации сети в зависимости от динамики топологии и активности мобильных узлов во времени. Проведен сравнительный анализ зависимости вероятности «гарантированной» доставки пакетов данных к плотности узлов в пространстве.



## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ

Павленко Д.В.<sup>1</sup> Зуев С.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup> доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института КФУ

[carboneum.d@gmail.com](mailto:carboneum.d@gmail.com)

**Введение.** Одним из наиболее важных и востребованных направлений науки и медицины является изучение работы мозга и центральной нервной системы человека. Одним из общепринятых методов исследования является энцефалография, заключающаяся в измерении электрической активности головного мозга. Данные, полученные в ходе опытов, можно применять для выявления патологий, исследования мозговой активности и терапевтических методов лечения, которые предполагают использование специального оборудования и программного обеспечения для анализа значений. Усложняющим фактором в решении многих задач можно считать сложность разработки новых программ, поскольку производство полноценного набора оборудования для снятия энцефалограммы очень сложна, а представленные решения не рассчитаны для передачи данных сторонним программам или не передают нужные величины.

**Целью работы** является разработка программы, предназначенной для получения данных по протоколу lab streaming layer (LSL), обработки значений и передачи в любую программу или устройство.

Протокол LSL часто применяется в научном оборудовании для передачи данных в сторонние сервисы, в том числе в программном обеспечении энцефалографов российского производства, компании «Нейрософт», которые чаще всего применяются в Крымском Федеральном университете. По протоколу передаются данные энцефалографа о электрическом напряжении на участках поверхности головы человека. Передаваемые данные неприменимы для решения наиболее распространённых задач, необходимые значения можно получить после ряда ресурсозатратных вычислений.

Алгоритм работы разрабатываемая программы включает в себя получение и накопление данных электроэнцефалограммы (ЭЭГ), выделение частотных ритмов ЭЭГ, вычисление мощностей или соотношений мощностей выбранных пользователем ритмов, передачу полученных значений в сторонние программы, вывод графика амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ и полученных значений.

Пользователь имеет возможность выбрать ритмы, значения которых будут передаваться, эпоху анализа и количество накапливаемых данных, что влияет на скорость и точность обработки данных, тестовый режим передачи, другие параметры обработки ЭЭГ и тип выводимых значений и графика.

**Результаты исследований.** Разрабатываемая программа сильно упростит задачу по разработке программ подобным нейроинтерфесам, тренингов биологической обратной связи и даст возможность их тестировать, используя режим тестовой передачи.

**Выводы.** Внедрение данной программы позволит разрабатывать новые устройства и программное обеспечение, исключив из него работу ЭЭГ. Программу можно использовать как модуль управления для уже существующих и новых технологий.

## ОЦЕНКА РИСКОВ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ ALARP

Сосновский Ю.В.

*к.т.н., доцент Физико-технического института КФУ*  
[mailsender256@mail.ru](mailto:mailsender256@mail.ru)

**Введение.** В настоящее время развитие цифровой экономики страны приводит к активному внедрению информационных технологий в АСУ ТП. На практике внедрение информационных технологий значительно опережает разработку средств защиты информации (СЗИ), что повышает вероятность проявления угроз вредоносных программ.

Современные вредоносные программы (например, StuxNet) используют уязвимости программного кода АСУ ТП для внедрения и целенаправленного нарушения функционирования системы.

Для защиты информации в АСУ ТП, реализованных на микропроцессорной технике, необходим комплекс системных средств защиты от вредоносных воздействий. В работе рассматривается уровень микропроцессорных систем управления критически-важными информационными объектами. Данный уровень является составляющей частью различных АСУ ТП и не затрагивает напрямую системы сбора и контроля данных, функционирующие на высших уровнях под управлением операционных систем общего применения.

**Цель** работы – имплементация подходов методики ALARP в технологии оценки рисков микропроцессорных систем управления. Таким образом, **задача разработки** методики оценки рисков микропроцессорных систем управления в условиях вредоносных воздействий (ВВ) с целью априорной количественной оценки рисков нарушения функционирования МСУ критически важных объектов

При проведении исследований были приняты следующие допущения:

- оценка рисков успешных ИТВ нарушителя должна выполняться на стендовом полигоне, позволяющем создать требуемые тестовые условия для работы функциональных аналогов МСУ и имитации ИТВ;
- выделенные группы рисков нарушения функционирования МСУ возможно оценивать непосредственно на объекте с помощью мобильного тестового комплекса;
- предварительная оценка уязвимостей МСУ и угроз ВВ нарушителя позволяет сформировать возможные варианты СЗИ и выбрать наиболее эффективный из них.

Параметры защищенности МСУ определяются:

- эмпирически, на основе структурно-параметрического анализа особенностей построения, динамики функционирования и уязвимостей МСУ;
- экспериментально на основании частоты успешно реализованных угроз ВВ нарушителя.

В разработанной модели предполагается, что МСУ оснащена коммуникационной подсистемой. Коммуникационная подсистема выполняет такие функции, как взаимодействие с промышленными системами более высокого уровня, удаленное считывание данных с датчиков и запись их значений в исполнительные устройства посредством сетевых интерфейсов.

Коммуникационная подсистема МСУ, которая напрямую включена в контур управления технологическим процессом, и является основной уязвимостью для реализации нарушителем угроз ИТВ на ее протоколы передачи данных. Предполагается, что при реализации ИТВ нарушителем могут быть использованы недеklarированные возможности как в аппаратно-программных средствах МСУ, так и в программируемых маршрутизаторах сети передачи данных на различных уровнях АСУ ТП.

Статистическая оценка защищенности МСУ состоит в проведении оценки защищенности МСУ по результатам имитационного и натурального моделирования. Оценка защищенности МСУ строится на контроле корректности функционирования системы управления по уровням эталонной модели взаимодействия открытых систем.

Для расчета показателей статистической оценки защищенности МСУ используется принцип ALARP и четыре установленные категории риска от недопустимого до не принимаемого в расчет.

Для оценивания риска в соответствие с принципом ALARP рекомендуется использовать четыре установленные категории рисков. Оценка риска заключается в сопоставлении риска, полученного на основе реальных данных, с установленной шкалой риска и присвоении риску по результатам сравнения одной из четырех категорий, которой сопоставляется диапазон значений уровня риска, в соответствии со шкалой риска, принятой для риска данного вида. Основным элементом является относительный шаг  $K$ , который определяет соотношение между уровнями риска. Уровни шкалы риска соответствуют границам установленных категорий риска относительно заданного допустимого уровня риска. Относительный шаг  $K$  шкалы риска определяется на основе имеющихся статистических данных и соотношения минимальных и максимальных значений частот и последствий

Соответственно, для каждого типа ВВ выбирается уровень допустимого риска и коэффициент относительного шага шкалы риска, позволяющий формализовать отнесения последствий реализации ИТВ к одной из четырех категорий риска, принятых согласно принципа ALARP, также индивидуально для каждого типа ИТВ выбираются значения функции значимости.

С учетом изложенного, итоговая интегральная оценка риска системы может рассчитываться по формуле

$$R = \frac{\sum_{j=0}^3 m_j r_j w_j}{W}$$

где:  $m_j$  - количество ВВ с уровнем риска  $J$ ;

$r_j$  - значение функции значимости соответствующего риска;

$w_j$  - условный вес соответствующего уровня риска;

$W = n \cdot k_3 \cdot w_3$ ,  $n$  - число типов ВВ.

Кроме того, в методике предлагается учитывать уровень проектной защищенности МСУ, соответствующий ее структурным построением и функциональным возможностям, определяемый дополнительными показателями

**Выводы.** Методика оценки рисков ВВ микропроцессорных систем управления с привлечением подходов ALARP позволяет решить несколько задач. Во-первых, корректно учитывать отдельные риски с учетом их значимости и весовых коэффициентов в общей модели рисков. Во-вторых, методика позволяет сформировать единый числовой показатель уровня риска системы, что важно для сравнения различных систем. В-третьих, дает возможность задавать требуемый уровень риска системы и закладывает алгоритмическую основу для дальнейшей работы над системой принятия решений по менеджменту рисками в системах автоматического управления при условии внешних вредоносных воздействий.

## РАЗВИТИЕ ОНЛАЙН ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ OPEN-SOURCE SOFTWARE И ТЕХНОЛОГИИ BLOCKCHAIN

Шостак Р.И.<sup>1</sup>, Мазинова А.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования,  
Физико-технический институт КФУ

<sup>2</sup> главный специалист Управления развития образования КФУ

**Введение.** В современном мире, в мире динамично развивающихся ИТ-технологий, всё большую популярность набирают платформы онлайн обучения. Настало время, когда создавать инфраструктуру онлайн обучения позволяют не только нормы и положения действующего законодательства Российской Федерации, но и современные информационные технологии, автоматизируя процессы обучения с момента зачисления на онлайн курс и до момента окончания обучения, получения электронного верифицированного сертификата образовательной организации или диплома об обучении. Всё это является благоприятной средой не только для сквозного проникновения информационных технологий и цифровизации образовательных процессов, но и законности такого вида обучения в России. Тем не менее, остаются нерешенные вопросы социальной адаптации к вызовам цифровой эпохи, относящимися к непрерывному повышению уровня квалификации и развитию новых навыков в интерактивном пространстве цифровой образовательной экосистемы. В этом отношении крайне важны активная политика на рынке труда, поддержка талантливой молодежи, непрерывное обучение и более гибкие образовательные системы.

В последнее время выходит очень много статей о проектах онлайн обучения, которые стали новым этапом в трансформации ныне существующей системы образования. Сейчас онлайн курсы более популярны за рубежом, тем не менее по данным международной ассоциация *Advanced Distributed Learning (ADL)* с 2005 года они достаточно динамично стали развиваться и на территории Российской Федерации. Многие университеты хотят идти в ногу со временем и готовы предложить дистанционный формат изучения нового материала и проверки знаний. Среди большинства ресурсов, предоставляющих возможность онлайн обучения, можно выделить четыре самых популярных: Coursera, edX, Udacity и KhanAcademy. Эти четыре ресурса отличаются, интерактивностью, новыми методическими приемами и, что самое главное, дают возможность любому желающему пройти обучение почти бесплатно.

**Цель** – создание инновационной интерактивной площадки онлайн обучения с использованием технологии Blockchain на основе программного обеспечения с открытым исходным кодом. **Задача:** разработать алгоритм и программное обеспечение

Сегодня Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского не аутсайдер онлайн обучения, а активно развивает это направление и прилагает все возможные усилия, делая ставку на будущее. Необходимость в импортозамещении программных продуктов и информационных систем для образовательной деятельности Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского как никогда актуальна. Исходя из этого, а также Приказа Минкомсвязи РФ от 01.04.2015 №96 «Об утверждении плана импортозамещения программного обеспечения» и плана импортозамещения, указанного в приложении к этому Приказу, было принято решение развернуть электронные площадки с открытым исходным кодом, которые дадут возможность создавать и эффективно развивать свои собственные платформы онлайн обучения и новые, востребованные электронные курсы под брендом Крымского федерального университета.

**Результаты исследований.** Цифровой образовательный кампус Крымского федерального университета (*edCampus - electronic education Campus*), пилотный проект которого развернут на платформе с открытым исходным кодом, позволяет использовать все современные формы обучения и передовые ИТ-технологии. Крымский федеральный университет реализует новые идеи для электронного обучения, помогая делать его

интересным, интерактивным и по своему живым. Основу технологии интерактивности edCampus Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского представляет собой XBlock-приложения (встраиваемые модули), состоящие из front-end части, написанной на языке JavaScript и back-end части, реализуемой с помощью языка Python. Например, в электронном курсе «Кристаллография» встроенные модули XBlock по нахождению индексов Миллера, а также модули проверки химических реакций позволяют проверить решения задач, выполнение интерактивных лабораторных работ. Обучающемуся, после просмотра небольшого видеоролика лекции, предлагают проверить свои знания. Вместо обычных электронных тестов и опроса, ему предлагается написать химическую реакцию определенного процесса или перетащить нужные элементы на правильные позиции, используя интерактивные возможности платформы edCampus Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Решение проверяется на сервере автоматически, с использованием современных ИТ-технологий в режиме реального времени. При разработке новых XBlock модулей достигаются несколько целей: хороший и правильный программный код, удобный пользовательский интерфейс, правильная передача концепции и самый современный, можно сказать инновационный образовательный подход.

**Выводы.** Следует отметить, что сегодня, в стенах Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского на кафедре компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института, для электронной платформы онлайн обучения ведутся активные разработки по выпуску и отслеживанию верифицированных цифровых академических сертификатов с использованием технологии Blockchain.

Что очень важно для развития современных образовательных технологий Крымского федерального университета и электронного обучения – это внедрение множества инновационных технологий в обучение, правильно используемых в онлайн курсах, позволяя им быть успешными. Отсутствие таких решений приводит к скучному и не интересному обучению, тормозя этот процесс и, следовательно, получение новых компетенций.

Делая выводы из выше сказанного можно смело утверждать, что онлайн курсы на платформе edCampus Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского с открытым исходным кодом – это не просто модно и современно, но и эффективно, удобно. Это шаг в будущее, шаг в новые цифровые образовательные технологии.

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ДВУХАЗОРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Филиппов Д.М.<sup>1</sup>, Козик Г.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института КФУ*

<sup>2</sup>*старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института КФУ*

[filippov.dm@cfuv.ru](mailto:filippov.dm@cfuv.ru)

**Введение.** В последнее десятилетие в научной литературе наблюдается повышенная активность в области изучения свойств двухазорных машин. Предлагаются новые конструкции, изготавливаются и испытываются полномасштабные рабочие прототипы, а также запускаются производства таких машин. Первые научные работы, посвященные исследованию новых облегченных машин с безжелезным статором и двухазорной конструкцией, относятся к 2005—2007 годам. Следует отметить существенный вклад в данные исследования британских (проф. Э.Спунер из Даремского университета, проф. М.Мюллер из



Института энергетики университета Эдинбурга и др.) и норвежских (проф. Р.Нильсен и проф. А.Нусвин из Норвежского университета естественных и технических наук и др.) учёных.

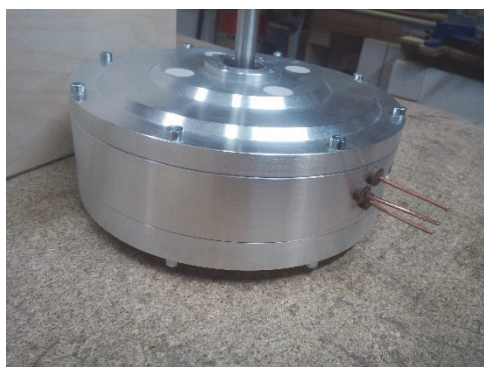
Машины средней мощности (до 100 кВт) находят своё применение, в частности, в качестве приводов для электротранспорта. Интенсивная работа по разработке таких приводов ведётся научной группой под руководством проф. М.Маккалоха на факультете инженерных наук Оксфордского университета.

Неоценимый вклад в развитие теории электрических машин с постоянными магнитами, в том числе с двухззорной конструкцией, внёс польский учёный Я.Гирас.

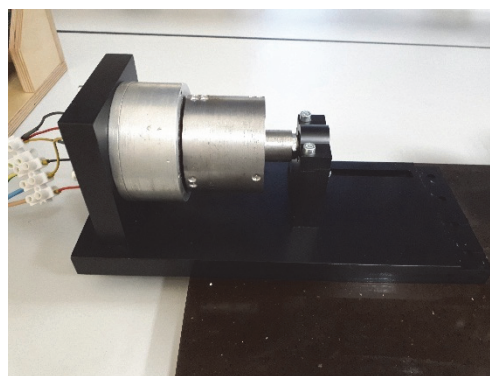
Отметим, что двухззорные машины востребованы на рынке электрических машин.

**Целью работы** разработка новых конструкций двухззорных электрических машин с улучшенными показателями энергоэффективности.

В работе исследовались машины с двумя различными топологиями магнитного поля: машина осевого потока (рис.1.а) и машина радиального потока (рис.1.б).



а)



б)

Рисунок 1. Двухззорные машина:

а) машина осевого потока; б) машина радиального потока

**Методика исследований.** Исследования проводились теоретическими и экспериментальными методами. Эксперименты осуществлены на специализированном стенде.

**Результаты исследований.** Проведены натурные испытания разработанных моделей в режиме генератора. Получены зависимости напряжения от частоты.

На рис.2.а приведены зависимости действующего значения линейного (график 1) и выпрямленного (график 2) напряжения от скорости вращения ротора, полученные для машины осевого потока.

На рис.2.б приведена зависимость действующего значения линейного напряжения от скорости вращения ротора.

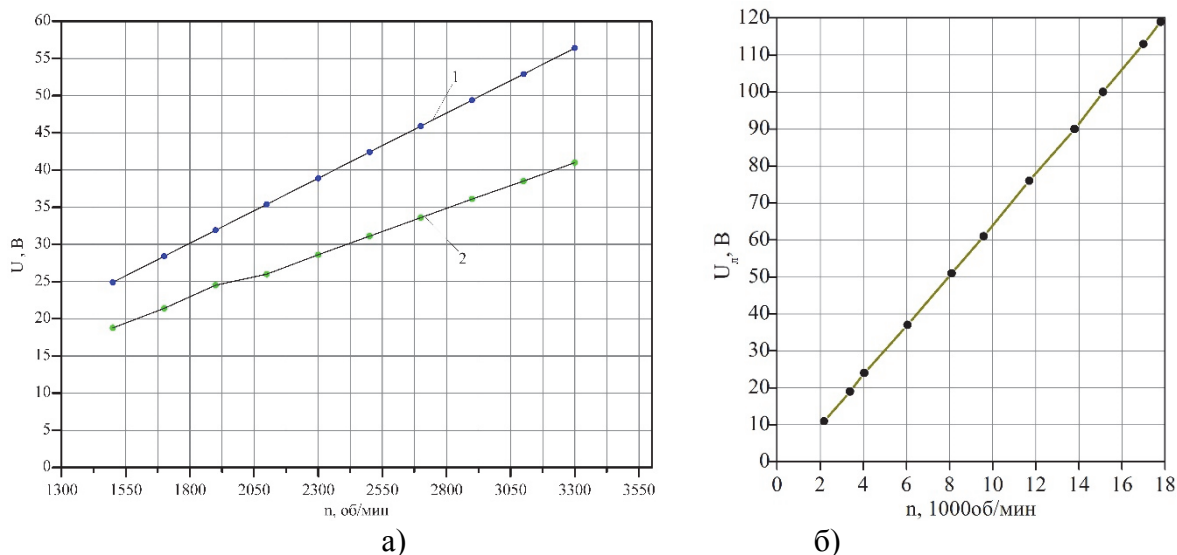


Рисунок 2. Зависимость напряжения от скорости вращения ротора:  
 а) машина осевого потока; б) машина радиального потока

Из приведённых зависимостей видно, что разработанная машина осевого потока может быть использована на практике в качестве генератора для зарядки АКБ (поскольку режим её работы в точности соответствует режиму заряда аккумуляторных батарей). Машина радиального потока позволяет рассматривать её в качестве высокоскоростного двигателя, который может применяться, например, в станках с ЧПУ. Так, при напряжении питания 340 В данная машина развивает скорость 37 000 об/мин.

**Выводы.** В работе проведена опытно-конструкторская разработка перспективных электрических машин с двухззорной магнитной системой.

## ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ АКАДЕМИЧЕСКИХ СЕРТИФИКАТОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ BLOCKCHAIN

Ожегов А.Ю.

*магистрант кафедры компьютерной инженерии и моделирования  
 Физико-технического института КФУ*

научный руководитель: к.т.н., доцент кафедры  
 компьютерной инженерии и моделирования Шостак Р. И.  
 Aleksandr.Ozhegov@kimkfu.ru

**Введение.** Blockchain является революционной технологией, которая может полностью преобразить сектор финансов и коммерции, государственного управления и, конечно же, образования. В данной работе мы исследуем потенциал данной технологии в сфере образования и его ценность применимо к самообучению. Выпускники могут предоставить свои дипломы тем, кому захотят, практически мгновенно, бесплатно и без привлечения посредников. Это особенно важно для студентов, которые должны предоставить работодателю или другому университету, верифицированный диплом.

**Целью** исследования является выявление проблем академических сертификатов и разработка путей их решения с применением технологии Blockchain.

**Результаты исследований.** Система обмена, предоставления и верификации официальных документов является медленной, сложной, дорогостоящей и при этом каждая структура имеет свои административные особенности. Приведем несколько примеров:

- у студентов нет простого и быстрого доступа к своим верифицированным образовательным документам;
- нет способа связать весь широкий спектр опыта и достижений в единую официальную академическую запись;
- работодатели отказываются отправлять официальные запросы в образовательные учреждения (слишком сложно, медленно и менее актуально);
- колледжам и университетам приходится слишком долго ждать поступления официальных документов, а затем проводить долгую процедуру по их верификации, зачастую с привлечением третьей стороны;
- переселенцы или беженцы могут потерять свою историю об образовании и не могут доказать, кто они (например, врачи или юристы).

Эти проблемы обусловлены отсутствием единой системы регистрации, хранения, учета и обмена данными в сфере образования. Все эти проблемы будут решены, когда каждый студент станет полноправным владельцем своих заслуг и когда база данных (Blockchain) не будет принадлежать какой-либо компании или правительству. Концепция всеобъемлющей единой сущности (централизованной базы данных) заменяется более гибкой системой для верификации определенных сведений о человеке, которыми он решил поделиться.

Одним из самых громких случаев в мире IT является снятие с должности бывшего генерального директора Yahoo Скотта Томпсона после того, как выяснилось, что он предоставил ложные сведения об ученой степени в области компьютерных наук колледжа Стоунхилл для того, чтобы претендовать на должность в Yahoo. Отдел кадров получил жесткий выговор и осуждение сообщества после ухода Томпсона из-за отсутствия должной осмотрительности со стороны компании по проверке каждого из документов, удостоверяющих опыт их будущего генерального директора.

Раньше единственным возможным способом, с помощью которого такие компании, как Yahoo, могли проверять академические достижения потенциальных сотрудников, было напрямую связаться с учебным заведением, которое выдало сертификат. Однако для рассмотрения запроса может потребоваться 1-2 недели, и для самого образовательного учреждения может потребоваться еще 1-2 недели для проверки данных.

Хотя этот метод, может быть, приемлем для небольших компаний, это чрезвычайно неэффективный способ для крупных корпораций, которые ежегодно нанимают тысячи людей в сотнях различных точках мира.

Сертификаты, грамоты, дипломы и другие достижения, которые мы получаем в течение всей нашей жизни, говорят о том, кто мы, позволяют нам стать теми, кем мы хотим быть. Данные о достижениях, таких как университетское образование, считаются более важными, чем другие. Но все эти достижения свидетельствуют о накопленном опыте, который является частью нашей жизни, подчеркивает определенные сферы интереса и сообщества, к которым мы принадлежим.

Устаревшие системы ограничили нашу способность создавать новые подходы к образованию. Проблема для людей без формального образования заключается в том, что чтобы перейти от обучения к работе, часто не хватает документов, подтверждающих набор профессиональных компетенций. Существующие системы учета данных об образовании в значительной степени способствуют формальному образованию по сравнению с другими формами образования, что усложняет разработку немаловажных программ дополнительного профессионального образования и курсов повышения квалификации.

Акцент на верификации документов только о формальном образовании влияет на учащихся всех возрастов. Дети, которые конструируют роботов в школьных кружках, например, но имеют трудности с алгеброй, окажутся в итоге плохими учениками. И взрослые, которые могли участвовать в разработке программного обеспечения с открытым исходным кодом в свое свободное время, но никогда не изучали компьютерные науки в университете, будут иметь проблемы при устройстве на работу на должность разработчика из-за отсутствия



формального образования. Кроме того, по мере ускорения темпов технологического развития возрастает потребность в том, чтобы мы учились на протяжении всей жизни, и нам нужны новые способы признания и организации широкого спектра достижений, чтобы они могли помочь нам развиваться, двигаться к поставленным целям.

Академические сертификаты относительно стандартизированы, в них указаны имя студента и название учреждения, дата выдачи и т.д. Но, несмотря на повсеместное применение такой системы, ее расширение ограничено двумя проблемами. Во-первых, у учащихся отсутствуют простые и удобные инструменты, которые позволили бы хранить и предоставлять свои сертификаты. Во-вторых, это неспособность университетов узреть преимущества перехода своих классических дипломов в полностью цифровую форму.

Существующая, система управления образовательными данными является медленной, сложной и относительно ненадежной. Создание цифровой инфраструктуры для выпуска и управления академическими сертификатами имеет много преимуществ. Тем не менее, ставки высоки, потому что такая система может расти в масштабах, что может дать новые или ограничить уже существующие возможности.

Благодаря Blockchain работодатель или другое учебное заведение, может легко проверить, что диплом является подлинным, без необходимости связываться с тем, кто выдал диплом. Используя специальный портал (веб сайт), работодатель может ввести ссылку или загрузить цифровой файл диплома и получить подтверждение подлинности немедленно.

**Выводы.** Интеграция текущей системы выпуска и управления академическими сертификатами с технологией Blockchain позволяет создать системы ведения цифровых записей, которые могут предотвратить мошенничество, открывать новые возможности того, как используются данные, и предлагать новые механизмы для обмена информацией. Первые варианты таких Blockchain-ориентированных систем недавно перешли от прототипов к коммерческим продуктам. Университетские отделы ведения данных в таких учреждениях, как Массачусетский технологический институт, Техасский университет в Остине и Никосийский университет, уже начали генерацию цифровых дипломов для своих выпускников. Международные организации по вопросам беженцев уже заинтересованы в том, чтобы предоставить их своим подопечным, которые переезжают из страны в страну, и могут не иметь возможности взять с собой бумажные сертификаты.

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ BLOCKCHAIN В МИРОВОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Ожегов А.Ю.

*магистрант кафедры компьютерной инженерии и моделирования*

*Физико-технического института КФУ*

научный руководитель: к.т.н., доцент кафедры

компьютерной инженерии и моделирования Шостак Р. И.

[Aleksandr.Ozhegov@kimkfu.ru](mailto:Aleksandr.Ozhegov@kimkfu.ru)

**Введение.** Академические сертификаты служат важными показателями навыков, компетенций и достижений. Образовательные учреждения должны стремиться к тому, чтобы их сертификаты были защищены от подделки и в то же время просто верифицировались. У каждой страны и каждого учебного заведения есть свой собственный процесс верификации академических сертификатов. Некоторые учебные заведения позволяют проверять подлинность своих сертификатов простым и быстрым запросом через онлайн сервисы. Другие же делегируют эту задачу третьим сторонам либо по выбору, либо из-за необходимости регулирования. Технология Blockchain может решить эти проблемы.

**Цель** работы – проанализировать существующий опыт использования технологии Blockchain в сфере образования в ведущих университетах мира.

**Результаты исследований.** Количество случаев мошенничества с академическими сертификатами возрастает, и это происходит как из-за подделок, так и из-за существующих недостатков в системах хранения и верификации сертификатов. Процессы создания и верификации сертификатов и дипломов могут быть дорогостоящими и трудоемкими. Если бы академические сертификаты помещались в Blockchain, то подлинность, целостность и доступность сертификата были бы гарантированы.

В настоящее время студенты могут представлять свои документы об образовании не только одной компании или организации. Они обучаются в различных учебных заведениях, и такое обучение, теоритически, может, продолжается на протяжении всей жизни. По этой причине важно, чтобы образовательные учреждения выдавали академические сертификаты в формате, в котором учащиеся могут иметь доступ к ним в любое время и дополнять их будущими достижениями.

Академические сертификаты, выпущенные с применением технологии Blockchain, могут в значительной степени улучшить мобильность студентов. Студенческая деятельность, с развитием информационных технологий, становится все более глобальной и, соответственно, требует большую мобильность. Именно поэтому студенты должны иметь возможность подтвердить свои достижения при смене учебного заведения. По мере того, как образование становится более диверсифицированным, демократичным, децентрализованным и беспристрастным, мы все равно должны заботиться о репутации, о доверии к сертификации. Blockchain может предоставить именно такую систему: общедоступную в любой момент и в любой точке земного шара, защищенную базу данных.

Проверка подлинности академических сертификатов посредством Blockchain может обеспечить большую прозрачность и безопасность, а так же снизить затраты, по сравнению с традиционными методами. Сегодня уже существуют институты, которые стали использовать технологии Blockchain – Университет Никосии, Массачусетский Технологический Институт, Университет Мельбурна и другие.

Но летом 2017 года, в рамках пилотной программы, группа из 111 выпускников стала первой, получившей возможность получить свои дипломы на свои смартфоны с помощью специального приложения, в дополнение к традиционному виду диплома. Пилотная программа была результатом сотрудничества между MIT Registrar's Office и Learning Machine, кембриджской компанией, работающей в сфере разработки программного обеспечения и расположенной в Массачусетсе.

Студенты получают полный контроль над тем, как они хранят и кому предоставляют своими сертификатами, с помощью приватного кошелька Blockcerts Wallet – мобильного приложения с открытым исходным кодом, доступным как для iOS, так и для Android. Технологий Blockcerts основана на Blockchain криптовалюты Bitcoin - открытом глобальном реестре, который регистрирует все транзакции в распределенной базе данных. Каждая транзакция представляется в виде блока, который зашифровывается, получает временную отметку, а затем добавляется к предыдущему блоку в цепочке. Запись о транзакции не может быть изменена после записи, поскольку любое изменение в одном блоке потребует изменения всех последующих блоков, а также потому, что информация распространяется по децентрализованной базе данных, состоящей из множества компьютеров по всему миру.

При необходимости можно предоставить сертификат третьим лицам, например потенциальному работодателю. Blockcerts позволяет мгновенно и абсолютно бесплатно верифицировать любой сертификат, что позволяет существенно сэкономить время как работодателю и соискателю, так и административному аппарату университета, что было бы невозможно при верификации традиционным способом. Кроме того, это снижает вероятность мошенничества и ошибок, тем самым повышая доверие работодателей, правительственных учреждений и т.д.

Университет Мельбурна стал первым университетом в Азиатско-Тихоокеанском регионе, который начал использовать технологию Blockchain для хранения сертификатов студентов. Университет выпускает свои сертификаты, называемые Melbourne Teaching Certificate, с использованием системы Learning Machine, представляющей собой платформу корпоративного уровня, упрощающую добавление записей в Blockchain. Джордж Кеннеди, проректор Мельбурнского университета, заявил, что очень рад тому, что внедрение нового метода выпуска сертификатов оказалось успешным.

В августе 2017 года компания Sony (мировой лидер в области производства электроники, высокотехнологичных продуктов и медиа-контента) объявила о завершении разработки цифровой системы хранения и управления образовательными сертификатами с применением технологии Blockchain. Японская фирма планирует коммерциализировать продукт в партнерстве с wybranными учебными заведениями. Система управляется компанией Sony Global Education и построена на основе IBM Blockchain с использованием инфраструктуры IBM Cloud и фреймворка The Linux Foundation Hyperledger Fabric 1.0. Что особенно примечательно в проекте, так это то, что Sony полагает, что он может быть расширен и на другие области управления цифровыми данными, включая логистику, цифровой контент, недвижимость и (что более очевидно) криптовалюты.

Университет Никосии (расположен на о. Кипр) выпускает академические сертификаты, чья подлинность может быть проверена с помощью Bitcoin Blockchain с 2014 года. Такие сертификаты выдаются студентам, успешно завершившим курс «Введение в цифровую валюту» («Introduction to Digital Currency»). Это первый курс в университете на тему криптовалют.

Школа Холбертона в Сан-Франциско, школа программного обеспечения, которая предлагает проектное образование в качестве альтернативы университетским курсам, уже использует Blockchain для хранения и выдачи сертификатов. В первую очередь эта мера направлена на предотвращение поддельной сертификации. Шифрование и двухфакторная аутентификация используются для создания, входа в систему и выпуска сертификата. Школа по-прежнему дает студентам бумажные копии, но создаваемый децентрализованно системой клиринговый номер DCN (Decentralised Clearing Number), который позволяет работодателям провести верификацию.

**Выводы.** Со временем использование Blockchain в сфере образования будет расширяться все шире и вскоре все ведущие университеты мира начнут использовать новую технологию для выпуска цифровых сертификатов, что, теоретически, раз и навсегда решит проблему с поддельными сертификатами.

## ВАЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ BLOCKCHAIN В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ожегов А.Ю.

*магистрант кафедры компьютерной инженерии и моделирования*

*Физико-технического института КФУ*

научный руководитель: к.т.н., доцент кафедры

компьютерной инженерии и моделирования Шостак Р. И.

Aleksandr.Ozhegov@kimkfu.ru

**Введение.** Первое упоминание Blockchain появилось в октябре 2008 года в публикации «Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System» некоего Сатоши Накамото. Этот же человек (или группа лиц) является и создателем известной криптовалюты Bitcoin. Настоящий создатель Bitcoin остается неизвестным, несмотря на множество попыток вычислить его (или их). Открытый исходный код появился лишь в январе 2009 года.

Blockchain (англ. blockchain – дословно «цепочка блоков») – это способ организации и хранения данных, также известный как реестр транзакций (сделок). Теоретически в Blockchain можно хранить абсолютно любую информацию, начиная от свидетельств о рождении и образовании, информации о страховке, кредиты и все остальное, что можно представить в форме битов и байтов.

**Цель работы** – проанализировать главные характеристики технологии Blockchain и основополагающие принципы ее работы.

**Результаты исследований.** Главное преимущество технологии Blockchain – это децентрализованность, информация хранится одновременно на сотнях тысяч компьютеров по всему миру, благодаря чему уничтожить или повредить реестр практически невозможно. Информация объединяется в абстрактные блоки, которые связываются при помощи специальных алгоритмов. Чтобы информацию нельзя было изменить, она шифруется (хешируется). Bitcoin, например, использует для хеширования метод SHA256 (Secure Hash Algorithm Version). Для шифрования нужны большие вычислительные мощности. Даже самого мощного компьютера может быть недостаточно, поэтому создаются компьютерные сети, распределяющие вычисления по всем компьютерам в сети. После шифрования блок получает уникальную цифровую подпись (хеш), а затем помещается в реестр, после чего изменить его уже невозможно.

Каждый блок в цепочке может содержать небольшой объем данных (обычно до 1 Мб), который может быть любой информацией, которая требуется для обеспечения безопасности. Эта информация хранится на всех участвующих компьютерах и может быть просмотрена на любом узле, обладающим криптографическим «открытым ключом», но не может быть изменена даже автором. Записи данных имеют временную отметку, обеспечивая надежную и синхронизированную запись добавленных данных.

Каждый блок цепи состоит из списка транзакций. Каждый блок также имеет заголовок. Этот заголовок, в свою очередь, содержит (как минимум) три набора метаданных:

- 1) структурированные данные о транзакциях в блоке;
- 2) временная метка и данные об алгоритме проверки работоспособности (как добавляются и проверяются новые блоки);
- 3) ссылка на родительский блок – то есть предыдущий блок – через хэш. Это создает цепочку из блоков. Каждый блок в цепочке может быть идентифицирован хешем своего заголовка.

Новые блоки создаются процессом под названием майнинг (с английского mining – добыча), который проверяет новые транзакции и добавляет их в цепочку. В Bitcoin новый блок добавляется каждые 10 минут. Майнер, который добавляет новый блок, вознаграждается финансово – в случае с Bitcoin он получает некоторое количество Bitcoin.

Чтобы майнить новые блоки, майнеры в сети соревнуются в решении уникальной, сложной математической задачи – вычисляют хеш. Решение этой математической задачи очень нетривиально. С момента создания Bitcoin сложность этой проблемы возростала экспоненциально, как и вычислительная мощность, необходимая для ее решения. По оценкам Blockchain.info, майнеры теперь находят 450 тысяч триллионов решений в секунду, чтобы найти правильное решение.

Blockchain – это одноранговая сеть P2P (peer-to-peer), представляющая собой распределенный реестр нового поколения, обеспечивающий прозрачность и доверие. Blockchain представляет собой шаблон проектирования, состоящий из трех основных компонентов: распределенной сети, общедоступного реестра и цифровых транзакций.

Общедоступный реестр. Участники в распределенной сети записывают цифровые транзакции в общедоступный реестр. Чтобы добавить транзакцию, узлы сети запускают алгоритмы для оценки и проверки предлагаемой транзакции. Если большинство узлов сети допускают, что транзакция действительна, новая транзакция добавляется в Blockchain. Изменения в реестре отражаются во всех копиях цепи за минуты или, в некоторых случаях, за секунды. После того, как транзакция добавлена, она перманентна и не может быть изменена или удалена. Поскольку у всех членов сети есть полная копия цепи, ни один член не имеет права изменять или корректировать данные.

Blockchain использует инфраструктуру открытого ключа PKI (Public Key Infrastructure) для создания безопасной платформы. PKI – это расширенная форма асимметричной криптографии, где пользователи получают два ключа: один для шифрования, а другой для дешифрования. Blockchain Bitcoin является самым крупным прецедентом развертыванием PKI в мире, второе место занимает Министерство Обороны США.

Транзакции по Blockchain получают цифровую подпись, используя криптографические методы с открытым ключом. Криптография с открытым ключом использует два ключа, что усложняет процесс взлома. Математически существует открытый и закрытый ключ, но из-за сложности этой математики почти невозможно (или, по крайней мере, теоретически невозможно). Открытый ключ может использоваться для подписания и шифрования отправляемого сообщения, получатель, и только назначенный получатель, может дешифровать эту транзакцию своим закрытым ключом. В дополнение к шифрованию сообщений, криптография с открытым ключом может использоваться для аутентификации личности, а также для проверки того, что сообщение, или в случае транзакции на Blockchain, не было изменено.

Цифровые транзакции. Любой тип информации или цифровой ресурс может храниться в Blockchain, а сеть, реализующая его, определяет тип информации, содержащейся в транзакции. Информацию шифруют и подписывают цифровой подписью, чтобы гарантировать достоверность и точность. Транзакции структурированы в блоки, и каждый блок содержит криптографический хеш предыдущего блока. Блоки добавляются в линейном, хронологическом порядке.

Blockchain Bitcoin – лишь один из многих. Например, Blockchain Ethereum был разработан двадцатидвухлетним канадцем по имени Виталий Бутерин. Ethereum обладает некоторыми интересными возможностями и инструментами. Например, он позволяет разработчикам создавать умные контракты, которые позволяют проводить платежи. На Ethereum есть проекты по созданию замены существующих фондовых бирж и созданию новой модели демократии.

**Выводы.** Таким образом, отличительные особенности Blockchain заключаются в том, что любая цифровая запись является единственной и при этом хранится одновременно на каждом компьютере, участвующем в сети. Blockchain обладает следующими свойствами: все записи распределяется по большой сети, что делает такую структуру устойчивой к потере данных; можно подтвердить идентичность любого дополнения или изменения в записи; как только блок был добавлен, он не может быть удален или изменен даже авторами; все события общедоступны, но не могут быть просмотрены без цифрового ключа.



# АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННО-ДУБЛИРУЮЩЕГО ПРОЦЕССОРНОГО БЛОКА

Корниенко А.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ассистент кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института КФУ*

научный руководитель: к.т.н, доцент Сосновский Ю.В.

**Введение.** Автоматизированные системы (АС) призваны облегчить труд человека, расширить его функциональные возможности или заменить полностью, по мере необходимости. Использование автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) на основе программируемых логических контроллеров (ПЛК) позволяет значительно сократить затраты на обслуживание технологического процесса и, зачастую, повысить его качественные характеристики за счёт снижения влияния человека на управляемый процесс. Существует обширный класс автоматизированных систем, от параметров функционирования которых зависят факторы, косвенно или напрямую влияющие на безопасность технического персонала, людей, являющихся пользователями систем, а также людей, находящихся в зоне потенциальной опасности, исходящей от соответствующего технологического процесса. Для таких систем управления постоянно актуальной является задача повышения отказоустойчивости и гарантоспособности.

**Целью работы** является разработка метода дублирующего процессорного блока, предназначенного для решения задач по обеспечению высокого уровня отказоустойчивости АСУ ТП, а также аппаратной и программной реализации тестового прототипа устройства, реализующего данный метод.

Разработка аппаратных дублирующих модулей является достаточно трудоёмкой задачей, так как эти устройства должны обладать набором функций для обеспечения «горячего» резервирования. Во-первых, устройство должно обеспечивать автоматическое переключение с отказавшего канала на рабочий канал. Для этого оно должно иметь возможность определить момент отказа, чтобы передать функции управления на другой канал, а это требует наличия функций самодиагностики. Во-вторых, в каждом канале необходимо наличие резервных линий связи, которые будут обеспечивать синхронизацию каналов, а также позволять проводить диагностику другого канала. В-третьих, устройства должны обладать надёжным механизмом синхронизации выполняемых алгоритмов, способных гарантировать, что в случае «горячего» перехода на резервный канал, его контроллер продолжит выполнение алгоритма именно с того места, на котором произошел отказ основного канала.

Основным требованием является создание таких методов диагностики, которые позволили бы контроллеру резервного канала диагностировать основной канал, причём так чтобы можно было с большой долей вероятности определить отказ ведущего канала и произвести переключений на резервный. Всё это должно происходить за короткий промежуток времени, такой, при котором исполнительные механизмы не успели бы отреагировать на переключение канала и не произошёл несанкционированный (даже кратковременный) сбой в работе механизмов. При этом необходимо исключить «ложные» переключения (переключения с исправного ведущего канала на резервный).

**Результаты исследований.** В целом система представляет собой совокупность из двух процессорных блоков и множества компараторов (ограниченных только количеством выходных портов у процессорных блоков). В состав системы входят: два процессорных блока соединённых между собой шиной синхронизации, входные порты для считывания данных с датчиков и периферийных устройств, выходные порты, подключённые непосредственно к компараторам. Роль компаратора заключается в сравнении флага приоритета у поступающих данных.

Основываясь на полученных данных, определяется уровень приоритета и принимается решение о передаче сигналов на управляемое устройство. На начальном этапе для тестирования метода дублирования в качестве протокола передачи данных по шине синхронизации был выбран универсальный асинхронный приёмопередатчик UART. Для обеспечения высокой степени синхронизации требуется реализация алгоритмов, обеспечивающих функционирование системы реального времени, необходимой для единовременной передачи данных и, собственно, корректного функционирования метода аппаратного дублирования.

В процессе разработки метода были исследованы различные ситуации рассинхронизации и была создана таблица вариантов действий для обеспечения бесперебойной работы.

Для тестирования были выбраны микроконтроллеры ATMega164P. Являясь высокопроизводительным 8-битным AVR-микроконтроллером на основе RISC архитектуры, с 16 КБ флэш-памяти, максимальной частотой в 20 МГц, 512КВ EEPROM, 1Кб SRAM, 32-мя регистрами общего назначения, счетчиком реального времени, тремя гибкими таймерами/счетчиками с режимами ШИМ и сравнения и 2 аппаратных USART позволяет достичь достаточно малых значений задержек синхронизации и достаточной скоростью выполнения тестовой задачи управления.

**Выводы.** В ходе выполнения работы удалось достичь поставленных целей. Разработанный метод, реализованный в аппаратно-программной платформе, показал полную работоспособность, возможность купирования повреждений линий интерфейсов связи, а также процессорных модулей в системе резервирования с двумя процессорами. На текущий момент собран аппаратный прототип на базе указанных микроконтроллеров, а также проходит тестирование прототипа на основе высокопроизводительных 32-битных контроллеров.

## УПРАВЛЕНИЕ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОННЫМИ ВИХРЯМИ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Перескоков В. С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> аспирант кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

научный руководитель: д. ф.-м. н., профессор Дзедолик И.В.

[pereskokow@gmail.com](mailto:pereskokow@gmail.com)

**Введение.** В последние годы генерация и управление плазмон-поляритонными волнами привлекают большое внимание исследователей в связи с перспективой создания устройств плазмонной нано-оптики. Требование миниатюризации плазмонных устройств обуславливает их плоскую конфигурацию. При этом линейные и нелинейные плазмонные волны распространяются по границе раздела диэлектрика и металла в виде поверхностных плазмон-поляритонов (ППП). В результате относительно большой величины эффективного показателя преломления на границе раздела диэлектрика и металла происходит уменьшение длины волны ППП по сравнению с длиной излучаемой оптической волны той же частоты. Возбужденные ППП локализуются вблизи границы раздела сред и распространяются по поверхности на расстояния порядка десятков и сотен длин волн. Структуру интерференционного поля ППП на поверхности металла можно наблюдать с помощью методов ближнепольной микроскопии.

**Цель работы** – исследовать влияние формы границы неоднородности на распределение вихрей в интерференционном поле поверхностных плазмон-поляритонов при их отражении от границы неоднородности. **Задача:** изучить возможность управления вихрями поверхностных плазмон-поляритонов путем изменения формы границы неоднородности.

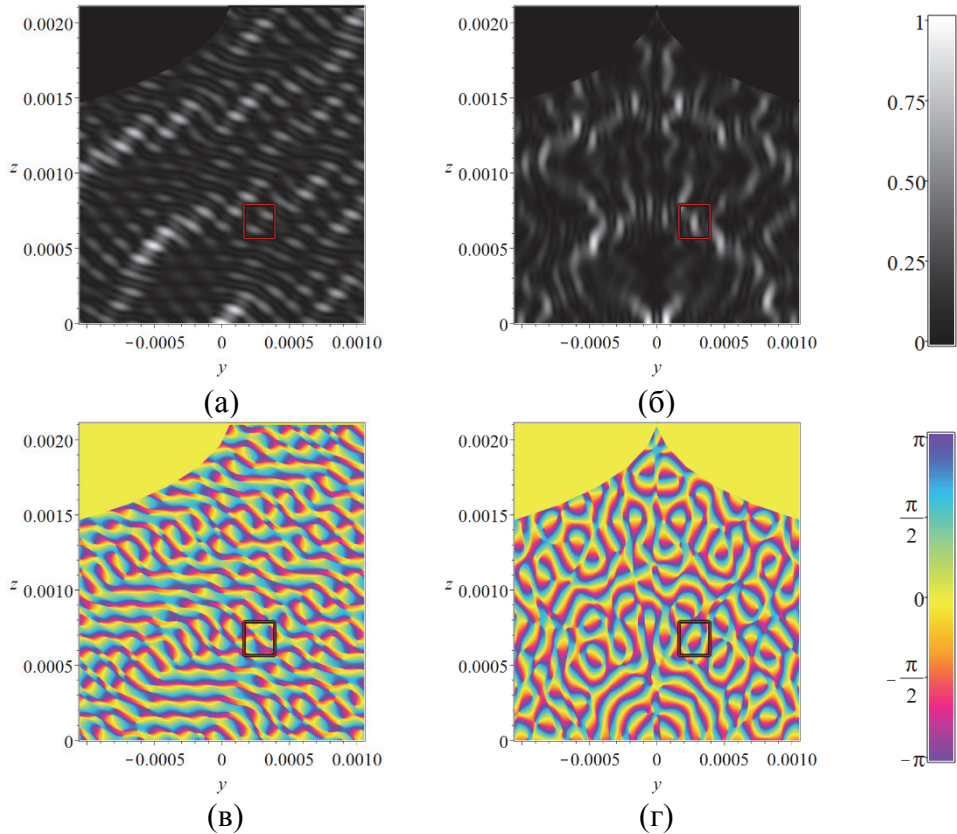
При отражении ТМ-моды ППП от границы неоднородной области в металле в форме ласточкина хвоста волновые векторы отраженных от границы ППП поворачиваются на угол  $\varphi$  против часовой стрелки, или на угол  $-\varphi$  по часовой стрелке относительно нормали к касательной к окружности. При этом формируется мода ППП с компонентами поля  $E_x, E_y, E_z, B_x, B_y, B_z$ . Отраженные ППП распространяются под углами  $\pm\theta = \pm 2\varphi$  по отношению к продольной оси  $y$ . Топология интерференционной картины ППП определяется фокусировкой (дефокусировкой) при отражениях ППП от криволинейной границы неоднородной области.

Нормальная компонента электрического поля ППП в точке  $(x, y)$  при интерференции падающих и отраженных ППП на поверхности металла имеет вид

$$E_{zM} = A_z \left[ \exp(i\phi_{TM}) + \exp(i\phi_E^-) + \exp(i\phi_E^+) \right], \quad (1)$$

где  $A_z = A e^{-\alpha_0 z} \varepsilon_0^{-1} [\varepsilon_0 \varepsilon_M / (\varepsilon_0 + \varepsilon_M)]^{1/2}$ ,  $\phi_{TM} = \beta_M Y - \omega t$ ,  $\phi_E^\pm = \beta_M [x \sin(\pm\theta) - Y \cos\theta] - \omega t$ ,  $Y = y + y_m$ . Распределение нормальной компоненты электрического поля  $E_{zM} = [Re(E_{zM})^2 + Im(E_{zM})^2]^{1/2}$  при интерференции ППП в рассматриваемом случае представлено на рис. 1.

**Результаты исследований.** В точках границы раздела сред, в которых амплитуды электрического и магнитного полей интерференционного поля ППП равны нулю, образуются плазмон-поляритонные вихри. При обходе по замкнутому контуру вокруг сингулярных точек интерференционного поля ППП  $(Re E_{zM} + i Im E_{zM})^{\ell_M} = E_{zA}^{|\ell_M|} \exp(i\ell_M \phi_z)$ , в которых  $Re E_{zM} = 0$  и  $Im E_{zM} = 0$ , фаза  $\phi_z$  ППП изменяется на величину, кратную  $2\pi$ ,  $\oint d\mathbf{r} \nabla \ell_M \phi_z = 2\pi \ell_M$ , где  $\ell_M = \pm 1, \pm 2, \dots$  - топологический заряд вихря. В сингулярной точке волновой фронт компоненты поля  $E_{zM} = E_{zA} \exp(i\phi_z)$ , где  $E_{zA} = [(Re E_{zM})^2 + (Im E_{zM})^2]^{1/2}$  - амплитуда,  $\phi_z = \arctan(Im E_{zM} / Re E_{zM})$  - фаза, приобретает винтовую форму, то есть возникает винтовая дислокация волнового фронта. В интерференционном поле ППП, фаза которого  $\phi_z$  представлена на рис. 1, вихри возникают в точках пересечения трех ППП.





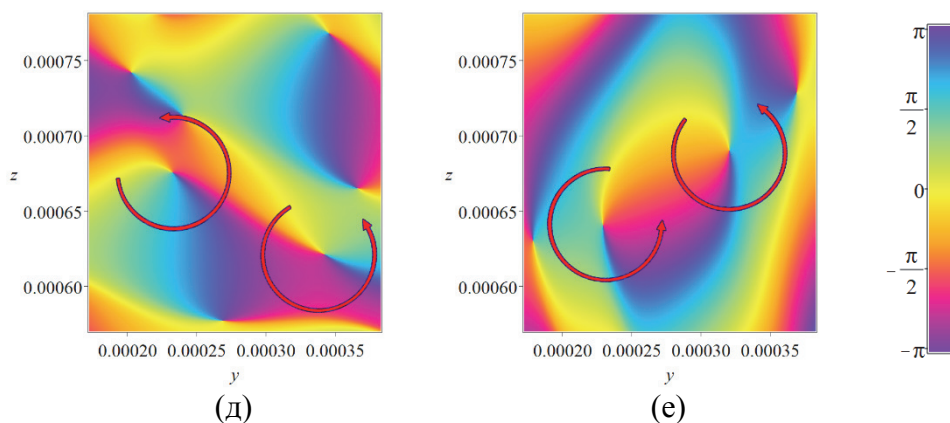


Рис. 1. Распределение интенсивности (рисунки а-б) и фазы (рисунки в-г) интерференции падающих и отраженных ППП от криволинейной границы в случае включенного одного зонда (первая колонка) и в случае включенных обоих зондов (вторая колонка). На рисунках д-е показаны области в которых возникают вихри ППП и наблюдается их смещение при изменении радиуса кривизны границы в полтора раза.

**Выводы.** Распространяющиеся по поверхности металла ППП, и рассеянные на границе неоднородности диэлектрической проницаемости металла ППП, интерферируют. При интерференции падающих и рассеянных ППП возникают точки сингулярности, в которых образуются вихри с винтовой дислокацией фазы. Изменяя радиус кривизны границы неоднородности диэлектрической проницаемости поверхности металла, например, с помощью внешнего электростатического поля заряда, размещенного на нанозонде, можно управлять топологией интерференционного поля ППП.

## БУДУЩЕЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА И ПОСТИНДУСТРИАЛЬНАЯ ЦИВИЛИЗАЦИЯ

Зубко Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>студент Физико-технического института КФУ

научный руководитель: старший преподаватель кафедры философии естественнонаучного профиля Таврической Академии КФУ Лыхина Ю. В.,  
[dimazubko1998@gmail.com](mailto:dimazubko1998@gmail.com)

**Введение.** Считается, что одним из факторов появления индустриального общества является информационная техника нового поколения. Информация в современном мире вытесняет большинство важных составляющих общества, такие как рабочий труд, земля, сырье и денежный капитал. Наверное, многие могут сейчас сказать, что мы бы обошлись и без этого понятия, теории и вообще постиндустриализм не важен в нашей жизни. Но если посмотреть вглубь этого понятия, то можно ли представить нашу жизнь без всех этих «облегчителей» современной жизни: пылесосов, стиральных машинок, электрических печей, компьютеров? Развитие новых технологий, появление в нашей жизни роботов, оцифровывание всего, что нас окружает это, конечно, привлекает человечество, ведь так мы можем стать еще более ленивы, нежели сейчас, от чего конечно же мы не откажемся.

**Целью работы** является исследование факторов появления индустриального общества, влияния постиндустриализма на нашу жизнь, анализ будущего человечества.

**Результаты исследований.** В работе проведены сопоставления взглядов различных философов на будущее человечества. В результате проведенного исследования сделаны собственные выводы.

**Выводы.** Новые технологии важны и нужны, но в первую очередь нужно думать над тем, что нас ждёт в будущем. Мир автоматизируется, роботы вытесняют человека из многих профессий и могут оставить без работы миллионы людей. Человечеству нужно задуматься о месте машин в нашей жизни. Пусть роботы помогают людям, но они не должны целиком и полностью заменять человеческий труд. Нужно развивать человеческий мозг, а не пытаться научить мыслить железо.

## ФИЛОСОФИЯ И ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

Сеитасанов Я.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>студент кафедры компьютерной инженерии и моделирования

Физико-технического института КФУ

научный руководитель: старший преподаватель кафедры философии естественнонаучного профиля Таврической Академии КФУ Лыхина Ю. В.

[seitasanov.yahub@mail.ru](mailto:seitasanov.yahub@mail.ru)

**Введение.** С каждым годом виртуальная реальность все больше проникает в нашу жизнь. Теперь она ассоциируется не только с играми и развлечениями, но и с чем-то серьезным и полезным для всего человечества: очень быстро входят в процесс обучения так называемые «симуляторы», которые помогают, например, будущим врачам попрактиковаться на виртуальных пациентах и пилотам улучшить свои навыки полёта. В то же время, технология виртуальной реальности прочно вошла в нашу жизнь, мы заменяем живое общение сетевым и виртуальным и предпочитаем виртуальные игры книгам. Может ли виртуальный мир заменить реальный? Что есть виртуальная реальность: новая форма коммуникации, новая среда обитания, набор информации, данных и программ, или же просто средство достижения результата?

**Целью работы** является исследование технологии виртуальной реальности, влияние виртуальной реальности на нашу жизнь, способы и возможности познания действительности.

**Результаты исследований.** Философы часто задумывались об иллюзорности нашего существования.

Например, Платон говорил, что мир, в котором живет человек – это мир вещей и он не настоящий, а является лишь отражением или бледной тенью истинного мира - мира идей. Он утверждал: «А что такое каждая вещь, мы уже обозначаем соответственно единой идеей, одной для каждой вещи. ... И мы говорим, что те вещи можно видеть, но не мыслить, идеи же, напротив, можно мыслить, но не видеть». По мнению Платона, наши органы чувств мешают нам познавать истину и объективную реальность, но чтобы это познать мы должны отказаться от чувств и руководствоваться лишь разумом.

Настоящий переворот в понимании окружающей действительности, как иллюзорной сделал идеалистический сенсуализм Нового времени.

Джордж Беркли считал, что вещи реальны не сами по себе, а лишь как наши ощущения и восприятия этих вещей. Таким образом, мир вещей вторичен по отношению к сознанию конкретного субъекта. Философ говорил: «Все существующие вещи существуют лишь в духе, т. е. только мыслимы».

Давид Юм считал, что человек имеет дело лишь со своими ощущениями и переживаниями, за пределы которых выйти не может, следовательно, ничего не может знать о внешнем мире. Он говорил: «...выражаясь философским языком, все наши идеи, т. е. более слабые восприятия, суть копии наших впечатлений, т. е. более живых восприятий».

Беркли видел причину появления у людей иллюзорной веры в то, что материальная субстанция существует в фактах взаимосвязанности и яркости определенного рода ощущений. При этом, взаимосвязанность являлась непрерывной во времени, поскольку наличие разрывов

в последовательности ощущений могло ослабить эту иллюзию. По мнению Юма, перерывы в восприятиях – это источник веры в бытие, если после перерывов те же самые восприятия появляются вновь и вновь.

Виртуальная реальность – это вымышленный мир, созданный человеком с использованием современных компьютерных технологий. Передовые технологии виртуальной реальности позволяют создать VR-очки и шлемы, с помощью которых можно полностью погрузиться в виртуальный мир. Пользователь может полностью избежать реальной жизни, отождествить себя с вымышленным персонажем и буквально стать им, чего не позволяют сделать обычные компьютерные игры. Это может привести к зависимости и игнорированию каких-либо важных жизненных аспектов, что отрицательно сказывается как на физическом здоровье человека, так и на его психологическом состоянии. В основном технологию виртуальной реальности реализуют с помощью специальной интерактивной графики, работающей в реальном времени.

Эффект полного погружения в виртуальный мир достигается путем воздействия на психику человека через слух, зрительный и вестибулярный аппарат и т.д. Пользователь системы VR может изменять точку и угол обзора в пространстве путем поворота и наклона головы, а перемещением по комнате или нажатием на специальные клавиши на контроллере эмулируется движение в виртуальном мире. Неспроста польский философ Станислав Лем писал: "Таким образом компьютер должен моментально реагировать на каждое изменение в поведении человека, потому что, если он этого не сумеет, возникнет ситуация так называемой Циркорамы, то есть отсутствия адекватных изменений в ответ на поток чувственных импульсов, и иллюзия не будет полной".

Люди хотят скорее погрузиться в виртуальный мир и попробовать осуществить в нем то, что у них не получается в реальной жизни, но они забывают о том, что воздействие виртуальной реальности на человеческую психику может привести к плачевным последствиям. Сегодня существует очень много приспособлений, позволяющих отвлечься от реальных проблем и окунуться в вымышленный мир. Развитие систем для взаимодействия с виртуальной реальностью дает человеку возможность буквально прожить вторую жизнь и полностью погрузиться в несуществующий виртуальный мир.

В отношении виртуальной реальности мне более близки материалистические позиции, потому что они выражают идеальное бытие в материальной форме, однако ее актуальное существование возможно только благодаря специальным компьютерным системам, в которых законы логики играют первостепенную роль. При этом в виртуальной реальности воспроизводятся, а это самое существенное, свойства материального бытия: воздействие виртуальной реальности на органы чувств человека практически полностью идентично воздействию материальных объектов. И здесь речь даже не идет о специальном шлеме, очках или перчатках, поскольку люди, общаясь в виртуальном пространстве, могут испытывать те же чувства и эмоции, что и в реальном мире. При этом виртуальная реальность обладает и свойствами субъективно-идеального бытия, ведь ее параметры могут быть изменены по воле и желанию субъекта (пользователя), не говоря уж о том, что ее наличное существование для данного субъекта определяется им же.

В соответствии с материалистическими позициями, я считаю, что виртуальная реальность не имеет собственной сущности, которая относительно самостоятельна от других форм бытия. Но, как минимум, она всегда будет зависеть от оборудования, создающего и управляющего ей.

По моему мнению, виртуальную реальность нельзя воспринимать с позиций идеалистического сенсуализма, либо субъективного идеализма, так как она в действительности является результатом взаимодополняемости и взаимодействия материального и идеального бытия.

**Выводы.** В ближайшем будущем технологии виртуальной реальности, так или иначе, будут использоваться в каждой профессии. В непрерывно меняющемся мире первостепенной задачей философии является критическое осмысление новой реальности.

## ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МЫШЛЕНИЯ

Ридченко В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*студентка кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института*

научный руководитель: Лыхина Ю. В., старший преподаватель кафедры философии естественнонаучного профиля Таврической Академии КФУ  
[valeriya.ridchenko@mail.ru](mailto:valeriya.ridchenko@mail.ru)

**Введение.** Современный человек буквально окружен техникой, имеющей, как минимум, примитивный искусственный интеллект: у нас есть умные часы, розетки, обогреватели и т.д. Искусственный интеллект стремительно развивается: появляются различные голосовые помощники, с помощью которых можно с легкостью узнать погоду или просто побеседовать с ними, активно разрабатываются роботы, способные самостоятельно принимать решения на основе своего опыта и каких-либо внешних факторов.

**Целью работы** является исследование предпосылок и истории появления термина «искусственный интеллект», изучение высказываний древних философов (Гаутамы Будды и Платона) о разумной душе и материи и рассуждение о пользе и опасности искусственного интеллекта в современных реалиях.

**Результаты исследований.** О разумной материи философы задумывались задолго до введения термина «сильный искусственный интеллект» Джоном Сёрлем в конце двадцатого века и создания теста для определения наличия у машины интеллекта в середине двадцатого века Аланом Тьюрингом. Некоторые философы считали, что вся материя обладает интеллектом, другие же философы говорили о том, что разумной душой и вовсе обладают только те люди, которые способны мыслить философски.

**Выводы.** Сейчас наблюдается стремительное развитие технологий, связанных с роботами и различными машинами, которые в ближайшем будущем смогут полностью заменить человека на, например, производстве. Так же стремительно развивается и искусственный интеллект, которым снабжаются эти роботы – они могут самостоятельно улучшать свои знания и выбирать нестандартные и незаданные заранее алгоритмы для решения поставленных задач.

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ  
МОДИФИКАЦИЯ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ ПРИБОРА НОЧНОГО ВИДЕНИЯ**

Доненко И.Л.<sup>1</sup>, Алексеев К.Н.<sup>2</sup>, Линник В.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*студент второго курса кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ*

<sup>2</sup>*профессор кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ*

<sup>3</sup>*студент второго курса кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ*

**Введение.** В настоящее время применение приборов ночного видения во время боевых действий, охоты – повсеместно, что позволяет получить более высокие результаты скрытности и обнаружения скрытных объектов в ночное время суток. Но, качество получаемого изображения на электронно-оптическом преобразователе и ПЗС-матрице желают лучшего, во время работы прибора ночного видения на экране возникают различные оптические aberrации и помехи при генерации рельефа. Преимущество использования фрактальных дифракционных решеток и фотонных кристаллов, полученных на их основе, – в уменьшении количества aberrаций и более «чистом» полученном изображении.

**Целью работы** является разработка улучшенного современного прибора ночного видения (ПНВ), что позволит улучшить многие действующие ПНВ на основе фрактальной дифракционной решетки.

Для улучшения современных ПНВ предлагается использовать фрактальную дифракционную решетку или фотонный кристалл, полученный на основе фрактальной структуры. Фрактальный подход к построению геометрических транспарантов, фазовых пластин и матриц позволяют синтезировать графические голограммы, которые позволяют проявлять более глубокие детали рельефа и уменьшить aberrации конечного изображения.

Ранее были рассчитаны и изготовлены фрактальные транспаранты на основе ковра с шагом в длину Талбота.

На основе полученных ранее математических расчетов было выявлено, что использование данного типа фрактальной дифракционной решетки должно улучшить прибор ночного видения, для чего и был проведен следующий эксперимент.

**Результаты исследований.** Был проведен эксперимент по улучшению прибора ночного видения с помощью фрактальных дифракционных картин, пример изображений, полученных с применением фрактальной дифракционной решеткой и без нее, приведен на рисунке 1.



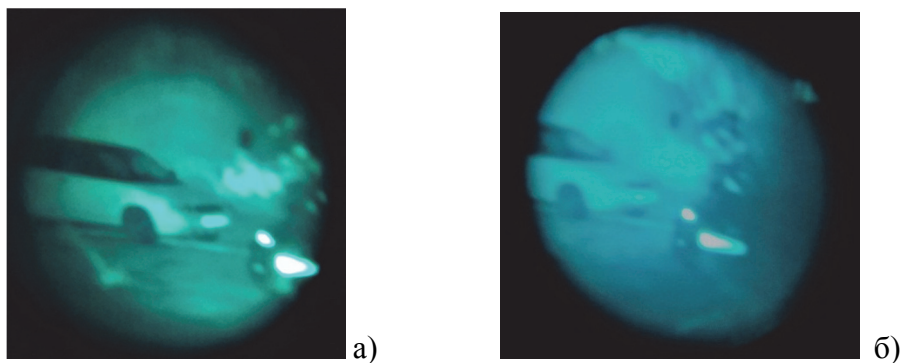


Рисунок 1. Примеры изображений а) с применением ковра Серпинского рассчитаны в длину Талбота; б) без использования фрактальной дифракционной решетки.

Транспарант с ковром Серпинского, построенным на длину Талбота, увеличил качество получаемого изображения на 30%, при этом убрав лишние шумы и aberrации на конечном изображении.

Полученные результаты уже можно применять в производственном изготовлении и улучшать приборы ночного видения. Планируется патентовка данных исследований и, в частности, модификации.

Также, как видно из результатов, имеется возможность построить 3D-модель фотонных кристаллов, работа с которыми у ПНВ будет с помощью электронного оборудования, основанного на открытой системе «Arduino».

#### ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАТИВНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ФИЛЬМА «ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ВОДЫ»

Шостка В.И.<sup>1</sup>, Шостка Н.В.<sup>2</sup>, Шульга Н.С.<sup>3</sup>, Вершицкий В.И.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> доцент кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup> ведущий аналитик отдела организации научно-исследовательской работы студентов и конкурсов КФУ

<sup>3</sup> обучающийся первого курса магистратуры кафедры общей физики ФТИ КФУ

<sup>4</sup> заведующий лабораториями кафедры общей физики, ФТИ КФУ

**Введение.** Стремительные процессы информатизации в российском образовательном пространстве выдвигают требования создания условий для всех участников образовательного процесса – студентов, преподавателей, научных работников, вспомогательного персонала, развития их интеллектуального потенциала. Переход к современным компьютерно-ориентированным технологиям обучения, апробация и внедрение, рациональное соединение информационных и мультимедийных технологий обучения с традиционными – сложная педагогическая задача, требующая решения целого комплекса организационных, учебно-методических, технических, психолого-педагогических проблем.

В связи с чем информационные технологии обучения могут быть эффективными только тогда, когда они органически вписываются в традиционную систему обучения.

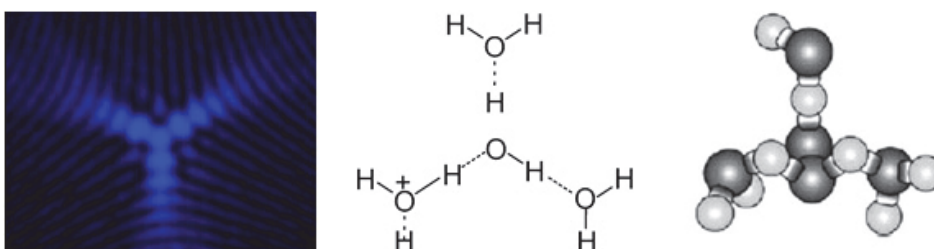
В последние годы возрастает интерес к вопросам структуры воды не только со стороны биологов, химиков или медиков, но также и со стороны физиков. Вода, широко распространенный растворитель, обладает необычными свойствами. Благодаря межмолекулярным водородным связям она по своим свойствам отличается от других гидридов и имеет ассоциативную структуру и является в структурном отношении очень чувствительной системой, в которой имеется огромное количество метастабильных состояний. Вопрос о

наличии структуры воды и водных растворов уже перешел в плоскость изучения влияния изменения структуры воды и водных растворов на различные технологические процессы, а также на уровень здоровья человека. Отсутствие же строгих представлений о структуре воды и ее организации на молекулярном уровне тормозит развитие методов не только количественного анализа, но и качественной оценки структурированности воды.

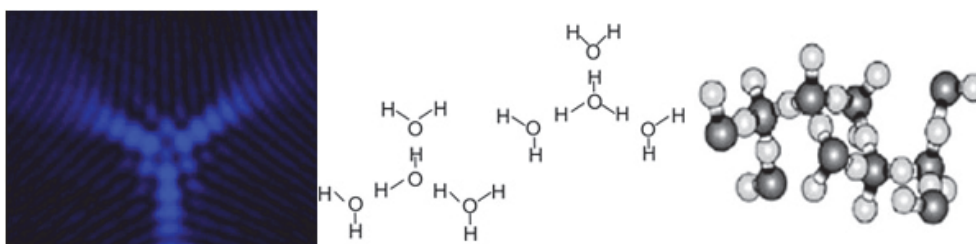
**Целью данной работы** является применение оптических методов исследования изменений структуры воды, как неупорядоченной жидкости, которая, несмотря на то что водородные связи в ней являются короткоживущими, способна к самоорганизации вследствие образования новых водородных связей и кооперативных эффектов. Используя современные компьютерные, аудиовизуальные и мультимедийные ресурсы на основании проведенных исследований создать учебно-демонстрационный видеофильм «Исследование структурных неоднородностей в приповерхностном слое воды».

**Результаты исследований.** Одной из сложных задач является экспериментальная расшифровка структуры воды и доказательство существования стабильных структурных ее элементов. Так как вода чувствительна к внешним воздействиям, то для изучения эволюции ее свойств необходимо применять адекватные неразрушающие методы исследования. В настоящей работе нами был применен метод лазерной интерферометрии, особенность которого заключалась в использовании амплитудно-фазовой модуляции расширенного лазерного пучка при прохождении через слой капли воды.

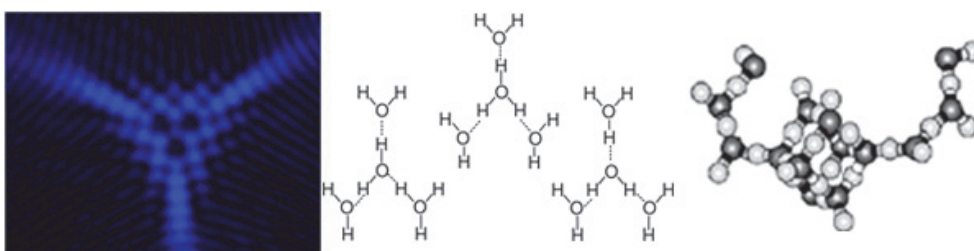
В результате впервые зафиксированы структуры и предложены модели образования кластеров в приповерхностном слое бидистиллированной воды (рис.1).



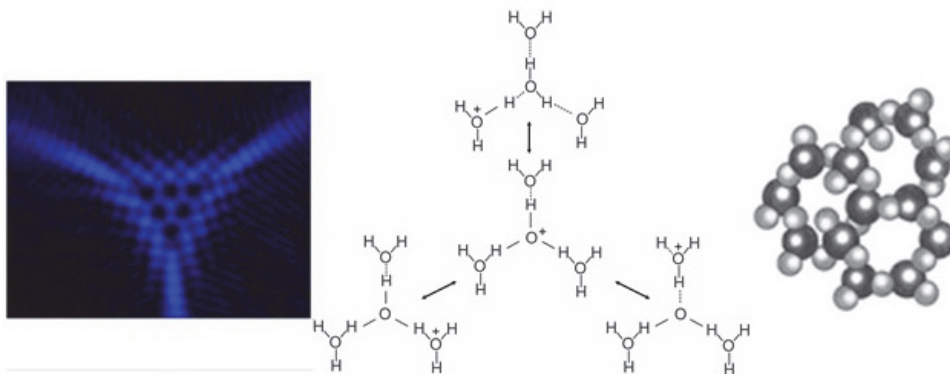
а) Структура и модели кластеров (ассоциатов) воды  $H_{11}O_5$



б) Структура и модели кластеров (ассоциатов) воды  $H_{21}O_{10}$



в) Структура и модели кластеров (ассоциатов) воды  $H_{29}O_{14}$



г) Структура и крокетный механизм формирования кластеров в приповерхностном слое бидистиллированной воды

**Результаты.** Полученные структуры кластеров бидистиллированной воды достаточно убедительно свидетельствуют в пользу того, что в жидкой воде присутствуют весьма устойчивые полимерные состояния. Подтверждено и наглядно показано, что вода обладает уникальными свойствами, которые связаны с наличием порядка в ее разнообразных кластерных состояниях вследствие кооперативного эффекта структурного и динамического изменений в неоднородной сетке водородных связей. В кластерах может быть различное количество молекул, которые образуют ассоциаты различной формы. На основе этих результатов снят учебно-демонстрационный фильм, который успешно применяется в учебном процессе в ФТИ КФУ. Результаты настоящего исследования быть применены не только в учебном процессе, но и могут служить основой для новых простых по исполнению лазерных методов оперативного определения структуры воды.

## ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ТКАНЕЙ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ЧЕЛОВЕКА

Рыбась А. Ф.<sup>1</sup>, Оникиенко Е. В.<sup>2</sup>, Вдовиченко А. Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> доцент кафедры общей физики, к.ф.-м. наук, заместитель директора Физико-технического института КФУ по учебно-методической работе

<sup>2</sup> преподаватель кафедры медицинской физики и информатики Физико-технического института КФУ

<sup>3</sup> студентка кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

[rubass@cfuv.ru](mailto:rubass@cfuv.ru)

[onikienko\\_elena@mail.ru](mailto:onikienko_elena@mail.ru)

**Введение.** По данным Всемирной Организации Здравоохранения заболевания щитовидной железы являются одним из самых распространенных нарушений эндокринной системы во всем мире. В Крыму количество пациентов, имеющих различные патологии щитовидной железы, неуклонно растет, при этом возраст заболевших уменьшается. Этому способствуют высокий радиационный фон региона, обусловленный последствиями экологических катастроф и повышенной солнечной активностью в летнее время года. Кроме того, вследствие геохимических особенностей, Крым относится к регионам с дефицитом йода.

Статистические данные по заболеваемости различными патологиями щитовидной железы в Крыму не отражают в полной мере остроту проблемы. Это вызвано, прежде всего, недостатком профилактических мер по предупреждению заболеваний, в том числе



профилактических осмотров. В связи с этим возникает необходимость расширить и упростить диагностические процедуры, чтобы сделать их более массовыми и общедоступными.

Таким образом, является актуальным поиск эффективных методов быстрой предварительной диагностики различных заболеваний щитовидной железы.

**Целью работы** является исследование взаимодействия лазерных пучков с фиксированными срезами щитовидной железы человека.

В соответствии с целью были сформулированы и выполнены следующие задачи:

1. Исследовать трансформацию лазерного пучка при прохождении через ткани щитовидной железы.
2. Аналитически определить зависимость состояния поляризации пучка для ткани щитовидной железы.

В работе предложен метод экспресс-оценки ткани щитовидной железы, заключающийся в анализе поляризационной картины пучка лазерного света, прошедшего через биологическую ткань. Исследования касаются статистического анализа поведения С-точек для различных состояний ткани щитовидной железы человека (норма, патология).

Эксперимент заключался в пропускании поляризованного определенным образом лазерного света через различные образцы ткани щитовидной железы, выполненные в виде фиксированных окрашенных срезов, с последующим поляризационным анализом соответствующих картин распределения интенсивности света (метод Стокс-поляриметрии).

Был выполнен сравнительный анализ микроскопии гистологических срезов ткани щитовидной железы и картин распределения интенсивности и поляризации, а также распределение эллиптичности поляризации для трех случаев: здоровая ткань (норма), диффузный токсический зоб и папиллярный рак щитовидной железы.

**Результаты исследований.** При прохождении лазерного пучка через срезы ткани щитовидной железы для различных состояний (норма, диффузный токсический зоб, папиллярный рак щитовидной железы) с учетом размера клеток, внутри пучка формируются поляризационные сингулярности “лимон” и “звезда” с противоположными направлениями поляризации. Количество С-точек в трех исследуемых группах существенно отличается.

Преимуществом данного метода является его быстрота.

**Выводы.** По картине прохождения лазерного излучения через ткани щитовидной железы можно идентифицировать состояние ткани (здоровая ткань/патология, вид заболевания).

## ОПТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ДЛЯ ВЫСШИХ МОД В ОПТИЧЕСКИХ МУЛЬТИГЕЛИКОИДАЛЬНЫХ ВОЛОКНАХ

Алексеев К.Н.<sup>1</sup>, Лапин Б.П.<sup>2</sup>, Яворский М.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>профессор кафедры теоретической физики и физики твёрдого тела Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>доцент кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

<sup>3</sup>доцент кафедры теоретической физики и физики твёрдого тела Физико-технического института КФУ

[c.alexeyev@yandex.ua](mailto:c.alexeyev@yandex.ua)

**Введение.** К одному из базовых понятий классической оптики относят понятие оптической активности (ОА). Существование ОА связывают с наличием в среде кругового двулучепреломления, которое выражается в том, что свет с правой и левой круговой поляризацией распространяется с разной фазовой скоростью. Зависимость фазовой скорости света в среде от типа его круговой поляризации приводит к тому, что плоскость поляризации света (или, в общем случае, большая ось поляризационного эллипса) начинает поворачиваться на угол  $\gamma = \pi(n_+ - n_-)z / \lambda$ , где  $n_{\pm}$  - показатель преломления для световой волны с левой и правой круговой поляризацией, соответственно,  $z$  - длина геометрического пути,  $\lambda$  - длина световой волны.

До недавнего времени считалось, что ОА присуща объёмным средам, составленным из хиральных молекул в, преимущественно, их правой или левой форме. Тем не менее, недавний прогресс в области наноструктурированных метаматериалов показал, что ОА может наблюдаться и в локально нехиральных средах, если в них внесена структурная хиральность. Одним из примеров такой среды является скрученное фотонно-кристаллическое оптическое волокно (ФКВ), поперечное сечение которого представляет собой гексагональную структуру полостей, разделённых однородным наполнителем. Изначально было предположено, что ОА в таких ФКВ появляется из-за вращения осей пространственной анизотропии. Однако позднее было отмечено, что выбор направления данных осей не может быть сделан однозначно из-за особенностей симметрии волокна. Нами было сделано предложение, что ОА в таких волокнах является следствием связывания фундаментальной и высших мод, которые с силу своей симметрии могут отслеживать вращение поперечного сечения скрученного ФКВ и частично влиять на состояние поляризации фундаментальных мод (ФМ). В качестве модельной системы, которая подтвердила наше предположение, было выбрано слабонаправляющее оптическое мультигеликоидальное волокно (МГВ, рис. 1).

**Цель и задача исследований.** В рамках наших предыдущих исследований ОА была изучена только в случае распространения ФМ, поэтому дальнейшим шагом стало изучение ОА в МГВ при распространении полей с отличным от нуля азимутальным числом. Для достижения данной цели была поставлена задача об установлении совместного влияния анизотропии формы, спин-орбитального взаимодействия и скрутки волокна на коэффициент ОА для оптических вихрей (ОВ).

**Методика исследований.** Исследование ОА в МГВ для высших мод проводилось на основе теории возмущений с вырождением, специально модифицированной для решения векторного волнового уравнения.

**Результаты исследований.** Коэффициент оптической активности для полей, представленных ОВ, может быть записан как

$$A_l \approx 2\alpha q \tilde{\beta}_0 \zeta l^2 Q^{-2}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  - константа спин-орбитального взаимодействия,  $q$  - модуль вектора обратной решётки МГВ,  $\zeta = \tilde{\beta}_l - \tilde{\beta}_0$ ,  $\tilde{\beta}_{0,l}$  - скалярная постоянная распространения ФМ или ОВ, соответственно,  $l$  - топологический заряд (ТЗ) ОВ,  $Q$  - коэффициент межмодовой связи ФМ и ОВ. Зависимость коэффициента  $A_l$  для ОВ от его ТЗ и оптического контраста  $\Delta$  между

сердцевиной и оболочкой продемонстрирована на рис.2. Отметим, что сравнение коэффициента  $A_l$  для ОВ и коэффициента  $A_0$  для ФМ показывает, что их отношение  $A_l / A_0 \sim 10^6$ .

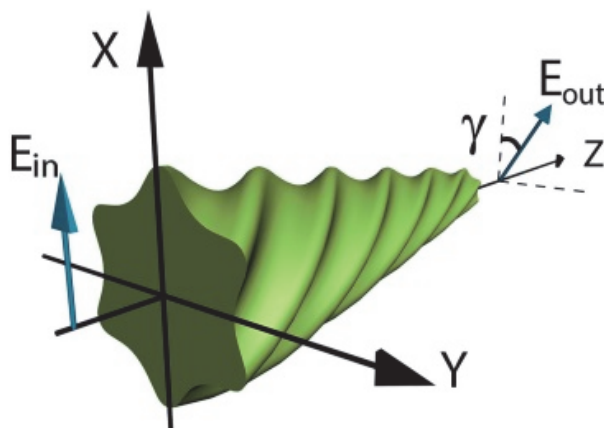


Рисунок 1. Модель МГВ с порядком вращательной симметрии  $l = 6$ . Стрелки  $E_{in}$  и  $E_{out}$  показывают направление поляризации входящего и прошедшего ОВ, соответственно.

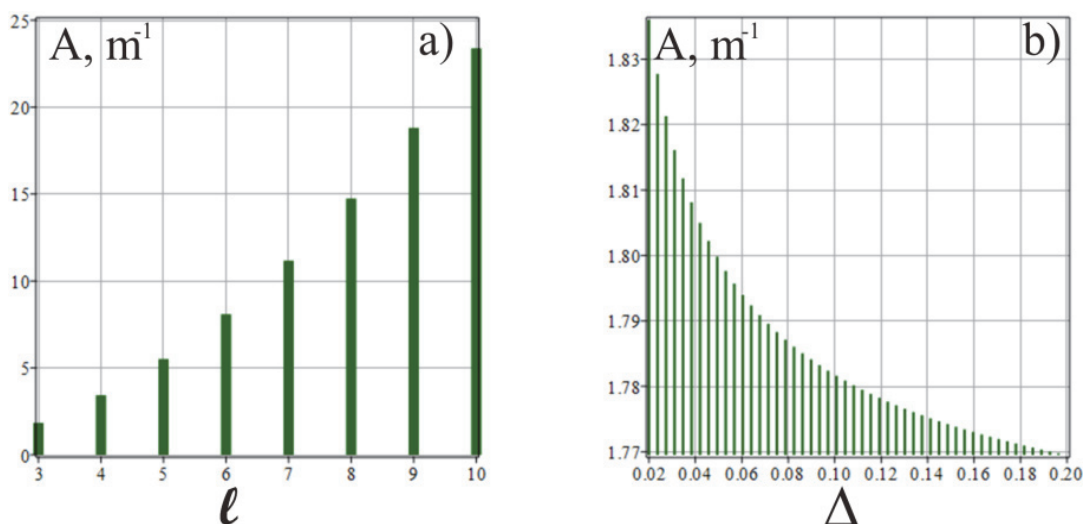


Рисунок 2. Коэффициент ОА для: а) разных значений ТЗ  $l$  при  $\Delta = 0.02$ ; б) при ТЗ  $l = 3$  и разных  $\Delta$ . Параметры волокна: показатель преломления сердцевины  $n_{co} = 1.5$ , радиус волокна  $r_0 = 10\lambda_0$ ,  $\lambda_0 = 632.8$  нм, параметр деформации поперечного сечения  $\delta = 0.05$ ,

$$q = 5 \text{ м}^{-1},$$

**Выводы.** Было показано, что величина оптической активности для высших мод квадратично зависит от азимутального числа  $l$  и быстро спадает при росте оптического контраста  $\Delta$  между сердцевиной и оболочкой волокна. Отличительной особенностью коэффициента оптической активности является его линейная зависимость от модуля вектора обратной решётки мультигеликоидального волокна. Самым главным результатом является то, что коэффициент оптической активности  $A_l$  на 6 порядков превосходит соответствующий коэффициент  $A_0$  для фундаментальной моды.

## МАССИВЫ СИНГУЛЯРНЫХ ПУЧКОВ С НЕОДНОРОДНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Шостка Н.В., Каракчиева О.С

*студент кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ*

научный руководитель: д. ф.-м. н., профессор Полулях С.Н.

[nataliya\\_shostka@mail.ru](mailto:nataliya_shostka@mail.ru)

Для создания оптической потенциальной ямы и осуществления полного трехмерного захвата микрообъектов было предложено использовать так называемые «бутылочные пучки», т. е. пучки или трехмерные оптические ловушки, у которых в области перетяжки существует изолированный ноль интенсивности, равномерно окруженный зоной высокой интенсивности света. Ключевую роль в создании такой структуры играет сингулярный пучок с минимумом интенсивности на оси. Потенциал, заключенный в уникальных свойствах таких пучков, еще далеко не исчерпан, и дальнейшие исследования в данном направлении дают возможность усовершенствовать механизмы захвата и манипулирования частицами с помощью сингулярных оптических пучков.

Например, недавние исследования показали, что поляризация света также влияет на качество захвата, поэтому возможность управлять поляризационными состояниями оптических лучей обеспечивает дополнительную степень свободы в способе захвата и манипулирования захваченными частицами в пространстве. В связи с широким спектром приложений внимание исследователей привлекают цилиндрические векторные пучки, в особенности, пучки с радиальной и азимутальной поляризацией излучения. Данные пучки используются в таких областях физики как нелинейная оптика, оптический захват и манипулирование микро- и нанообъектами, в изображающих системах, в микроскопии, при обработке материалов. Для этих приложений необходимо уменьшение размера фокального пятна. При этом радиально-поляризованное излучение позволяет формировать наиболее компактное световое пятно благодаря мощной продольной компоненте электрического поля, а азимутально-поляризованное излучение обеспечивает формирование минимального по размеру светового кольца в связи с полным отсутствием этой компоненты. Известно, что единичный циркулярно-поляризованный оптический вихрь с противоположными знаками топологического заряда  $l$  и поляризации  $\sigma$ , распространяющийся вдоль оптической оси кристалла, представляет собой суперпозицию радиально (ТМ) и азимутально (ТЕ) поляризованных пучков. В свою очередь такие пучки внутри кристалла не будут испытывать при распространении структурных изменений, но будут иметь разные перетяжки на выходе из кристалла, что позволяет отфильтровывать один из пучков при их фокусировке.

Тем не менее возникает вопрос, что произойдет, если вдоль оси одноосного кристалла будет распространяться не единичный оптический вихрь, а массив сингулярных пучков. В связи с вышесказанным **Целью** данной работы является изучение особенностей распространения массивов сингулярных пучков в одноосном кристалле при совпадении оси симметрии массива пучков с оптической осью кристалла.

Анализ картин распределения поляризации показал, что при фокусировке с тремя циркулярно-поляризованными оптическими вихрями с противоположными знаками направления циркуляции поляризации и топологического заряда, прошедшего вдоль оси одноосного кристалла, формируется массив радиально и азимутально поляризованных пучков. При этом тот факт, какой пучок исследуется симметричный или асимметричный, не влияет на результат эксперимента.

При увеличении количества пучков, во-первых, увеличивается действие сферической аберрации, а во-вторых, влияние деструктивной интерференции на картины распределения поляризации пучков приводит к потере радиального и азимутального распределений.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Совета министров Республики Крым № 17-42-92020 и частично поддержана Программой развития Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского на 2015 – 2024 годы*

**ДОРСАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СПИННОГО МОЗГА ПРИ ЭПИДУРАЛЬНОЙ  
ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ**

Глушенков А.Н.<sup>1</sup>, Григорьев П.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*преподаватель кафедры медицинской физики и информатики Физико-технического  
института КФУ им. В.И. Вернадского*

<sup>2</sup>*д.б.н., заведующий кафедры медицинской физики и информатики Физико-технического  
института КФУ им. В.И. Вернадского*

[an.glushenkov@yandex.ru](mailto:an.glushenkov@yandex.ru)

**Введение.** При нейрореабилитации пациентов с параплегией одной из наиболее эффективных методик является эпидуральная электростимуляция. Несмотря на значительные достижения в этой области, устойчивое поддержание режима равновесия и шагания в пациентах до сих пор не достигнуто. Среди множества причин, стоящих на пути выработки успешных методик лечения, выделяют различия в структуре ЦНС (центральной нервной системы) модельных животных и людей, с одной стороны. С другой стороны в литературе отмечается, что текущий уровень понимания характера взаимодействия электрического поля стимуляции с тканями элементов спинного мозга является недостаточным. С нашей точки зрения последнюю проблему можно решить, если представить её как задачу нахождения эффективной проводимости биологических тканей, участвующих в процессе электростимуляции. Однако перед этим необходимо узнать какие из дорсальных элементов подвергаются воздействию электрического поля стимуляции.

**Цель работы** – данная работа ставит своей целью выявление дорсальных элементов, подвергающихся воздействию электрического поля при эпидуральной стимуляции.

**Задачи:** 1. Построить МКЭ-модель (метод конечных элементов), учитывающую размеры и взаимную ориентацию дорсальных элементов спинного мозга на примере домашней белой свиньи. 2. Разместить электроды на поверхности модели в соответствии с используемыми в клинической практике режимами стимуляции. 3. Сформулировать начальные и граничные условия, описывающие режим стимуляции.

**Результаты исследований.** Была построена МКЭ-модель люмбарных сегментов L3, L4 спинного мозга домашней белой свиньи. Начальные и граничные условия были сформулированы для квазистационарного случая и дали распределение электрического поля, захватывающего дорсальные корешковые нити, дорсальные столбы, дорсальные рога, вентральные рога, латеральные столбы, ликвор, эпидуральный жир. Дополнительно был проведен расчёт распределения электрического поля для случая применённой ламинэктомии. В обоих случаях значительных изменений в охвате отдельных элементов спинного мозга или его оболочек не было выявлено.

**Выводы.** Полученные результаты очень хорошо согласуются с описанными в литературе, что свидетельствует об адекватности модели. В частности, прохождение электрического поля большей интенсивности через ликвор и меньшей интенсивности через спинномозговой столб и дорсальные корешковые нити. Отличия от описанных ранее результатов составляют прохождение электрического поля через латеральные столбы, а также образование электрических контуров, проходящих через структуры серого вещества. Предположительно существующие методики эпидуральной стимуляции могут быть скорректированы за счёт выбора особого режима стимуляции, нивелирующего



дополнительные «помехи» по отношению к сигналам, передающимся в нейросети дорсальный корешок→ интернейрон→мотонейрон. Однако для проверки этой гипотезы необходимо построить модель этой нейросети, испытывающей возбуждение со стороны дорсального корешка и систематическую помеху со стороны стимулирующего поля.

Авторы выражают благодарность к.м.н. Лаврову И.А. за предоставленные экспериментальные материалы и консультации.

## МОНИТОРИНГ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ПО РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ БОЛЕЗНЕЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ.

Рыбалко С.Ю.<sup>1</sup>, Ященко С.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доцент кафедры медицинской физики и информатики Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup> доцент кафедры гигиены общей с экологией Медицинской академии КФУ  
[kphis012@yandex.ua](mailto:kphis012@yandex.ua)

**Введение.** Ускоренные темпы развития современных технологий, базирующихся на передаче информации в радиочастотном диапазоне (РЧ) электромагнитных излучений (ЭМИ), создают необходимость совершенствования методов гигиенической оценки состояния среды обитания человека. Уровень здоровья любой популяции имеет региональную специфику, которая обусловлена особенностями взаимоотношения человека и окружающей среды. Хорошо известно, что в роли индикатора состояния целостного организма выступают функциональные показатели деятельности сердечно – сосудистой системы (ССС). В настоящее время патология ССС выходит на лидирующие места в структуре заболеваемости и смертности населения. По прогнозам экспертов, число летальных исходов от болезней системы кровообращения (БСК) будет расти. Однако учет действия ЭМИ как одного из факторов формирования данного вида патологии, изучен недостаточно. Проведенные нами ретроспективные исследования (2003 – 2014 гг.) динамики распространенности БСК по отчетам Министерства Здравоохранения Республики Крым и удельного числа абонентов сотовой связи среди населения Крыма по отчетам Министерства Связи Республики Крым и ведущих мобильных операторов УМС и Киевстар показали неуклонный рост исследуемых показателей. При проверке значимости корреляционной связи для двух выборок с использованием коэффициента корреляции Кендалла нами была обнаружена корреляционная связь,  $Tau > 0$  ( $Tau = 0,879$ ), на уровне значимости  $p = 0,01$ .

Этот факт, а также отсутствие систематических работ в сфере выявления влияния ЭМП, позволило нам запланировать дальнейшие исследования и **сформулировать цель данной работы**: изучить интенсивность излучения мобильных телефонов в местах их активной эксплуатации в 22-х административно-территориальных единицах Республики Крым, сопоставить их с нормами, и выявить риск по БСК для здоровья населения, пользующегося услугами мобильной связи.

**Материал и методы.** Излучение мобильных телефонов (МТ) определялось на территории Крыма в местах их активной эксплуатации абонентами (микрорайоны городов, городские и сельские поселения). Количество точек замеров зависело от площади исследуемого района и варьировало от 3 до 60. В каждой точке замера уровень ЭМИ определялся последовательно от двух одинаковых МТ (Samsung G3) в режиме голосовой связи с удаленным абонентом. Заболеваемость населения республики Крым по БСК получена из «Крымского медицинского информационно-аналитического центра».

**Результаты.** Полученные значения плотности потока энергии (ППЭ) находились в пределах от  $0,82 \pm 0,02$  мкВт/см<sup>2</sup> до  $2,09 \pm 0,12$  мкВт/см<sup>2</sup>, среднее значение ППЭ по Крыму равно

1,35±0,07 мкВт/см<sup>2</sup>. При статистической обработке результатов получены положительные и достоверные корреляционные зависимости между средними значениями ППЭ и показателями общей заболеваемости по БСК. Среди составляющих БСК на первом месте по величине корреляционной связи стоит ишемическая болезнь сердца (ИБС), на втором – болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением (ПКД).

Обсуждение. Обнаруженные положительные корреляционные связи между ППЭ и БСК в целом (R=0,471; p=0,027) указывают на воздействие ЭМИ мобильной связи на ССС с последующим возможным формированием БСК.

**Выводы.** Выявлены статистически достоверные корреляционные связи между средними значениями ППЭ и показателями общей заболеваемости по БСК, из составляющих БСК по величине корреляционной зависимости лидирует ИБС и ПКД.

Работа выполняется при поддержке РФФИ (18-013-01028 А).

## УПРАВЛЯЕМАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ ИНВЕРСИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ЗАРЯДА ОПТИЧЕСКОГО ВИХРЯ В МУЛЬТИ-ГЕЛИКОИДАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

Баршак Е.В.<sup>1</sup>, Яворский М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>старший преподаватель кафедры медицинской физики и информатики Физико-технического института КФУ,

<sup>2</sup>заместитель директора по научной работе Физико-технического института КФУ  
[lena.barshak@gmail.com](mailto:lena.barshak@gmail.com)

**Введение.** Оптические вихри (ОВ) приобретают все большее значение в развитии информационных технологий, что связано с их способностью переносить орбитальный угловой момент (ОУМ). Это открывает новые возможности передачи данных, а также ставит ряд задач, среди которых можно выделить проблему реализации базовых логических операций над значениями ОУМ. Так, для полноценного использования информационного потенциала состояний фотонов с ОУМ в области моделирования квантовых вычислений и коммуникаций требуется механизм осуществления базовых логических операций – гейтов.

**Цель** работы состоит в демонстрации способности мульти-геликоидальных волокон (МГВ) осуществлять управляемую поляризацией инверсию топологического заряда ОВ, что позволяет реализовать один из ключевых логических гейтов CNOT.

Модель МГВ (рис. 1) описывается следующим тензором диэлектрической проницаемости:

$$\boldsymbol{\epsilon}_{\text{МГВ}}(r, \varphi, z, \tau) = \epsilon_{\text{ИБ}}(r) \hat{\mathbf{e}} + \epsilon_{\text{МГВ}}(r, \varphi, z, \tau) \hat{\mathbf{e}}, \quad (1)$$

где  $\epsilon_{\text{ИБ}}(r)$  - описывает идеальное волокно,  $\epsilon_{\text{МГВ}}(r, \varphi, z, \tau)$  описывает анизотропию формы поперечного сечения ( $\tau$  – порядок симметрии поперечного сечения), используется цилиндрическая система координат  $(r, \varphi, z)$ . Поперечное сечение равномерно поворачивается при движении вдоль МГВ в плоскости, перпендикулярной его оси, на угол  $\theta = qz = \frac{2\pi}{H} z$ , где  $H$  - шаг скрутки.

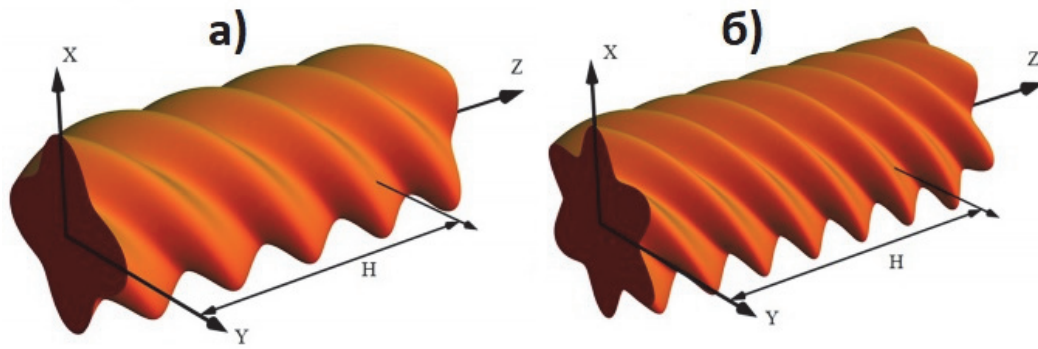


Рис. 1. Модели МГВ, имеющие следующие значения порядка симметрии: а)  $\tau = 4$ , б)  $\tau = 6$ .

**Результаты исследований.** В качестве метода исследования использовалась разработанная ранее в работах Яворского М.А. теория возмущений вблизи резонансных значений скрутки оптического волокна. Выражения для мод МГВ вблизи таких резонансных точек имеют вид:

$$\begin{aligned} |\Psi_1\rangle &= (\cos \alpha |1, m\rangle e^{-imqz} + \sin \alpha |1, -m\rangle e^{imqz}) e^{i\beta_1 z}, \\ |\Psi_2\rangle &= (\sin \alpha |1, m\rangle e^{-imqz} - \cos \alpha |1, -m\rangle e^{imqz}) e^{i\beta_2 z}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $m$  – азимутальное число,  $\alpha$  – параметр распределения энергии между парциальными оптическими вихрями в моде, зависящий от отношения величины анизотропии формы поперечного сечения к близости величины шага скрутки волокна к резонансному значению,  $\beta_1, \beta_2$  – соответствующие постоянные распространения. Фазовые множители при парциальных вихрях указывают на блоховскую структуру полученных мод. Выражения (2) позволяют аналитически исследовать эволюцию ОВ в МГВ вблизи резонансных значений шага скрутки. Анализ показывает, что при строгом попадании в резонансную точку на оптимальной длине волокна имеет место следующее преобразование входного ОВ:

$$|1, \ell\rangle \rightarrow |1, -\ell\rangle, \quad (3)$$

где  $\ell = \pm m$  – топологический заряд ОВ, тогда как  $|-1, m\rangle$  и  $|-1, -m\rangle$  с высокой степенью точности являются модами и поэтому не меняют своей структуры при распространении:

$$|-1, \ell\rangle \rightarrow |-1, \ell\rangle. \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) можно объединить следующим образом:

$$|\sigma, \ell\rangle \rightarrow |\sigma, -\sigma\ell\rangle, \quad (5)$$

что указывает на возможность управления знаком топологического заряда выходного ОВ с помощью МГВ путем управления знаком циркулярной поляризации входного ОВ  $\sigma = \pm 1$ .

**Выводы.** В работе продемонстрирована возможность управления знаком топологического заряда выходного ОВ с помощью МГВ путем управления знаком циркулярной поляризации входного ОВ. Такая управляемая инверсия топологического заряда определяет теоретическую возможность создания фундаментального логического элемента – «Управляемое-НЕ» (CNOT gate), где роль управляющего кубита играет состояние циркулярной поляризации  $\sigma = \pm 1$ , а управляемого – топологический заряд ОВ  $\ell = \pm m$ .

Предложенный волоконный метод реализации гейта CNOT имеет существенные преимущества в виде «чистоты» волоконных полей, эффективности и устойчивости, способствуя дальнейшему расширению информационных возможностей, основанных на ОУМ-технологиях.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ ПТШ МЕТОДОМ КРУПНЫХ ЧАСТИЦ  
В КВАЗИГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ**

Фесенко Ф.Ф.

*студент 1 курса магистратуры Физико-технического института КФУ кафедры  
радиофизики и электроники*научный руководитель: доцент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического  
института КФУ Зуев С.А.[fesmail@yandex.ru](mailto:fesmail@yandex.ru)

**Введение.** Конструирование полупроводниковых приборов является одним из наиболее перспективных приложений численного моделирования. Построенная модель полупроводникового прибора может быть использована как основной инструмент для конструирования новых приборов. Преимуществом такого способа является его экономичность по сравнению с традиционными лабораторными методами. В связи с этим, построение таких моделей является задачей актуальной и практически значимой.

Существует обширный класс моделей для описания процессов, протекающих в полупроводниковых транзисторах. Наиболее развитая и распространённая дрейфово-диффузионная модель, однако, имеет ряд ограничений, связанных с представлением энергии как стационарной величины. Вместе с тем модели более высокого уровня требуют значительных вычислительных ресурсов для их реализации. В связи с этим возникает необходимость создания моделей обеспечивающих достаточную точность результатов при расчёте приборов микронного диапазона за малое время счёта.

**Целью работы** является разработка быстрой модели микронного СВЧ полевого транзистора с затвором Шоттки планарной архитектуры в квазигидродинамическом приближении на основе метода крупных частиц.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- предложить модель и разработать численные методы для быстрого решения системы уравнений предложенной модели;
- разработать пакет программ для автоматизации вычислений и проведения вычислительных экспериментов;

**Результаты работы.** Предложена модель и численные методы для быстрого решения системы уравнений предложенной модели. На разработанном пакете программ был проведён ряд вычислительных экспериментов для измерения интегральных характеристик ПТШ по заданной геометрии.

**Выводы.** Из результатов видно, что данная модель адекватно описывает процессы, происходящие в полупроводниковом транзисторе, позволяя учитывать температурные эффекты.

Данную модель можно использовать для исследования влияния геометрических параметров, размеров канала, областей легирования и величин концентраций примеси в различных участках на характеристики транзистора. Основным преимуществом разработанной модели является скорость расчёта характеристик, которую обеспечивает как выбранное приближение, так и методы численного решения уравнений.

## ИННОВАЦИОННЫЙ КОНТЕЙНЕР

Полетаев Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>доцент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>доцент кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

[poletaevda@cfuv.ru](mailto:poletaevda@cfuv.ru)

**Введение.** Для безотходной утилизации мусора требуется его сортировка. Различные предприятия решают этот вопрос по-разному. Как указано в работе Белюсева Л. «Прием вторсырья по-новому» разрабатываются сложные робототехнические системы, требующие постоянного обслуживания и постоянных энергетических затрат. Наиболее экономически выгодным способом сортировки является сортировка отходов самими производителями мусора – гражданами. Однако для повышения эффективности этого процесса требуется их мотивировать какими-либо поощрениями. Такими может быть не только денежное вознаграждение, но и приятная музыка, а также слова благодарности. Представляется целесообразным разработать инновационный контейнер для сбора, анализа типа мусора и выдачи сообщений пользователям.

**Целью работы** разработка инновационного контейнера для мусора.

Инновационный контейнер работает следующим образом. Дежурный режим. В данном режиме устройство управления подает сигнал отображения на табло информации о типе мусора, для которого предназначен данный мусорный контейнер. Данные о типе мусора заранее записываются в устройство управления. В дежурном режиме при наличии внешнего освещения, электрическая энергия от фотоэлектрического преобразователя передается на аккумулятор, заряжая его. При этом фотоэлектрический преобразователь подает сигнал на устройство управления и устройство управления отключает осветительный блок. При отсутствии внешнего освещения сигнал с фотоэлектрического преобразователя не подается на устройство управления и устройство управления включает осветительный блок. Рабочий режим. Блок наружных датчиков подает сигнал наличия объекта вблизи контейнера для мусора на устройство управления. После этого устройство управления считывает данные о типе мусора с блока наружных датчиков и сравнивает его с информацией о типе мусора для которого предназначен данный мусорный контейнер. При совпадении данных устройство управления подает на табло сигнал отображения стрелки, указывающей на крышку с отверстиями контейнера для мусора, также устройство управления выдает на громкоговоритель приятный звук. При несовпадении данных устройство управления подает на табло сигнал отображения запрещающего знака, также устройство управления выдает на громкоговоритель резкий звук, устройство управления выдает сигнал переключения цвета свечения на осветительный блок. Далее устройство управления считывает данные с блока внутренних датчиков. Если пользователь поместил мусор в контейнерную часть, данные о типе мусора с блока наружных датчиков и с блока внутренних датчиков будут совпадать. Устройство управления сравнивает информацию о типе мусора для которого предназначен данный мусорный контейнер с данными о типе мусора, поступивших с блока наружных датчиков и с блока внутренних датчиков. При их совпадении устройство управления подает на табло сигнал отображения веселой картинки, также устройство управления выдает на громкоговоритель приятный звук. При каком-либо несовпадении устройство управления подает на табло сигнал отображения невеселой картинки, также устройство управления выдает на громкоговоритель резкий звук, устройство управления подает сигнал переключения цвета свечения на осветительный блок.

**Выводы.** Работая описанным выше образом, инновационный контейнер позволяет повысить эффективность процесса сортировки мусора самими пользователями.



## УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ НАНОАНТЕННА

Полетаев Д.А.<sup>1</sup>, Соколенко Б.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>доцент кафедры радиофизики и электроники Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>доцент кафедры общей физики Физико-технического института КФУ

[poletaevda@cfuv.ru](mailto:poletaevda@cfuv.ru)

**Введение.** Наноантенны – широкий класс приборов, которые применяются в различных областях современной техники. С помощью них возможно осуществлять прямое преобразование света в электрическую энергию. Достоинством таких приборов, по сравнению с полупроводниковыми фотоэлектрическими преобразователями, является простота изготовления, что уменьшает конечную стоимость устройства. Однако, диапазон длин волн, в которых эффективно функционирует наноантенна довольно узок.

Для расширения диапазона длин волн, в которых функционирует наноантенна, применяют наборы наноантенн, каждая из которых настроена на определенную длину волны. Недостатком такой системы является невозможность получения высокого КПД, ввиду значительной площади поверхности, занимаемой единичным элементом. В работе Р. Олмона «Оптические антенны» делается обзор фрактальных наноантенн, и наноантенн, выполненные в форме галстука-бабочки. Однако они не способны работать в широком диапазоне длин волн. Целесообразно предложить конструкцию наноантенны, способную эффективно функционировать в широком диапазоне длин волн.

**Целью работы** является теоретический анализ конструкции предложенной усовершенствованной наноантенны для фотовольтаики.

Рассматриваемая наноантенна состоит из двух соединенных монополярных антенн, образованных квадратными призмами из проводящего материала. Высота первой призмы  $d_1$ , второй –  $d_2$ . Стороны квадрата основания призм одинаковы и равны  $b$ . Вектор Пойнтинга падающей электромагнитной волны направлен перпендикулярно данной структуре. Каждая квадратная призма данной наноантенны обладает собственной емкостью и индуктивностью. Их величины зависят от геометрических и электрофизических (относительной диэлектрической проницаемостью, проводимостью и относительной магнитной проницаемостью) параметров элементов. Емкость и индуктивность каждой квадратной призмы образуют колебательный контур, имеющий собственную резонансную длину волны. Ввиду наличия скин-слоя у реальных проводников степень связи между данными контурами является нелинейной функцией от длины электромагнитной волны. Уединенная квадратная призма из проводящего материала имеет индуктивность  $L$  и емкость  $C$ . Эти величины рассчитаны с достаточной точностью, например в работах П.Л. Калантарова «Расчет индуктивностей» и Ю.А. Иоссея «Расчет электрической емкости», соответственно. Величина сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , для первой и второй призм, соответственно, нелинейно зависят от длины электромагнитной волны, ввиду наличия скин-эффекта. Исходя из индуктивности и емкости уединенных проводников, а также выражение для их сопротивления, был найден импеданс усовершенствованной наноантенны. Работа антенны считается эффективной, если ее импеданс в области рабочих длин волн чисто активный. График зависимости мнимой части импеданса наноантенны с оптимизированными размерами  $d_1=d_2=35$  нм,  $b=48$  нм для проводящего материала – медь от длины волны приведен на рис. 1. На этом же графике для сравнения приведена зависимость мнимой части отдельной монополярной антенны, образованной квадратной призмой из проводящего материала высотой  $d_1=35$  нм со стороной квадрата основания  $b=48$  нм.

**Результаты исследований.** Как видно из графика на рис.1 в диапазоне длин волн солнечного излучения предложенная конструкция имеет более чем в 2 раза меньшее реактивное сопротивление чем монополярная антенна. При этом площадь, занимаемая

предложенной наноантенной по сравнению с монопольной антенной, увеличивается лишь в два раза. Однако, предложенная наноантенна способна эффективно работать в более широком диапазоне длин волн, чем монопольная антенна. Минимум реактивного сопротивления на рис.1 приходится на ближнюю ультрафиолетовую область. Это позволяет компенсировать поглощение ультрафиолетовой части спектра в атмосфере. Ввиду широкого диапазона длин волн, в котором эффективно функционирует предложенная наноантенна, целесообразно ее применение в фотовольтаике.

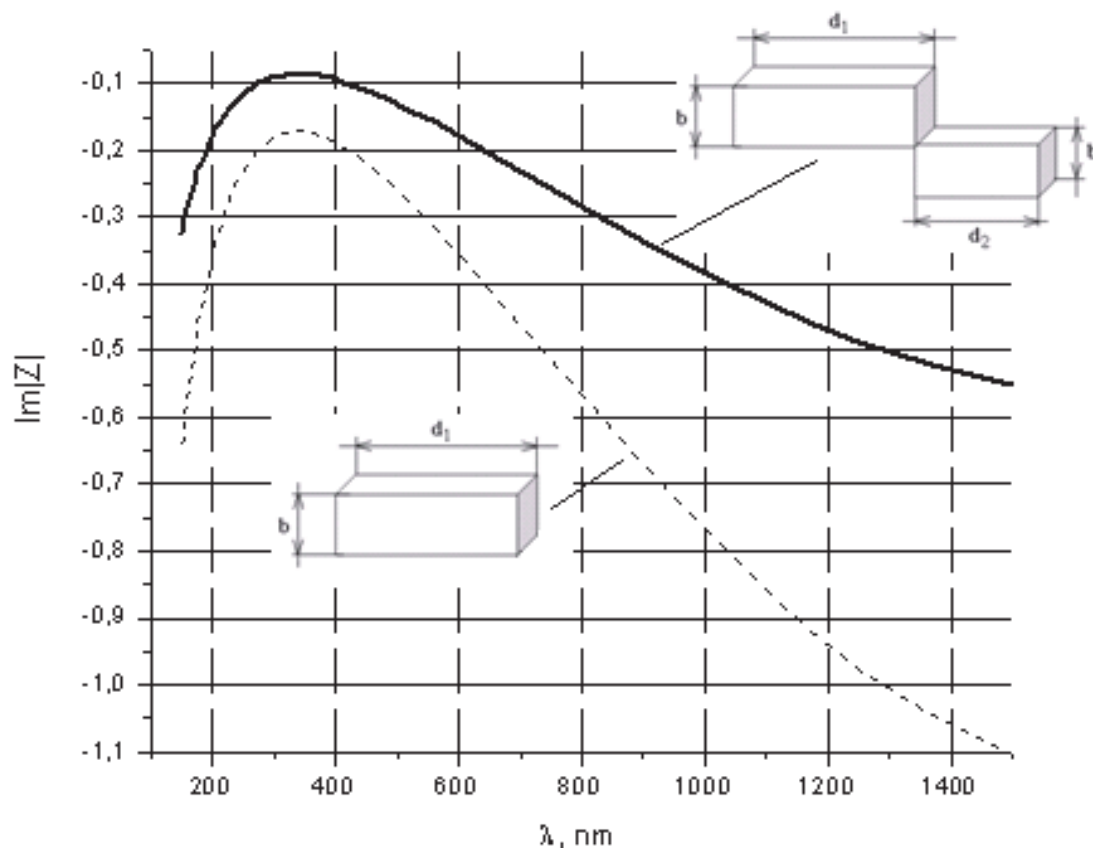


Рис. 1. Зависимость мнимой части импеданса наноантенны от длины волны.

**Выводы.** В дальнейшем планируется провести численное моделирование параметров антенной решетки из таких элементов. Наиболее применимым для моделирования методом можно считать метод граничных элементов.

Описанная наноантенна может быть изготовлена с помощью метода глубокой ультрафиолетовой литографии с двойным экспонированием. Планируется проведение экспериментальных исследований полученной антенной решетки из таких элементов. На описанную конструкцию наноантенны подана патентная заявка и получен патент Российской Федерации.

Исследование частично профинансировано за счет гранта для молодых ученых программы развития Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского на 2015 – 2024 годы.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АКУСТИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ЦИРКУЛЯРНЫХ  
ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

Викулин Д.В.<sup>1</sup>, Яворский М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент кафедры теоретической физики и физики твердого тела  
Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup> заместитель директора по научной работе Физико-технического института КФУ  
[vikulindmitriy@mail.ru](mailto:vikulindmitriy@mail.ru)

**Введение.** Большинство работ по волоконной акустооптике посвящены изучению взаимодействия *фундаментальной* линейно-поляризованной акустической волны с оптическими модами. В то же время, в работе Р. Марчиано «Synthesis and analysis of linear and nonlinear acoustical vortices» была продемонстрирована возможность возбуждения изгибных акустических волн высших порядков в форме акустических вихрей произвольных топологических зарядов. В пионерской работе 2006 года П. Дашти «Observation of orbital Angular Momentum Transfer between Acoustic and Optical Vortices in Optical Fiber» был экспериментально продемонстрирован процесс генерации оптического вихря непосредственно из фундаментальной моды на созданной акустическим вихрем с линейной поляризацией волоконной решетке. Необходимо отметить, что данный процесс сопровождается передачей орбитального углового момента акустического вихря фундаментальной оптической моде, т.е. в процессе фотон-фононного рассеяния. При этом до сих пор остается совершенно неисследованным вопрос взаимодействия циркулярно-поляризованных акустических вихрей, переносящих наряду с орбитальным спиновый угловой момент, с оптическими модами в оптических волокнах.

**Цель** работы - изучение взаимодействия однородных циркулярно-поляризованных акустических вихрей с оптическими модами различных порядков.

Для достижения данной цели были поставлены следующие **задачи** исследования:

1. Сформулировать последовательную модель акустооптического взаимодействия (АОВ), индуцированного изгибной акустической волной высшего порядка в форме акустического вихря и получить выражение для распределения показателя преломления циркулярного волокна с циркулярно-поляризованным акустическим вихрем произвольного топологического заряда;

2. Определить резонансные моды и спектр постоянных распространения циркулярных оптических волокон с правополяризованным акустическим вихрем с топологическим зарядом +1;

3. Определить резонансные моды и спектр постоянных распространения циркулярных оптических волокон с левополяризованным акустическим вихрем с топологическим зарядом -1;

4. Исследовать эволюцию фундаментальной оптической моды в циркулярном волокне с АОВ, индуцированным однородным акустическим вихрем;

5. Исследовать трансформацию спинового и орбитального угловых моментов в процессе соответствующего фотон-фононного взаимодействия.

Задача получения модовой структуры рассматриваемой системы решена аналитически при помощи развитой ранее в работе К. Алексеева «Perturbation theory approach for the wave equation in fiber acousto-optic» резонансной теории возмущений.

**Основные результаты** исследования:

1. Предложена теория взаимодействия оптических и однородных акустических вихрей в циркулярных оптических волокнах;

2. Впервые получено выражение показателя преломления циркулярного волокна с циркулярно-поляризованным акустическим вихрем произвольного топологического заряда;

3. Впервые получены резонансные моды и спектр постоянных распространения циркулярных волокон с правополяризованным акустическим вихрем с топологическим зарядом +1 и с левополяризованным акустическим вихрем с топологическим зарядом -1;

4. Продемонстрирована возможность эффективной генерации оптических вихрей непосредственно из фундаментальной моды на созданной в волокне вихревой решетке. Топологический заряд при этом равен с противоположным знаком заряду вихревой решетки, определяемого как сумма поляризационного числа  $\sigma_a$  и топологического заряда  $\ell_a$  акустического вихря:  $\ell = -(\ell_a + \sigma_a)$ ;

5. Продемонстрирована новая спин-орбитальная конверсия при фотон-фононном рассеянии: трансформация спинового углового момента фонона в орбитальный угловой момент фотона и наоборот.

**Грантовая поддержка.** Исследование выполнено при поддержке ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского», грант № ВГ01/2017.

## ВЕКТОРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В НОВОЙ МОДЕЛИ АКУСТО-ОПТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

Викулин Д.В.<sup>1</sup>, Яворский М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>студент кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>зам. директора по научной работе Физико-технического института КФУ

[phystechs@cfuv.ru](mailto:phystechs@cfuv.ru)

**Введение.** Удивительно, но, несмотря на впечатляющий прогресс в теоретических и экспериментальных исследованиях акусто-оптического взаимодействия в оптических волокнах, общепринятое представление о том, как именно изгибная акустическая волна влияет на распространение мод оптического волокна, должно быть, на наш взгляд, пересмотрено. Действительно, классическая идея состоит в том, что акустическая волна производит периодические микроизгибы, которые полностью эквивалентны тем, что возникают при последовательности *механических* изгибов волокна. Используя известное распределение акустически индуцированного вектора деформации - решение стандартного уравнения движения упругой среды - мы продемонстрировали, что это не так.

**Целью работы** является построение новой модели акустооптического взаимодействия в циркулярных волокнах с изгибной акустической волной фундаментального порядка, которая основана на правильном распределении акустически индуцированного вектора деформаций.

**Результаты исследований.** Предсказано, что длины хорошо известного модового преобразования  $LP_0 \rightarrow LP_1$  должны быть разными для х-и у-поляризованной падающей фундаментальной оптической моды в присутствии линейно поляризованной акустической волны. Кроме того, показано существования нового зависящего от поляризации преобразования мод, в котором азимутальное число  $\ell$ , а также оптическая частота генерируемой стандартной оптической моды  $LP_\ell$  определяются направлением линейной поляризации падающего пучка нулевого порядка  $LP_0$ .

Продемонстрирована поляризационно-зависимая генерация оптических вихрей непосредственно из падающей основной моды с помощью циркулярно-поляризованной изгибной акустической волны. Впервые предсказана спин-орбитальная конверсия углового момента в процессе фотон-фононного взаимодействия. Предсказанный векторный эффект дает хорошую возможность для экспериментальной проверки предложенной модели. С практической точки зрения описанный эффект

может быть положен в основу создания новых акустооптических устройств, таких, например, как управляемые поляризацией модуляторы интенсивности и частотные преобразователи. Важно отметить, что полученные результаты показывают, что новые эффекты, связанные с поляризацией, могут быть также обнаружены в ранее изученных акустически управляемых системах, таких как брэгговские волокна, фотонно-кристаллические волокна и т.д.

Отдельно следует подчеркнуть, что разработанный здесь подход к волоконно-акустооптическому взаимодействию может быть непосредственно обобщен на случай изгибных волн более высокого порядка, что, в частности, позволяет описать взаимодействие между акустическим и оптическим вихрями в волокнах.

**Выводы.** Основанная на правильном распределении вектора деформации модель акустооптического взаимодействия предсказывает существование принципиально новых векторных эффектов модовой трансформации и спин-орбитальной конверсии угловых моментов.

Работа была выполнена при поддержке Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, грант № ВГ01/2017.

## ВЛИЯНИЕ ОДНОИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ НА ТИПЫ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ДВУХПОДРЕШЕТОЧНОМ МАГНЕТИКЕ

Ярыгина Е.А.<sup>1</sup>, Фридман Ю.А.<sup>2</sup>, Клевец Ф.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*аспирант кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ*

<sup>2</sup>*профессор кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ*

[Klevets\\_ph\\_n@cfuv.ru](mailto:Klevets_ph_n@cfuv.ru)

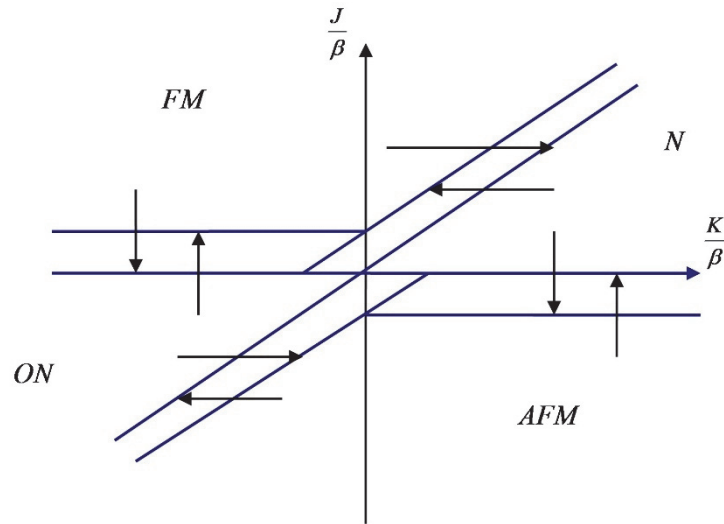
**Введение.** Известно, что в общем случае изотропное обменное взаимодействие для магнетика со спином  $S > 1/2$  не ограничивается билинейным обменным взаимодействием, а может включать в себя спиновые инварианты более высоких порядков, в частности биквадратичное обменное взаимодействие. Влияние биквадратичного взаимодействия приводит к реализации спиновых структур тензорного типа, называемых спиновые нематики. В таких фазах наблюдаются особенности основного состояния и спектральных свойств системы, и их изучение представляет фундаментальный интерес в физике магнетизма. Кроме того, исследования таких систем представляет и практический интерес, например, для спинтроники.

**Целью работы** является исследование фазовых состояний и динамических свойств негейзенберговского магнетика со спином магнитного иона  $S = 1$  при различных соотношениях констант обменных взаимодействий.

**Результаты исследований.** Было установлено, что в системе реализуются четыре стабильные фазы. Учет влияния легкоплоскостной одноионной анизотропии на фазовые переходы в двухподрешеточном магнетике приводит к «снятию вырождения» фазовых переходов первого рода, т.е. в системе реализуются четыре фазовых перехода первого рода с областями сосуществования фаз, вместо четырех «вырожденных» фазовых переходов первого рода (см., например, [Yu.A. Fridman, O.A. Kosmachev, and Ph.N. Klevets Spin nematic and orthogonal nematic states in  $S = 1$  non-Heisenberg magnet // JMMM – Vol. 325. - P. 125-129. - 2013]).

Фазовая диаграмма рассмотренной системы показана на рис. 1.





**Выводы.** Установлено, что в рассматриваемой системе реализуются четыре стабильных фазы: ферромагнитная, нематическая, антиферромагнитная и ортогонально нематическая. Фазовые переходы между указанными фазами являются фазовыми переходами первого рода. Найдены критические соотношения между материальными параметрами системы, при которых происходят указанные фазовые переходы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Совета Министров Республики Крым в рамках научного проекта № 17-42-92007 р\_а, а также поддержано по программе развития Крымского федерального университета им В.И. Вернадского на 2015-2024 гг.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИММЕТРИИ ТЕНЗОРА ВЕЙЛЯ ДЛЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ НУЛЬ-СТРУНЫ

Осокин К.С.<sup>1</sup>, Леляков А.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>аспирант кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ  
[Oxygen93@ya.ru](mailto:Oxygen93@ya.ru)

**Введение.** Космические струны – это одномерные топологические дефекты, которые, согласно предсказаниям Калибровочных Теорий Великого Объединения (ТВО), могли образовываться в ранней Вселенной в процессе фазовых переходов. Также не исключается, что космические струны могли сохраниться до современной эпохи и могут быть наблюдаемыми.

Нуль-струны реализуют предельный случай нулевого натяжения космических струн. В таком пределе точки нуль-струны взаимодействуют лишь с внешним гравитационным полем, но не друг с другом. Так как натяжение струны измеряется отрицательными степенями планковской массы  $m_{pl}$ , то предел нулевого натяжения соответствует асимптотически большим масштабам энергии  $E \gg m_{pl}$ . С этой точки зрения нуль-струны реализуют высокотемпературную фазу теории струн, то есть могли образовываться на ранних стадиях эволюции Вселенной.

При изучении точных решений уравнений Эйнштейна активно используется классификация Петрова, которая для каждого события на псевдоримановом многообразии описывает возможные алгебраические симметрии тензора Вейля:

$$W_{abcd} = R_{abcd} - \frac{2}{n-2}(g_{a[c}R_{d]b} - g_{b[c}R_{d]a}) + \frac{2}{(n-1)(n-2)}Rg_{a[c}g_{d]b}, \quad (1)$$

где  $R_{abcd}$  тензор Римана,  $R_{ab}$  тензор Риччи,  $g_{ab}$  метрический тензор,  $R$  скалярная кривизна,  $n$  размерность многообразия, квадратные скобки обозначают операцию антисимметризации.

Согласно классификации Петрова существуют ровно шесть возможных типов алгебраической симметрии:

- Тип I: четыре главных изотропных направления,
- Тип II: одно двукратное и два однократных главных направления,
- Тип D: два двукратных изотропных направления,
- Тип III: одно трехкратное и одно однократное изотропное направление,
- Тип N: одно изотропное направление с кратностью 4,
- Тип O: тензор Вейля равен 0.

Для определения типа Петрова для данной метрики используются так называемые критерии Бела, которые выражаются следующим образом:

- $W_{abcd}$  имеет тип N тогда и только тогда, когда существует единственный изотропный вектор  $k$ , удовлетворяющий  $W_{abcd}k^d = 0$ .
- Если  $W_{abcd}$  не принадлежит типу N, тогда  $W_{abcd}$  имеет тип III тогда и только тогда, когда существует единственный изотропный вектор  $k$ , удовлетворяющий  $W_{abcd}k^b k^d = 0$ .
- $W_{abcd}$  имеет тип II тогда и только тогда, когда существует единственный изотропный вектор  $k$ , удовлетворяющий  $W_{abcd}k^b k^d = \alpha k_a k_c$  и  $*W_{abcd}k^b k^d = \beta k_a k_c$  ( $\alpha\beta \neq 0$ ).
- $W_{abcd}$  имеет тип D тогда и только тогда, когда существует два линейно независимых изотропных вектора  $k$  и  $k'$ , удовлетворяющих  $W_{abcd}k^b k^d = \alpha k_a k_c$ ,  $*W_{abcd}k^b k^d = \beta k_a k_c$  ( $\alpha\beta \neq 0$ ),  $W_{abcd}k'^b k'^d = \gamma k'_a k'_c$ ,  $*W_{abcd}k'^b k'^d = \delta k'_a k'_c$  ( $\gamma\delta \neq 0$ ),

где  $*W_{abcd}$  тензор, дуальный тензору Вейля.

Каждый из типов Петрова можно интерпретировать как вид гравитационного поля. Так, например, области поля типа D ассоциируются с гравитационными полями изолированных массивных небесных тел (метрика Керра), а тип O соответствует конформно плоскому пространству (метрика Фридмана).

**Целью** работы является исследование симметрии тензора Вейля гравитационного поля аксиально-симметричной, замкнутой нуль-струны движущейся вдоль оси  $z$  без изменения формы.

**Результаты исследований.** Для квадратичной формы

$$dS^2 = e^{2\nu} \left( (dt)^2 - (dz)^2 \right) - A(d\rho)^2 - B(d\theta)^2,$$

метрические функции которой определены равенствами:

$$e^{2\nu(q,\eta)} = c_5 \left| \lambda_{,q} \right| e^{-\sqrt{\frac{2\chi}{3}}\varphi(q,\eta)},$$

$$B(q,\eta)_{1,2} = \frac{\tilde{c}_1}{2c_4} (R_{,\theta})^2 (\lambda(q))^2 e^{-\sqrt{\frac{2\chi}{3}}\varphi(q,\eta)} \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \left( c_4 \sqrt{\frac{6}{\chi}} f_{,\eta} \right)^2} \right],$$

$$A(q,\eta)_{1,2} = \frac{\tilde{c}_1}{2c_4} (\lambda(q))^2 e^{-\sqrt{\frac{2\chi}{3}}\varphi(q,\eta)} \left[ 1 \mp \sqrt{1 - \left( c_4 \sqrt{\frac{6}{\chi}} f_{,\eta} \right)^2} \right],$$

$q = t + z$ ,  $\eta = \rho - R(\theta)$ , функции  $R(\theta)$ ,  $\alpha(q)$ ,  $\lambda(q)$ ,  $\phi(q, \eta)$ ,  $f(\eta)$  определяют форму нуль-струны, построен тензор Вейля и показано, что для приведенного решения все компоненты тензора (1) равны нулю.

**Выводы.** Равенство нулю компонент тензора Вейля для гравитационного поля аксиально-симметричной, замкнутой нуль-струны движущейся вдоль оси  $z$  без изменения формы говорит о том, что форма замкнутой нуль-струны существенно влияет на ее гравитационные свойства. В частности, для рассматриваемой конфигурации нуль-струны ее гравитационное поле принадлежит к тому же классу, что и известное решение Фридмана.

## СПИНОВЫЙ НЕМАТИК СО СПИНОМ $S=3/2$ НА ТРЕУГОЛЬНОЙ РЕШЁТКЕ

Неклюдов Е.А.<sup>1</sup>, Фридман Ю.А.<sup>2</sup>, Клевец Ф.Н.<sup>3</sup>, Космачёв О.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>студент 6 курса кафедры теоретической физики и физики твёрдого тела Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>заведующий кафедрой теоретической физики и физики твёрдого тела Физико-технического института КФУ

<sup>3</sup>профессор кафедры теоретической физики и физики твёрдого тела Физико-технического института КФУ

<sup>4</sup>доцент кафедры теоретической физики и физики твёрдого тела Физико-технического института КФУ  
[nekludov95@rambler.ru](mailto:nekludov95@rambler.ru)

**Введение.** Для изотропных магнетиков при наличии высших по спинам обменных слагаемых типа  $(S_1 S_2)^n$ ,  $n = 2S$ ,  $S > 1/2$ , возможна реализация не только фаз с отличным от нуля средним значением спина, но также и фаз с  $\langle \mathbf{S} \rangle = 0$ , в которых спонтанное нарушение вращательной симметрии обусловлено средними значениями спиновых мультиполей, например, квадрупольными средними  $S^{ij} = \langle S^i S^j + S^j S^i \rangle / 2$ . Такое состояние, названное спиновым нематиком (SN), было найдено для магнетиков со спином  $S = 1$ . Для спина  $S = 3/2$  на квадратной решетке найдены фазы с  $\langle \mathbf{S} \rangle = 0$ , для которых симметрия относительно отражения времени нарушена за счет нетривиальных свойств трёхспиновых средних. В силу этого для спина  $S = 3/2$  на квадратной решетке возможно существование антинематической (SAN) фазы, в которой направления вектор-директора в двух подрешетках антипараллельны.

**Целью работы** является исследование спектров элементарных возбуждений в одноподрешёточных фазах (FM и SN фазы) негеизеберговского магнетика с  $S=3/2$  на треугольной решетке. Чтобы определить области существования устойчивых фаз, а также установить тип фазового перехода между ними, исследуем спектры элементарных возбуждений. Для этого используем метод бозанизации операторов Хаббарда.

**Выводы.** Симметрия кристаллической решётки играет роль лишь в случае реализации антиферромагнитной и антинематической фаз. Спектры ферромагнитной и нематической фаз на треугольной решётке со спином  $3/2$  имеют схожий вид со спектрами этих же фаз на квадратной решётке со спином  $3/2$ .

## НОВЫЕ ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ МАГНЕТИКА С $S=2$

Фридман Ю.А.<sup>1</sup>, Космачев О.А.<sup>2</sup>, Кривцова А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>заведующий кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ

<sup>3</sup>аспирантка кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ

[fridman\\_yu\\_a@cfuv.ru](mailto:fridman_yu_a@cfuv.ru)

**Введение.** Исследование магнитоупорядоченных систем с учетом высших спиновых инвариантов в последние годы становится все более актуальным. В магнетиках с  $S=1$  возможна реализация квадрупольно-ферромагнитных фаз, характеризующихся как дипольным параметром порядка, так квадрупольными. Более того, реализуются упорядоченные состояния с  $\langle \mathbf{S} \rangle = 0$  – т.н. нематические (или квадрупольные) состояния. В общем случае, магнетики с произвольным значением спина магнитного иона  $S$ , характеризуются мультипольными параметрами порядка степени  $2S$  по спиновым операторам. Соответственно, в таких системах возможна реализация новых необычных фазовых состояний, существование которых невозможно объяснить учетом только лишь билинейного по спинам гейзенберговского слагаемого.

В последнее время возник интерес к изучению спиновых систем с  $S>1$ . Это связано с описанием бозе-эйнштейновского конденсата в оптических ловушках. Теоретически и экспериментально исследуются конденсаты, полученные на ультрахолодных атомах щелочных металлов со спином  $S=1$  и  $S=2$ . Как показывают исследования спинового гамильтониана с  $S=2$ , полученные состояния, соответствуют магнетик с одной подрешеткой. При отрицательных значениях констант обменного взаимодействия в магнетике с  $S=2$  возможно существование антиферромагнитной и ортонематической фаз, а также антитетраэдрической фазы.

**Целью исследований** является изучение фазовых состояний и их устойчивости относительно произвольных возбуждений для модели изотропного магнетика с  $S=2$  в случае изменения знака констант обменного взаимодействия. **Задачами исследования** являются: нахождение фазовых состояний двухподрешеточных структур; построение фазовых диаграмм при различных соотношениях между константами обменного взаимодействия; изучить поведение спектров элементарных возбуждений в окрестности линий фазовых переходов фаз, реализующихся в данной модели.

**Методика исследований.** Гамильтониан изотропного магнетика со спином  $S=2$  с учётом полного набора спиновых инвариантов имеет вид:

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{n \neq n'} [J_{nn'} (S_n S_{n'}) + K_{nn'} (S_n S_{n'})^2 + D_{nn'} (S_n S_{n'})^3 + F_{nn'} (S_n S_{n'})^4].$$

Рассматриваемая система находится при низких температурах  $T \rightarrow 0$ , поскольку именно в этом случае наиболее ярко проявляются квантовые свойства системы. Спектры магнонов были получены методом функций Грина для операторов Хаббарда.

**В результате исследований** динамических и статических свойств магнетика со спином  $S=2$  определены возможности разбиения системы на две магнитные подрешетки при изменении знака обменных интегралов высших инвариантов по спинам. Определены состояния двухподрешеточных фаз с ненасыщенными подрешетками. Кроме того, найдены возможности реализации двухподрешеточных ортогональных нематических фаз.

**Выводы.** Проведенные исследования негейзенберговского магнетика со спином магнитного иона  $S=2$  позволяют утверждать, что учет высших спиновых инвариантов

является существенным, и приводит к возникновению магнитоупорядоченных состояний с более сложной структурой, нежели ферро- или антиферромагнитная. Эти фазы характеризуются тем, что в них намагниченность (на один узел) равна нулю, но, тем не менее, реализуемые в них состояния являются магнитоупорядоченными, а параметрами порядка являются компоненты тензора мультипольных моментов.

## АНАЛИЗ УРАВНЕНИЙ ЭЙНШТЕЙНА ДЛЯ ЗАМКНУТОЙ РАДИАЛЬНО РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОЙ НУЛЬ-СТРУНЫ

Леяков А.П.<sup>1</sup>, Ханейчук О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>студент Физико-технического института КФУ

[olhan91@yandex.ru](mailto:olhan91@yandex.ru)

**Введение.** Космические нуль-струны являются пределом нулевого натяжения струн (т.е., описывают предельный случай, в котором точки струны могут взаимодействовать только с окружающим (внешним) гравитационным полем (но не друг с другом)). В рамках теории Большого взрыва предполагается, что такие объекты образовались при фазовых переходах в первые мгновения существования Вселенной вследствие нарушения осевой или цилиндрической симметрии распределения плотности материи. Наряду с космическими струнами также образовались иные топологические дефекты: доменные стенки (вследствие нарушения дискретной симметрии), монополи (из-за нарушения сферической симметрии) и их комбинации. Среди этих структур именно космические струны вызывают повышенный интерес с космологической точки зрения, так как обладают подходящими характеристиками, позволяющими рассматривать космические струны в качестве зародышей для тех неоднородностей плотности вещества в ранней Вселенной, которые обуславливают последующее образование галактик и скоплений галактик. Струны позволяют решить проблему скрытой массы, а также объясняют механизм ускоренного сжатия или замедленного расширения пространства, характерного для Фридмановских Вселенных.

Космические струны - это линейные концентрации энергии, имеющие очень высокую линейную плотность массы и толщину порядка постоянной Планка. Из-за взаимодействия с гравитационным полем время жизни космических струн конечно, и, как показали последние исследования, пропорционально радиусу  $R$  наименьшей сферы, содержащей струну. Поэтому любая струна, дожившая с момента Большого взрыва до наших дней, должна иметь размер не меньше 0,3 Мпк. Космические струны могут быть либо бесконечной длины, либо замкнуты. Численные расчёты показывают, что бесконечные струны, образующиеся в результате фазового перехода в реалистических моделях, составляют около 80% от общего числа струн. Остальные струны возникают в виде замкнутых петель, причем плотность числа петель размера  $R$  в единице объема имеет вид  $n_R \approx R^{-3}$ .

**Целью работы** является построение и первичный анализ уравнений Эйнштейна для замкнутой радиально расширяющейся аксиально-симметричной нуль-струны.

**Результаты исследований.** Показано, что система уравнений Эйнштейна для замкнутой радиально расширяющейся аксиально-симметричной нуль-струны может быть представлена в виде:



$$\begin{aligned}
& \frac{1}{B} \left[ 2v_{,\theta\theta} + 2v_{,\theta}^2 - \frac{v_{,\theta}B_{,\theta}}{B} - \frac{\mu_{,\theta}B_{,\theta}}{B} + 2\mu_{,\theta\theta} + 2\mu_{,\theta}^2 + 2v_{,\theta}\mu_{,\theta} \right] + \\
& + e^{-2\mu} \left[ 2v_{,zz} + 2v_{,z}^2 - 2v_{,z}\mu_{,z} + \frac{v_{,z}B_{,z}}{B} + \frac{B_{,zz}}{B} - \frac{B_{,z}^2}{2B^2} - \frac{\mu_{,z}B_{,z}}{B} \right] = -\chi \left[ \frac{\varphi_{,\theta}^2}{B} + \frac{\varphi_{,z}^2}{e^{2\mu}} \right], \\
& -\frac{B_{,\eta\eta}}{2B} + \frac{B_{,\eta}^2}{4B^2} + \frac{v_{,\eta}B_{,\eta}}{B} - \mu_{,\eta\eta} - \mu_{,\eta}^2 + 2v_{,\eta}\mu_{,\eta} = \chi\varphi_{,\eta}^2, \\
& v_{,\eta\theta} + \mu_{,\eta\theta} - \frac{B_{,\eta}}{2B} [v_{,\theta} + \mu_{,\theta}] - \mu_{,\eta} [v_{,\theta} - \mu_{,\theta}] = -\chi\varphi_{,\eta}\varphi_{,\theta}, \\
& v_{,\eta z} + \frac{B_{,\eta z}}{2B} - v_{,z} \left[ \mu_{,\eta} + \frac{B_{,\eta}}{2B} \right] - \frac{\mu_{,\eta}B_{,z}}{2B} - \frac{B_{,\eta}B_{,z}}{4B^2} = -\chi\varphi_{,\eta}\varphi_{,z}, \\
& -2v_{,\theta z} + \frac{v_{,\theta}B_{,z}}{B} - 2v_{,\theta}v_{,z} + 2\mu_{,\theta}v_{,z} = \chi\varphi_{,\theta}\varphi_{,z}, \\
& \frac{e^{2\mu}}{B} \left( 2v_{,\theta\theta} + 4v_{,\theta}^2 + 2v_{,\theta}\mu_{,\theta} - \frac{v_{,\theta}B_{,\theta}}{B} \right) + 2v_{,zz} + 4v_{,z}^2 - 2v_{,z}\mu_{,z} + \frac{v_{,z}B_{,z}}{B} = 0, \\
& v_{,zz} + v_{,z}^2 - v_{,z}\mu_{,z} - \frac{v_{,z}B_{,z}}{2B} - \frac{e^{2\mu}}{B} \left[ v_{,\theta\theta} + v_{,\theta}^2 - v_{,\theta}\mu_{,\theta} - \frac{v_{,\theta}B_{,\theta}}{2B} \right] = \frac{1}{2} \chi \left( \frac{e^{2\mu}}{B} \varphi_{,\theta}^2 - \varphi_{,z}^2 \right),
\end{aligned}$$

где

$$v = v(\eta, \theta, z), \quad B = B(\eta, \theta, z), \quad \mu = \mu(\eta, \theta, z), \quad \varphi(\eta, \theta, z) = \ln \left( \frac{1}{(\alpha(\eta) + \lambda(\eta)f(\tilde{z}))^{\tilde{\gamma}}} \right), \quad \tilde{\gamma}$$

— некоторая положительная константа, и

$$0 < \alpha(\eta) + \lambda(\eta)f(\tilde{z}) \leq 1, \quad \lambda(\eta) = \frac{(1 - \alpha(\eta))}{f_0}, \quad f_0 = \text{const}, \quad \alpha(\eta) = e^{-\frac{1}{\varepsilon + (\xi\eta)^2}},$$

$$f(\tilde{z}) = f_0 e^{-\phi \left( 1 - \exp \left\{ -\frac{1}{(\xi\tilde{z})^2} \right\} \right)},$$

а  $\xi$  и  $\zeta$  определяют «толщину» кольца, внутри которого сконцентрировано скалярное поле, по переменным  $z$  и  $\eta$  соответственно,  $\varepsilon$  и  $\phi$  — константы. Анализ данной системы позволил доопределить зависимость метрических функций для предложенной квадратичной формы.

**Выводы.** Из рассмотрения совместно системы уравнений Эйнштейна для замкнутой радиально расширяющейся аксиально-симметричной нуль-струны и уравнения скалярного поля найдена функциональная зависимость метрических функций от распределения скалярного поля. Интерпретация решения уравнений Эйнштейна для нуль-струн может прояснить зависимость между формой и характером движения таких объектов и их гравитационными свойствами.

# ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ НУЛЬ-СТРУННОГО ДОМЕНА, РАДИАЛЬНО ИЗМЕНЯЮЩЕГО СВОЙ РАЗМЕР, НА ДИНАМИКУ ПРОБНОЙ НУЛЬ-СТРУНЫ

Леляков А.П.

доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ  
[lelyakov\\_a\\_p@cfuv.ru](mailto:lelyakov_a_p@cfuv.ru)

**Введение.** Калибровочные Теории Великого Объединения предсказывают возможность образования в процессе фазовых переходов в ранней Вселенной одномерных топологических дефектов, получивших название космических струн. Решения типа струн в полевых теориях со спонтанным нарушением симметрии исследовались в многочисленных работах, начиная с работы Нильсена и Олесена «Vortex line models for dual strings», в которой были получены численные решения, описывающие прямые бесконечные гравитирующие струны. Энергия такой полевой конфигурации была сосредоточена в нитеподобной области с исчезающе малым поперечным сечением. В реалистичных моделях радиус поперечного сечения космической струны оценивается как  $r_s \approx 10^{-31}$  м.

Нуль-струны соответствуют пределу нулевого натяжения струн (т.е., описывают предельный случай, в котором точки струны могут взаимодействовать только с окружающим (внешним) гравитационным полем (но не друг с другом)) и тем самым реализуют высокотемпературную фазу струн. Возникнув в момент Большого Взрыва, нуль-струны могли оказать влияние на процессы и структуру Вселенной. Так, например, в работе Желтухина А.А. и Рощупкина С.Н. «Friedman Universes and exactly solutions on string cosmology» была рассмотрена возможность нуль-струнного механизма инфляции для случая D-мерных пространств Фрийдмана-Робертсона-Уокера (ФРУ). В работе была отмечена возможность существования фазы идеального газа нуль-струн (сжимающихся или расширяющихся) и описываемых точным уравнением состояния  $\rho = P(D-1)$ . Рассматривая эту фазу газа нуль-струн, как доминантный источник гравитации в пространствах ФРУ, были вычислены возможные масштабные функции  $R(t)$ .

**Целью работы** является исследовать влияние периодически изменяющихся граничных условий на движение пробной нуль-струны «внутри» аксиально-симметричного нуль-струнного домена, имеющего слоистую структуру и радиально изменяющего свой размер.

**Результаты исследований.** На рис. 1 приведены результаты численного решения уравнений движения пробной нуль-струны (соответственно функции  $\rho(\tau)$ ;  $z(\tau)$ ;  $t(\tau)$ ) движущейся «внутри» рассматриваемого домена нуль-струн в случае, когда на каждом слое домена (по переменной  $Z$ ) находится три нуль-струны.

На приведенных рисунках значениями  $i=1;2;3$  отмечены моменты «встречи» пробной нуль-струны и слоя (по переменной  $\rho$ ) нуль-струнного домена, занумерованного соответствующим индексом.

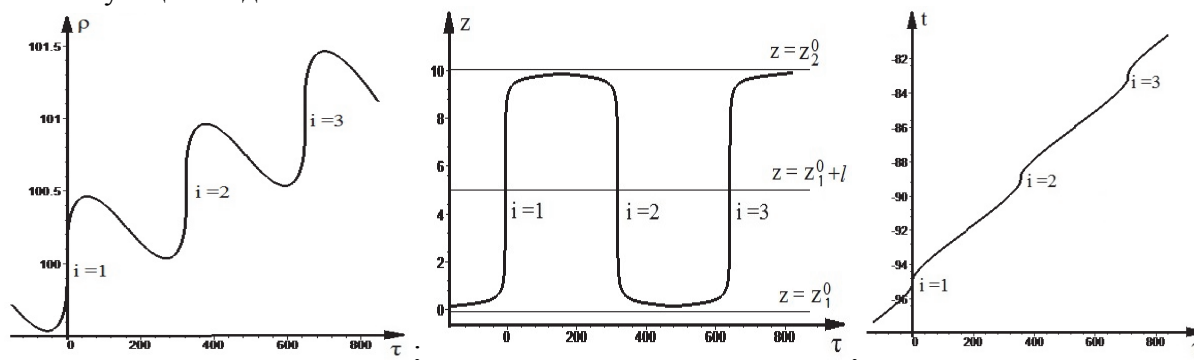


Рис. 1. На рисунке приведены функции  $\rho(\tau)$ ;  $z(\tau)$ ;  $t(\tau)$  определяющие положение пробной нуль-струны при движении «внутри» нуль-струнного домена.

**Выводы.** В работе рассмотрено влияние гравитационного поля уединенного радиально расширяющегося или радиально коллапсирующего слоистого нуль-струнного домена на пробную нуль-струну, для случая, в котором пробная нуль-струна движется «навстречу» домену, имеет форму окружности, радиус которой изменяется с течением времени, и всегда находится в плоскости, которая параллельна плоскости расположения нуль-струн, образующих домен.

Было показано, что в случае перекрытия «зон взаимодействия» нуль-струн, образующих домен:

- Действие гравитационного поля слоистого радиально сжимающегося нуль-струнного домена на пробную нуль-струну, движущуюся внутри домена, всегда приводит к возникновению колебаний пробной нуль-струны, как по переменной  $z$ , так и по переменной  $\rho$ , при этом функция времени является возрастающей.
- Характер движения пробной нуль-струны внутри нуль-струнного домена зависит как от величины начальных параметров пробной нуль-струны, так и от параметров нуль-струнного домена.
- В независимости от величины начальных импульсов пробной нуль-струны, движущейся внутри домена, действие гравитационного поля домена приводит к колебаниям пробной нуль-струны внутри конечной области. Размеры этой области определяются параметрами, характеризующими нуль-струнный домен. Движение (дрейф) области, внутри которой происходят колебания пробной нуль-струны, зависит от соотношения начальных параметров, характеризующих пробную нуль-струну и нуль-струнный домен.
- Устойчивые во времени и ограниченные в пространстве области, в которых происходят колебания пробной нуль-струны, можно рассматривать как локализованные в пространстве частицы с эффективной ненулевой массой покоя. Отмечено, что свойства данных частиц должны определяться траекториями нуль-струн, движущихся внутри ограниченной области пространства, причем, под действием изменяющихся внешних условий один сорт частиц может переходить в другой.
- Действие гравитационного поля слоистого нуль-струнного домена на пробную нуль-струну, находящуюся вне домена, в газе нуль-струн, должно увеличивать долю нуль-струн, участвующих в ускоренном расширении, и уменьшать число нуль-струн, поддерживающих фазу ускоренного сжатия такого газа.

## ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ПОДВИЖНОСТИ НА ЗАТУХАНИЕ СОЛИД-ЭХА

Сапига А.В.<sup>1</sup>, Смирнова А.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института

<sup>2</sup> студентка 2-го курса магистратуры Физико-технического института  
[a.smirnovasbox@gmail.com](mailto:a.smirnovasbox@gmail.com)

**Введение.** Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР) является важной методикой исследования структуры кристаллов. Однако, при исследовании пористых кристаллов, из-за тепловых колебаний кристаллической решетки, такой важный параметр, как межпротонное расстояние в молекулах воды, не удается определить достаточно точно. В этой связи перспективным представляется анализ формы затухания солид-эха от задержки между импульсами как новый метод структурных исследований. Важным оказывается определение температурного диапазона, в котором молекулярная подвижность не нарушает условия формирования солид-эха.

**Целью работы является** получение структурных параметров молекул воды путем анализа температурной зависимости амплитуды солид-эха в кристалле натролита.

**Методика исследований.** В работе методом солид-эха изучался монокристалл природного цеолита натролита ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), в структуре которого имеется всего две неэквивалентные позиции молекул воды, что значительно упрощает анализ. Кристалл устанавливался так, чтобы внешнее магнитное поле было направлено вдоль кристаллографической оси [110]. Измерения проводились в температурном диапазоне 20°C – 88°C.

**Результаты исследований.** На рисунке 1 представлена зависимость затухания амплитуды солид-эха от раздвижки между импульсами при различных температурах.

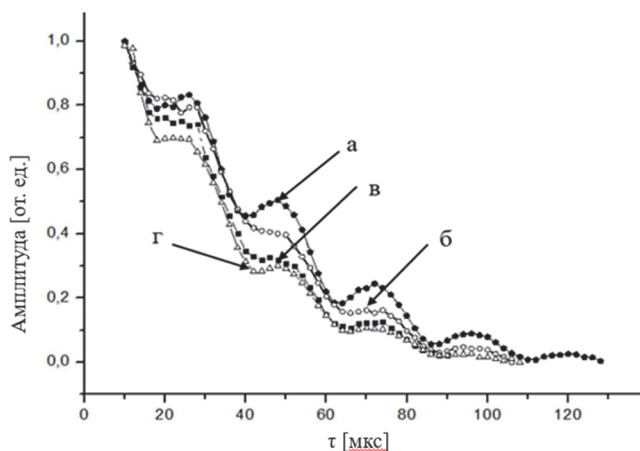


Рисунок 1. Зависимости амплитуды солид-эха от раздвижки между импульсами при различных температурах: а) 22 °C, б) 47 °C, в) 65 °C, г) 88 °C.

В результате аппроксимации экспериментальных кривых теоретической зависимостью, полученной в работе Сергеев, Н.А. «Солид-эхо в кристаллогидратах» Укр. физ. журн. (1990) были получены величины внутримолекулярных и межмолекулярных взаимодействий в молекуле воды в натролите, которые непосредственно связаны со структурными параметрами, в том числе с длиной межпротонного вектора. По температурным зависимостям (рис. 1) установлено изменение вклада во второй момент спектра ЯМР и получена зависимость ширины линии ЯМР от температуры.

**Выводы.** Методом солид-эха ЯМР изучены структурные параметры молекул воды в зависимости от температуры и влияние молекулярной подвижности на затухание осцилляций солид-эха в натролите, а также установлен диапазон температур формирования солид-эха.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВЕРШЕНСТВА СТРУКТУРЫ ТРИГОНАЛЬНЫХ ФЕРРОБОРАТОВ МЕТОДАМИ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ И ТОПОГРАФИИ

Снегирёв Н.И.<sup>1</sup>, Ягупов С.В.<sup>1</sup>, Могиленец Ю.А.<sup>1</sup>, Селезнева К.А.<sup>1</sup>, Стругацкий М.Б.<sup>1</sup>, Куликов А.Г.<sup>2,3</sup>, Марченков Н.В.<sup>2,3</sup>, Элиович Я.А.<sup>2,3</sup>, Фролов К.В.<sup>2</sup>, Любутин И.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

<sup>2</sup>ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

<sup>3</sup>НИЦ «Курчатовский институт»

**Введение.** В настоящее время открываются многообещающие перспективы практического приложения монокристаллов ферробората  $\text{FeVO}_3$  в новых высокотехнологичных отраслях, в частности, в качестве монохроматоров при проведении экспериментов по ядерно-резонансному рассеянию с использованием синхротронного излучения. При этом наличие в таких кристаллах дефектов может ухудшать условия мёсбауэровского резонанса.

**Целью работы** является исследование степени структурного совершенства образцов  $\text{FeVO}_3$ , синтезированных в Лаборатории роста кристаллов КФУ им. В. И. Вернадского, методами высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии и топографии.

**Методика исследований.** Максимум дифракционного отражения на кристаллической решетке имеет место не в бесконечно узкой области углов  $\theta$ , а захватывает определенный их интервал, называемый шириной кривой качания. Величина этого параметра позволяет судить о кристаллическом качестве образца. В свою очередь рентгеновская топография дает наглядное представление о распределении дефектов в кристалле.

**Результаты исследований.** На рисунке 1 представлены результаты измерений одного из образцов в геометрии Брэгга.

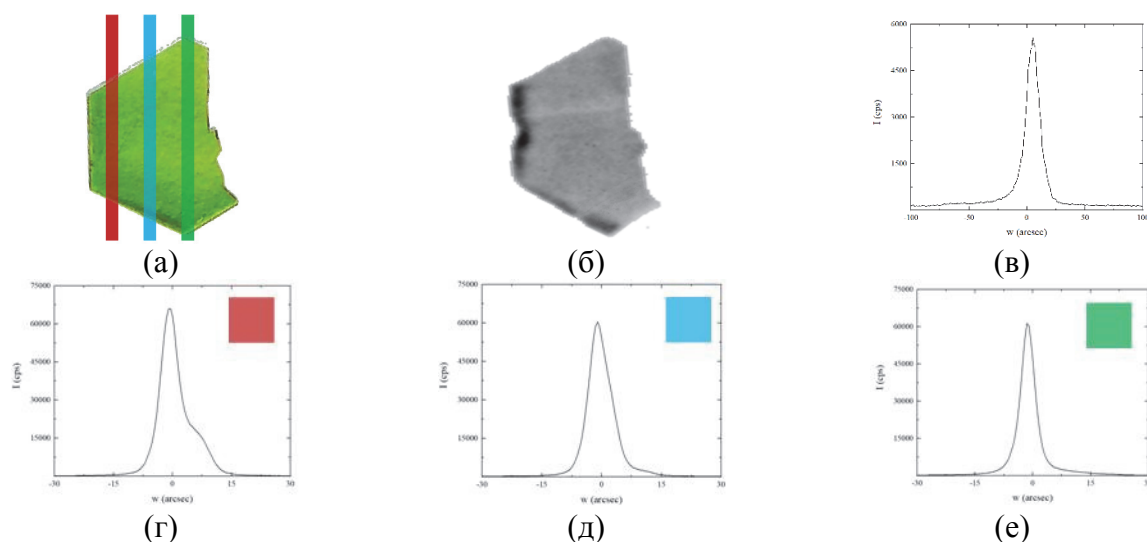


Рисунок 1. Монокристалл  $\text{FeVO}_3$ : оптическая микроскопия (а), рентгеновская топограмма (б) и кривые качания, снятые интегрально (в) и локально (г,д,е) (рефлекс  $(00\ 12)$ ).

Рентгеновская топограмма показала отсутствие макродефектов на поверхности монокристалла, не принимая во внимание эффектов на краях. Полуширина кривой качания,



полученной при засвете всей поверхности широким монохроматичным рентгеновским пучком составила ~13,0 угловых секунд (в). Полуширины, полученные локально по поверхности образца составили 5,1 (г), 4,3 (д) и 3,9 (е) угловых секунд.

**Выводы.** Методами высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии и топографии установлено высокое структурное совершенство монокристаллических образцов ферробората  $\text{FeVO}_3$ , синтезированных в Лаборатории роста кристаллов КФУ им. В.И. Вернадского.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Совета Министров Республики Крым (проект № 17-42-92015 и 18-42-910008 «р\_а»), РФФИ (проект № 18-32-00210 «мол\_а»), а также в рамках Программы развития ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» на 2015-2024 годы.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РАСТВОР-РАСПЛАВНОГО СИНТЕЗА ВЫСОКОСОВЕРШЕННЫХ ФЕРРО-ГАЛЛО-БОРАТОВ $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{VO}_3$

Могиленец Ю.А.<sup>1</sup>, Снегирёв Н.И.<sup>2</sup>, Селезнев К.А.<sup>2</sup>, Селезнева К.А.<sup>3</sup>, Стругацкий М.Б.<sup>4</sup>,  
Ягупов С.В.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> аспирант кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института КФУ имени В.И.Вернадского

<sup>2</sup> студент Физико-технического института КФУ имени В.И.Вернадского

<sup>3</sup> ассистент кафедры теоретической физики и физики твердого тела  
Физико-технического института КФУ имени В.И.Вернадского

<sup>4</sup> профессор кафедры теоретической физики и физики твердого тела  
Физико-технического института КФУ имени В.И.Вернадского

<sup>5</sup> заведующий лабораторией роста кристаллов Физико-технического института КФУ  
[mogilenecya@cfuv.ru](mailto:mogilenecya@cfuv.ru)

**Введение.** Борат железа,  $\text{FeVO}_3$  является весьма перспективным материалом для высокотехнологичных практических применений в различных областях науки и техники. В частности, на основе  $\text{FeVO}_3$  могут быть созданы магнитооптические и магнитоакустические преобразователи, приборы для измерения сверхслабых магнитных полей, температуры и давления. Борат железа может быть применен в современных литий-ионных батареях, позволяя существенно увеличить их емкость, а также в качестве уникального монохроматора в синхротронных технологиях нового поколения.

Для расширения области практического применения представляется интересным возможность варьирования магнитных свойств  $\text{FeVO}_3$  – температуры Нееля  $T_N$ , величин внутрикристаллических полей, магнитной анизотропии и др. В частности, это оказывается критически важным для применения бората железа в качестве монохроматора для выделения из синхротронного излучения высокоинтенсивного мессбауэровского пучка. Необходимые значения параметров излучения в этом случае достигаются вблизи температуры Нееля, которая для бората железа достаточно велика  $T_N \sim 350$  К. Это обстоятельство приводит к необходимости нагревать кристалл, что, в свою очередь, ведет к искажению кристаллической структуры. Вместе с тем, к структурному совершенству монокристаллических образцов в этом случае предъявляются чрезвычайно высокие требования, достижение которых связано с решением сложных технологических задач. Изоморфное диамагнитное разбавление – замещение парамагнитных ионов Fe диамагнитными ионами Ga – позволяет управлять свойствами магнитно-концентрированного материала, что, в свою очередь, дает возможность синтезировать высокосоввершенные кристаллы с необходимыми заданными свойствами.

Монокристаллы на основе бората железа высокого качества могут быть получены методом раствор-расплавной кристаллизации. Однако, стандартная технология синтеза должна быть модернизирована с целью предотвращения появления механических напряжений в кристаллах в процессе синтеза и разрушения больших образцов.

**Целью работы** является разработка технологии и синтез высокосовершенных монокристаллов ферро-галло-боратов  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{BO}_3$ .

**Методика исследований.** Синтез высокосовершенных монокристаллов  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{BO}_3$  раствор-расплавным методом включает следующие этапы: (i) определение оптимальных составов шихты и температурных режимов; (ii) подготовка шихты; (iii) получение гомогенного раствор-расплава в платиновом тигле; (iv) медленное охлаждение раствор-расплава в соответствии с заданным температурным режимом. Все параметры кристаллизации взаимосвязаны, поэтому достижение лучших результатов требует оптимизации каждого шага.

Кристаллизации проводились в системе  $\text{Ga}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-PbO-PbF}_2$ . Кристаллообразующими веществами являются  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;  $\text{PbO}$  и  $\text{PbF}_2$  служат растворителями;  $\text{B}_2\text{O}_3$  является и кристаллообразующим веществом, и растворителем.

Для получения кристаллов высокого качества нами было использовано два технологических режима: кристаллизация в (i) открытом и (ii) закрытом тиглях.

В ходе первого режима синтез проводился на затравку. В высокотемпературный раствор-расплав опускался затравкодержатель (платиновая проволока), использование которого имеет ряд преимуществ: (i) вращение затравкодержателя позволяет получить гомогенный высокотемпературный раствор-расплав; (ii) подбор скорости вращения в ходе синтеза кристаллов позволяет обеспечить равномерную подачу кристаллообразующих компонент к растущему кристаллу; (iii) в процессе медленного охлаждения затравкодержатель служит зондом, позволяющим контролировать появление необходимых кристаллических фаз, а также температурные пределы зародышеобразования и роста кристаллов. Таким образом, оказывается важным иметь возможность регулировать скорость подъема и вращения затравкодержателя. С этой целью нами была модернизирована лабораторная установка для синтеза кристаллов; а именно, создано устройство, обеспечивающее прецизионное управление скоростью вращения вала двигателя постоянного тока подъемного механизма. Соответствующие манипуляции осуществляются с помощью микропроцессорной системы управления технологическим процессом. Таким образом, не смотря на то, что раствор-расплавная кристаллизация является спонтанной, применение затравкодержателей с подъемным механизмом, обеспечивает возможность управления технологическим процессом синтеза кристаллов.

В ходе второго технологического режима, после получения раствор-расплава тигель накрывался платиновой фольгой, перфорированной небольшими отверстиями и другим аналогичным тиглем (тигель-крышкой). Преимуществом данного метода является возможность слива раствор-расплава в тигель-крышку путем переворота печи при высокой температуре. В данном случае синтезированные образцы остаются на перфорированной фольге, что позволяет избежать возникновения механических напряжений в кристаллах при охлаждении их в раствор-расплаве.

**Результаты исследований.** Синтезированные монокристаллы имеют форму шестиугольных базисных пластинок до 8 мм в поперечнике и до 60 мкм толщиной, см. Рисунок 1.



Рис. 1. Синтезированные монокристаллы (а)  $\text{FeBO}_3$  и (б)  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{BO}_3$  с различными  $x$ .

**Выводы.** Разработано несколько технологических режимов для раствор-расплавного синтеза и получены высокосовершенные кристаллы ферро-галло-боратов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Совета Министров Республики Крым (проект № 17-42-92015 и 18-42-910008 «р\_а»), РФФИ (проект № 18-32-

## ADDITIONAL STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THIN-FILM MATERIALS

Nauhatsky I.A.<sup>1</sup>, Maksimov G.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *postgraduate of Chair of Theoretical Physics and Solid State Physics  
of PTI of Vernadsky Crimean Federal University*

<sup>2</sup> *student of PTI of Vernadsky Crimean Federal University*  
[nauhatsky@cfuv.ru](mailto:nauhatsky@cfuv.ru)

**Introduction.** Epitaxial films of ferrites-garnets (EFG) are widely used in practice: topography and visualization of inhomogeneous magnetic fields, in devices of thermomagnetic recording of information. For successful use, EFG-films must have structural perfection.

The difference in the values of the crystal lattice of the film and the substrate ( $\Delta a$ ) are the main sources of defects. In order for the film to grow without cracking, the film and substrate must have sufficiently close parameters of the crystal lattice ( $\Delta a=0,01 \text{ \AA} - 0,02 \text{ \AA}$ ).

In this work, magnetic Bi-containing single-crystal films of ferrites-garnets grown by liquid-phase epitaxy from a supercooled solution-melt were investigated. The substrate is a cubic nonmagnetic monocrystalline gallium-gadolinium garnet (GGG)  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  with a planar crystallographic orientation (111) and a lattice parameter of  $12.383 \text{ \AA}$ .

**The purpose** of the work is to determine the standard and additional structural characteristics of the films: the sizes of the coherent scattering regions and the value of microdeformations.

**Method of research.** Structural studies were carried out on X-ray diffractometer using copper monochromatic radiation in the angular range  $2\theta$  from  $50^\circ$  to  $120^\circ$  with steps of  $0.01^\circ$ .

The magnitude of the parameters of the crystal lattices of the film was determined for the reflex (888):

$$a = \frac{\lambda}{2 \sin \Theta} \sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)}$$

where  $\lambda$  – the wavelength of the X-ray radiation;

$\theta$  – the Bragg angle;

hkl – interference indices.

A coherent scattering region (CSR) size is measured tentatively, using information on the spread of diffraction reflections (444) and (888) and is used to determine the size of crystallites in films.

The mean size of crystallites ( $D$ ) was determined by Scherrer equation:

$$D = \frac{n\lambda}{\beta \cos \Theta}$$

where  $n$  – coefficient depending on the form of the particle ( $n \approx 1$ );

$\beta$  – physical line broadening on a diffractogram (in radians).

**Conclusion.** Determined that the mean size of crystallites in model films is  $D \approx 1300 \text{ \AA}$ , in film with a large  $\Delta a$  is  $D \approx 300 \text{ \AA}$ .

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ БОРАТОВ ИНДИЯ И ГАЛЛИЯ

Максимова Е.М.<sup>1</sup>, Наухацкий И.А.<sup>2</sup>, Замковская А.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>аспирант кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

<sup>3</sup>магистр кафедры теоретической физики и физики твердого тела

Физико-технического института КФУ

[maksimovaem@cfuv.ru](mailto:maksimovaem@cfuv.ru)

**Введение.** Величины параметров тонкой кристаллической структуры, к которым относятся размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) и величины микродеформаций, зависят от процесса синтеза кристаллов, равновесных реакций, кинетики и фазовых изменений. Характеристики тонкой структуры способствуют улучшению методологии выращивания кристаллов и определяют их свойства на наноуровне.

**Целью работы** является определение размеров ОКР и величин микродеформаций в кристаллах бората индия  $\text{InVO}_3$  и бората галлия  $\text{GaVO}_3$ , изоструктурных модельному кристаллу бората железа  $\text{FeVO}_3$ .

**Методика исследования.** Определение параметров тонкой структуры проводилось методом рентгеновской порошковой дифрактометрии, основанном на измерении уширения профиля дифракционного пика  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\int f(\theta) d\theta}{f_{max}},$$

где  $f(\theta)$  – функция формы экспериментального дифракционного пика,

$f_{max}$  – максимальная интенсивность пика.

Точное определение ширины дифракционных отражений возможно только путем теоретического восстановления формы экспериментального отражения. Для аппроксимации дифракционных пиков исследуемых кристаллов была использована функция псевдо-Фойгта.

При определении уширения дифракционного пика необходимо внести поправку, связанную с шириной функции разрешения дифрактометра  $\beta_i$ , заранее определенную в специальном дифракционном эксперименте. Если дифракционный пик имеет уширение  $\beta_o$ , а инструментальное уширение  $\beta_i$ , то уширение, вызванное размером областей когерентного рассеяния и величиной микродеформаций  $\beta_{hkl}$  для аппроксимации функцией псевдо-Фойгта определяется как:

$$\beta_{hkl} = \left( (\beta_o - \beta_i) \sqrt{\beta_o^2 - \beta_i^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Вклад в уширение дифракционных пиков от размера областей когерентного рассеяния и микродеформаций разделялся методом Селякова-Шеррера и Вильямсона-Холла.

Рентгеновские исследования кристаллов проводились на рентгеновском дифрактометре SmartLab (Rigaku) с использованием  $\text{Cu-K}\alpha$ -излучения, графитового монохроматора, порошкового кремния в качестве внешнего стандарта. Фокусировка осуществлялась по методу Брэггу-Брентано, шаг съемки составлял  $0.02^\circ$  с выдержкой в каждой точке 1,2 с.

**Результаты исследований.** Результаты исследований представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Размер областей когерентного рассеяния (D) и величины микродеформаций ( $\epsilon$ ) для  $\text{InVO}_3$  и  $\text{GaVO}_3$

Образец	Метод Селякова-Шеррера	Метод Вильямсона-Холла
---------	------------------------	------------------------

	D, нм	D, нм	$\epsilon, 10^{-5}$
InBO <sub>3</sub>	92.5±8.2	333.4±13.7	77.25±3.18
GaBO <sub>3</sub>	56.9±3.4	54.4±3.1	0.65±0.04

Видно, что существует значительная разница между размерами областей когерентного рассеяния для кристалла InBO<sub>3</sub>, полученными разными методами. Это различие можно объяснить большим вкладом микродеформаций в уширение дифракционных пиков бората индия, который не учитывается в методе Селякова-Шеррера.

Результаты исследований могут быть полезны при синтезе нанопорошков бората индия и бората галлия.

## СТРУКТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТРОИЛИТА И ПЕНТЛАНДИТА В МЕТЕОРИТАХ РАЗНЫХ ТИПОВ

Максимова Е.М.<sup>1</sup>, Гонцова С.С.<sup>2</sup>, Наухацкий И.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела  
Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>аспирант кафедры теоретической физики и физики твердого тела  
Физико-технического института КФУ

<sup>3</sup>зав. лаб. РСА кафедры теоретической физики и физики твердого тела  
Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Максимова Е.М.  
[maksimovaem@cfuv.ru](mailto:maksimovaem@cfuv.ru)

**Введение.** Сульфидные минералы обнаружены во многих типах метеоритов, имеющих разную метаморфическую историю. Троилит FeS, пирротин Fe<sub>1-x</sub>S, пентландит (Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>, и пирит FeS<sub>2</sub> являются самыми распространёнными сульфидными фазами во взвешенном веществе.

**Целью работы** является исследование величин параметров сульфидных фаз – троилита и пентландита взвешенного происхождения, сформированных в разных условиях.

**Объекты и методика исследований.** В работе исследованы сульфидные включения в метеоритах: Челябинск (LL5, S4, W0); Northwest Africa 869 (L4-6, S3, W1); Gandom Bergan 008 (H5, S2, W3-4) и Дронино (iron-ung).

Структурные исследования проводились на дифрактометре общего назначения «ДРОН-3» методом порошков с использованием монохроматического медного излучения в угловом интервале от 10° до 100°. Аншлифы исследуемых образцов были исследованы на сканирующем электронном микроскопе FE-SEM ZEISS SIGMA VP с использованием энергодисперсионной приставки.

**Результаты исследований.** Во всех исследуемых образцах основными сульфидными фазами являются троилит и пентландит, кроме Gandom Bergan 008, где пентландит не был обнаружен. Для сульфидных минералов были определены структурные параметры, представленные в таблице. Наблюдаемые различия в структурных параметрах сульфидных фаз могут быть связаны с наличием примесей.

Таблица. Структурные параметры сульфидных фаз исследуемых образцов.

Образцы	a, Å	c, Å	V, Å <sup>3</sup>
<i>Троилит (P 6(-)2c)</i>			
Челябинск	5.939±0.0001	12.034±0.001	367.71±0.13



Northwest Africa 869	5.979±0.0001	11.725±0.001	363.08±0.04
Gandom Beryan 008	5.962±0.0005	11.801±0.001	363.28±0.05
Дронино	5.964±0.0003	11.828±0.001	364.38±0.03
<i>Пентландит (Fm3m)</i>			
Челябинск	10.156±0.001	-	1047.49±0.16
Northwest Africa 869	10.163±0.001	-	1050.01±0.15
Дронино	10.153±0.0004	-	1046.81±0.11

По данным энергодисперсионного анализа, химический состав троилита в образцах Northwest Africa 869, Gandom Beryan 008 и Дронино является стандартным и не содержит примеси. Однако, в химическом составе некоторых включений троилита в метеорите Челябинск обнаружено небольшое содержание меди Cu ~ 1% wt.

По данным химического состава включения пентландита в исследуемых образцах относятся к железистым. Во включениях пентландита в метеорите Челябинск обнаружено наличие примеси меди Cu ~ 5-6 % wt. По-видимому, это связано с диффузией меди в троилите с последующей концентрацией во включениях пентландита.

**Выводы.** В результате проведенных исследований выявлено, что размеры элементарной ячейки сульфидных минералов изменяются от содержания примесей. Это может быть связано с особенностями термодинамических и кинетических процессов образования кристаллической структуры сульфидов.

### ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ МЕТОДАМИ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ И ЛИТОГРАФИИ

Бублий В.О.<sup>1</sup>, Михайлова Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студентка кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup> старший научный сотрудник научно-исследовательского центра функциональных материалов и нанотехнологий, старший преподаватель кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ, кандидат физико-математических наук

**Введение.** Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) – это один из мощных современных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности твердого тела с высоким пространственным разрешением. В данной работе предлагается с использованием методик СЗМ исследовать поверхность металлических покрытий переменной толщины на диэлектрических подложках: покрытий Cu, которые используют для изготовления волноводных структур с наиболее эффективной модуляцией электромагнитных волн ближнего инфракрасного диапазона и нанослоев Au, являющихся перспективными для формирования наноструктур с ярко выраженными плазмонными резонансами в видимой области спектра. Актуальность проводимых исследований диктуется тем, что качество поверхности подложки и структуры нанесенных покрытий будут влиять на достижение желаемых спектральных характеристик (поглощения и вращения плоскости поляризации) формируемых наноструктур и устройств на их основе. Не менее интересным является и освоение одного из методов модификации поверхности – метода силовой литографии, который позволяет формировать на поверхности различные рисунки, в том числе создавать из сплошных слоев двумерные периодические структуры.

**Цель работы** состояла в исследовании морфологии поверхности нанопокрывтий методом атомно-силовой микроскопии и модификации их поверхности методами зондовой литографии.

**Методика исследования.** Для получения изображений и анализа поверхностей были использованы сканирующие зондовые микроскопы ИНТЕГРА и НАНОЭДЮКАТОР II. Для исследования морфологии поверхности была задействована методика полуконтактной атомно-силовой микроскопии (АСМ). Модификация поверхностей была проведена методами растровой и векторной литографии.

**Результаты исследования** могут быть сформулированы следующим образом:

1. Исследована морфология поверхности металлических покрытий в зависимости от толщины для образцов ГГГ/ЭПФ/Cu и SiO<sub>2</sub>/Au. Образец ГГГ/ЭПФ/Cu обладает большим количеством дефектов, что затрудняет получение качественного изображения структуры металлической пленки. Образец SiO<sub>2</sub>/Au имеет малое количество дефектов на поверхности. Поверхности обоих образцов имеют среднеквадратичную шероховатость на уровне до 10 нм, что допустимо для проведения литографии.

2. Освоен способ нахождения параметра силы нажатия зонда на поверхность, используемый для формирования изображения с помощью литографии.

3. Проведена литография на поверхности Cu и защитного покрытия DVD диска. Векторная литография подходит для формирования простых структур на поверхности

образца, таких как круги, полосы, квадраты. Изображение получается четкое и используется лишь один параметр давления зонда. Также, векторную литографию можно использовать для лучшего определения силы нажатия зонда на поверхность. Растровая литография применяется для формирования сложных структур на поверхности образца. Это достигается использованием изображения и диапазонов параметра давления зонда. Данная функция реализуется за счет разницы в цвете изображения, по которому проводится процесс. Для формирования четкого рисунка на поверхности требуется совершать несколько проходов с разным направлением литографии.

На рис. 1 представлены результаты векторной и растровой литографии на поверхности Cu.

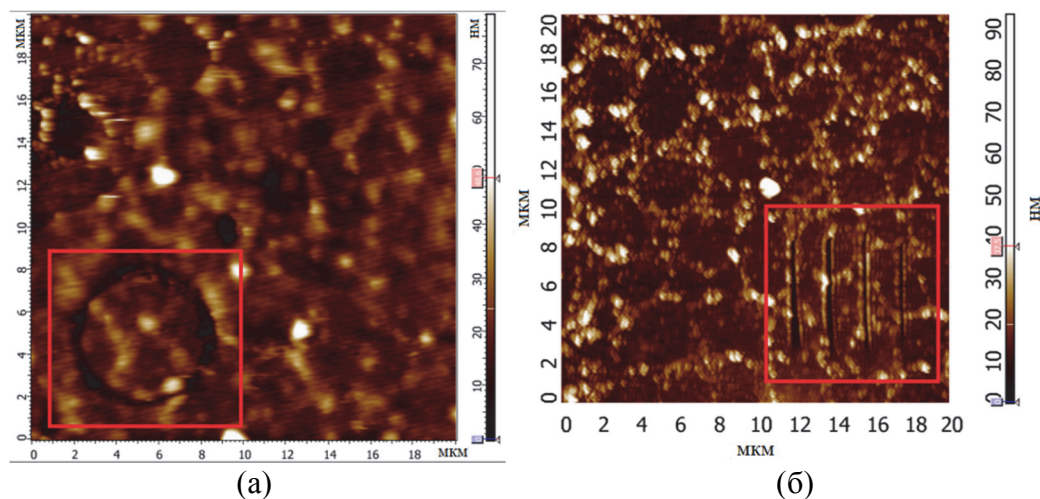


Рис. 1. Результаты проведения литографии на покрытии Cu: а – векторная литография и б – растровая (полоски) литография.

**Выводы.** Исследование морфология поверхности металлических покрытий в зависимости от толщины для образцов ГГГ/ЭПФГ/Cu и SiO<sub>2</sub>/Au показало, что структура покрытий различна, а шероховатость поверхности позволяет формировать на их поверхности нанолитографические рисунки. В ходе выполнения исследований выявлены факторы влияющие на результат проведения силовой литографии.

## ПЛАЗМОННЫЕ ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СЕНСОРИКЕ

Михайлова Т.В.<sup>1</sup>, Ляшко С.Д.<sup>2</sup>, Томилин С.В.<sup>3</sup>, Бокова А.П.<sup>4</sup>, Каравайников А.В.<sup>5</sup>,  
Прокопов А.Р.<sup>6</sup>, Шапошников А.Н.<sup>7</sup> и Бержанский В.Н.<sup>8</sup>

<sup>1</sup>старший научный сотрудник научно-исследовательского центра функциональных материалов и нанотехнологий (НИЦ ФМиНТ), старший преподаватель кафедры экспериментальной физики (КЭФ) Физико-технического института КФУ (ФТИ КФУ),  
канд. физ.-мат. наук

<sup>2</sup>ведущий специалист учебно-организационного отдела ФТИ КФУ

<sup>3</sup>научный сотрудник НИЦ ФМиНТ, ассистент КЭФ ФТИ КФУ, канд. физ.-мат. наук

<sup>4</sup>студентка КЭФ ФТИ КФУ

<sup>5</sup>ведущий специалист НИЦ ФМиНТ ФТИ КФУ

<sup>6</sup>ведущий научный сотрудник НИЦ ФМиНТ ФТИ КФУ, канд. физ.-мат. наук

<sup>7</sup>директор НИЦ ФМиНТ, ассистент кафедры экспериментальной физики ФТИ КФУ,  
канд. физ.-мат. наук

<sup>8</sup>заведующий КЭФ ФТИ КФУ, проф., д-р физ.-мат. наук

[tatvladismikh@cfuv.ru](mailto:tatvladismikh@cfuv.ru)

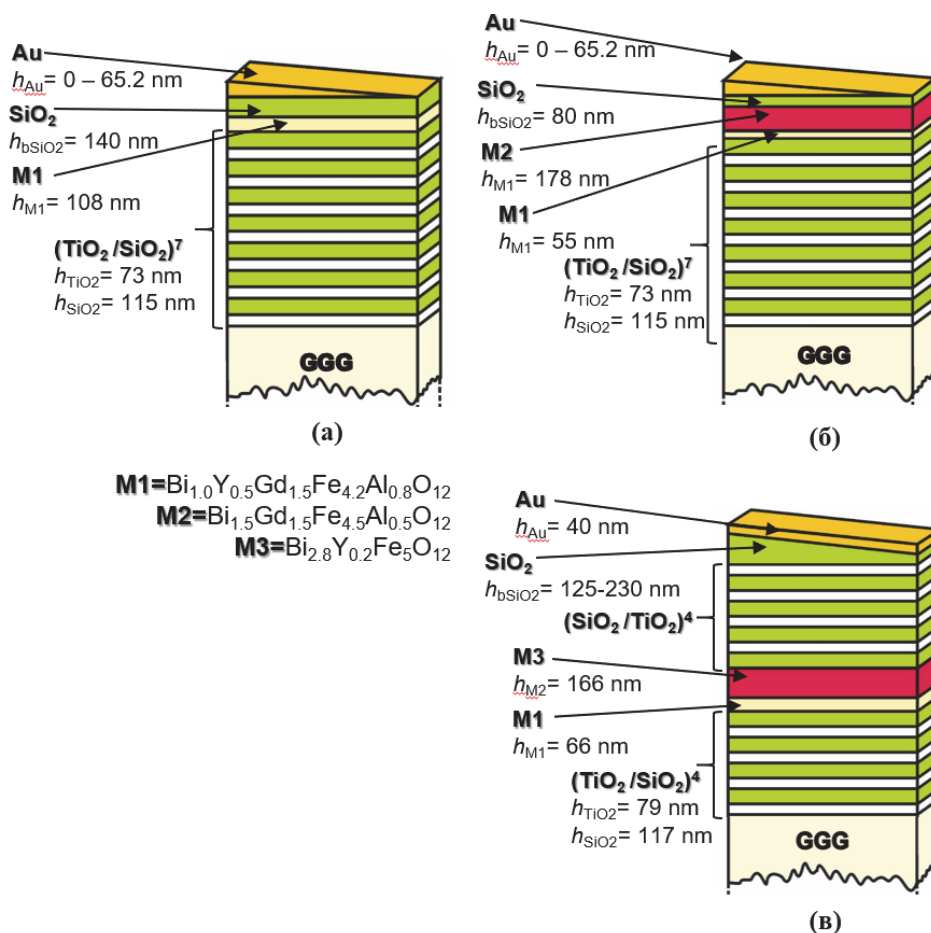
**Введение.** Развитие нанофотоники связано с растущими возможностями технологии изготовления искусственных материалов – композитов и периодических структур с характерными размерами меньше длины электромагнитных волн рабочего диапазона. Исследования в оптике искусственных материалов привели к возникновению концепции фотонной запрещенной зоны и теории фотонных кристаллов (ФК), к реализации множества различных наноструктур и наблюдению новых оптических явлений. Наряду с изучением объемных возбуждений в ФК, активно исследуются поверхностные электромагнитные волны и состояния. Подобные структуры можно эффективно использовать с целью создания устройств для передачи и отображения информации (циркуляторов, изоляторов, переключателей, дисплеев и т.п.) и сенсорики (оптических датчиков). Актуальным является исследование одновременного возбуждения спектрально узких резонансов (оптических таммовских состояний (ОТС), резонанса Фабри-Перо) и резонансов, связанных с поверхностными и локализованными плазмонами.

**Целью** данной работы являлось создание новых типов структур ФК со значительным магнитооптическим откликом и исследование свойств поверхностных ОТС.

**Используемые методы.** Предложенные, синтезированные и исследуемые плазмонные ФК можно описать следующими формулами:  $GGG / [TiO_2/SiO_2]^7 / M1 / SiO_2 / Au$  (№ 1),  $GGG / [TiO_2/SiO_2]^7 / M1 / M2 / SiO_2 / Au$  (№ 2) и  $GGG / [TiO_2/SiO_2]^4 / M1 / M3 / [SiO_2/TiO_2]^4 / SiO_2 / Au$  (№ 3), где GGG – это подложка гадолиний галлиевого граната с кристаллографической ориентацией (111), M1, M2 и M3 – слои Bi-замещенных ферритов-гранатов составов  $Bi_{1.0}Y_{0.5}Gd_{1.5}Fe_{4.2}Al_{0.8}O_{12}$ ,  $Bi_{1.5}Gd_{1.5}Fe_{4.5}Al_{0.5}O_{12}$  и  $Bi_{2.8}Y_{0.2}Fe_5O_{12}$ , соответственно. Структуры и параметры слоев схематически представлены на рис. 1. Зеркала Брэгга структур были синтезированы методом электронно-лучевого испарения, гранатовые и буферные слои  $SiO_2$  (между ФК и слоями Au) – методом реактивного ионно-лучевого распыления, плазмонное Au покрытие – методом термического испарения в вакууме. Гранатовые слои подвергались отжигу на воздухе с целью кристаллизации. Моделирование свойств структур осуществлялось методом матриц переноса  $4 \times 4$  при нормальном и наклонном падении световой волны. Структуры были исследованы в геометрии на пропускание с использованием спектрофотометрии и спектрополяриметрии.

**Результаты исследований.** Фотонная запрещенная зона при нормальном падении света формировалась для структур в диапазоне длин волн от 560 до 850 нм. В спектрах структур №1 и №2 поверхностные ОТС наблюдались в виде резонансного усиления коэффициента пропускания и фарадеевского вращения на длине волны, лежащей внутри фотонной

запрещенной зоны. Максимальное усиление эффекта Фарадея для ФК №1 и 2 составило 10 и 12,5 раз, соответственно. Для структуры №3 гибридное состояние таммовской и микрорезонаторной мод проявилось в виде двух резонансов, которые при толщинах слоя Au более 20 нм являются отталкивающимися и не могут быть совмещены на одной длине волны при изменении толщины буферного слоя SiO<sub>2</sub>. Рассмотрена возможность использования подобных структур в качестве сенсорных систем, детектирующих изменение диэлектрических свойств окружающей среды. В связи с этим проведено моделирование их свойств в базовых конфигурациях при наклонном падении света. В результате расчетов было обнаружено, что гибридизация мод в структуре №3 приводит к различию спектров для ТЕ и ТМ падающих световых волн при наклонном падении.



**Рис. 1.** Схемы многослойных структур плазмонных ФК №1 (а), №2 (б) и №3 (в).

**Выводы.** Предложены и синтезированы новые типы структур плазмонных ФК. Оптические и магнитооптические свойства структур были исследованы экспериментально при нормальном падении света в геометрии эффекта Фарадея. Проведено моделирование свойств структур при наклонном падении света. Полученные результаты могут быть использованы для проектирования перестраиваемых магнитооптических устройств и сенсоров.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части государственного задания (номер проекта 3.7126.2017/8.9).

КОМПОЗИТНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ РЕЗИСТИВНЫХ ЛЕНТ  
ДЛЯ ДИАПАЗОНА СВЧ



Пономаренко В.И.<sup>1</sup>, Лагунов И.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> профессор кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ,

<sup>2</sup> старший преподаватель кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

<sup>1</sup> [vponom@gmail.com](mailto:vponom@gmail.com)

**Введение.** В технике сверхвысоких частот широко применяются различные поглотители электромагнитных волн. Классическими радиопоглощающими материалами являются резистивные пленки, например, резистивная пленка в четвертьволновом слое, который экранирует металлическую поверхность. Такой радиопоглотитель не удовлетворяет современным требованиям к материалам подобного назначения (он является узкополосным). Для увеличения широкополосности пленочного радиопоглотителя применяются многослойные пленочные структуры из слоев резистивных пленок, разделенных между собой диэлектрическими прослойками. Однако, количество параметров, которые возможно изменять в подобных структурах, уступает количеству параметров композитной структуры на основе резистивных лент. Таким образом, моделирование электродинамических свойств композитной структуры на основе резистивных лент является актуальной задачей.

**Цель и задача исследований** – путем изменения электрических и механических параметров композитной структуры на основе резистивных лент, промоделировать ее электродинамические характеристики с целевой функцией – минимизация коэффициента отражения от рассматриваемой структуры. Задача исследований – сравнить композитную структуру на основе резистивных лент и пленок в применении их в качестве радиопоглотителей.

Нами была рассмотрена структура из  $N$  чередующихся решеток резистивных лент с поверхностным сопротивлением отдельной ленты  $\rho$ , причем вдоль оси  $X$  резистивные ленты имели бесконечную длину, а вдоль оси  $Y$  ленты шириной  $2h$  чередовались с периодом  $2b$ , зазор между лентами составлял  $\delta$ . Период структуры вдоль  $Y$  достаточно мал, по сравнению с длиной волны. В данном случае, эффективное поверхностное сопротивление (ЭПС) слоя резистивных лент приобретает емкостную компоненту вдоль  $Y$  и становится комплексной величиной  $\rho_{eff} = \rho' + i\rho''$ . Слои резистивных лент разделены между собой, а также сверху и снизу, диэлектрическими прослойками с относительной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ , толщина всей структуры равна  $d$ .

**Методика исследований.** Путем изменения значений  $\rho$ ,  $\varepsilon$ ,  $d$ ,  $b$ ,  $\delta$ ,  $N$  рассчитывались электродинамические параметры структуры: относительная эффективная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon_{eff} = \varepsilon'_{eff} + i\varepsilon''_{eff}$ ; коэффициент отражения по мощности.

Относительная эффективная диэлектрическая проницаемость (ЭДП)  $\varepsilon_{eff}$  рассчитывалась по формуле:  $\varepsilon_{eff} = (R_1 - 1)(R_2 - 1) / [(R_1 + 1)(R_2 + 1)]$ , где  $R_{1,2}$  – комплексные коэффициенты отражения по амплитуде электромагнитной волны, поляризованной вдоль оси  $Y$ , которая падает нормально на структуру, расположенную на металлическом зеркале ( $R_1$ ) и на магнитном зеркале ( $R_2$ ).

Для сравнения, расчеты  $\varepsilon_{eff}$  и  $\rho_{eff}$  проводились как для структуры из слоев резистивных лент ( $\delta \neq 0$ ), так и для структуры из слоев резистивных пленок ( $\delta = 0$ ).

**Результаты исследований.** Проведенное численное моделирование показало, что с увеличением зазора  $\delta$  между резистивными лентами возрастают обе компоненты комплексного

значения эффективного поверхностного сопротивления  $\rho_{eff}$ , причем при фиксированном  $\delta$  ЭПС возрастает и с увеличением длины волны  $\lambda = 0.02 \dots 0.055$  м.

В данном же диапазоне длин волн рассчитывались значения относительной эффективной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_{eff}$  в зависимости от величины зазора  $\delta$  между резистивными лентами. Полученные результаты показывают увеличение  $\varepsilon'_{eff}$  и уменьшение  $\varepsilon''_{eff}$  с ростом зазора  $\delta$ , причем при постоянном  $\delta$  и с ростом длины волны  $\varepsilon''_{eff}$  в первой половине диапазона сначала увеличивается вдвое, переходя к незначительно изменяющейся величине во второй половине диапазона длин волн.

Зависимости коэффициента отражения  $R_M$  по мощности от длины волны для исследуемой структуры из резистивных пленок и лент приведены на рисунке. С целью нахождения минимального значения данного коэффициента изменялись различные параметры структур. На рисунке приведены графические зависимости для структуры с  $d = 0.01$  м,  $N = 3$  из резистивных пленок ( $\delta = 0$ ,  $\varepsilon = 4.9$ ,  $\rho_1 = 380$  Ом,  $\rho_2 = 300$  Ом,  $\rho_3 = 96$  Ом) и резистивных лент ( $b = 0.005$  м,  $\delta = 0.001$  м,  $\varepsilon = 1.7$ ,  $\rho_1 = 36$  Ом,  $\rho_2 = 31$  Ом,  $\rho_3 = 36$  Ом).

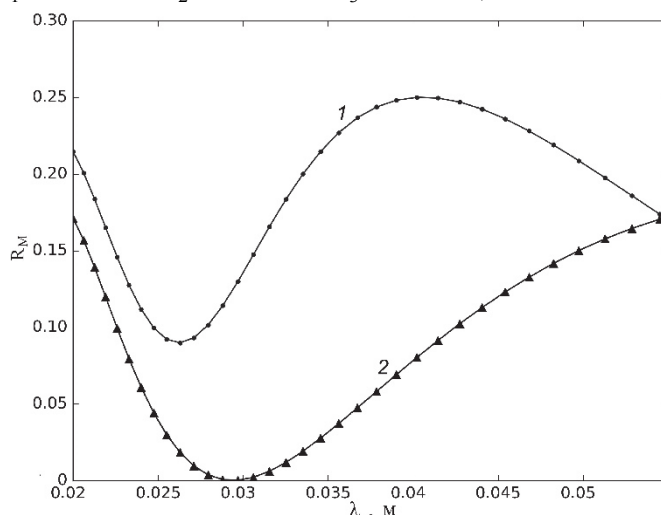


Рис. Зависимости  $R_M$  от длины волны для структур из:  
1 – резистивных пленок; 2 – резистивных лент

Из рисунка видно, что структура из резистивных лент имеет меньший коэффициент отражения по мощности, поэтому она более предпочтительна для радиопоглощающих покрытий, чем структура из резистивных пленок (при одной и той же толщине).

**Выводы.** На основе численного моделирования с изменением электрических и механических параметров многослойной структуры из резистивных лент для диапазона длин волн  $\lambda = 0.02 \dots 0.055$  м были получены и проанализированы значения относительной эффективной диэлектрической проницаемости и эффективного поверхностного сопротивления. Полученные данные легли в основу численного моделирования с последующим анализом коэффициента отражения по мощности от исследуемой структуры. Показано, что структура с чередующимися слоями резистивных лент имеет преимущество перед структурой с чередующимися резистивными пленками для разработки радиопоглощающих покрытий.

Проведенное исследование композитного материала на основе резистивных лент (поляризационно зависимая структура) необходимо в дальнейшем для изучения поляризационно независимой структуры на основе слоев из резистивных квадратов.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ СЕНСОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДАМИ ОПТИЧЕСКОЙ И ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Евтухова Е.А.<sup>1</sup>, Михайлова Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студентка кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup> старший научный сотрудник научно-исследовательского центра функциональных материалов и нанотехнологий, старший преподаватель кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ, кандидат физико-математических наук  
[kate.ri@list.ru](mailto:kate.ri@list.ru)

**Введение.** В настоящее время актуальна тема поиска способов регистрации слабых магнитных полей с высокой чувствительностью и разрешением. Одним из способов регистрации таких полей сегодня считаются СКВИДы – сверхчувствительные магнитометры. Однако, существенным недостатком датчика является его дороговизна и работа при криогенных температурах. Сенсорные элементы на основе тонких магнитных пленок ферритов-гранатов (МПФГ) могли бы занять среди средств регистрации слабых полей лидирующую позицию. Работа сенсорных элементов на основе МПФГ существенно зависит от качества выполнения элемента – равномерности состава и формы, параметров доменной структуры, условий существования монодоменного состояния и зарождения краевых доменов. В связи с этим становится актуальным исследование доменной структуры МПФГ с различными характеристиками для целей регистрации и визуализации магнитных полей и поиск способов увеличения чувствительности МПФГ.

**Цель данной работы состояла в** визуализации и определении статических параметров доменных структур, доменных границ и краевых доменов МПФГ с типами анизотропии «легкая плоскость» и «лёгкая ось»; сравнительном анализе доступных методик исследований. Высококачественные сенсорные элементы типа «легкая плоскость» перспективны для создания магнитокардиографов, а типа «легкая ось» – для магнитооптической вихретоковой дефектоскопии.

**Методика исследования.** Исследования были выполнены с использованием поляризационного микроскопа Nikon ECLIPSE LV150N и сканирующего зондового микроскопа NTEGRA. Были задействованы основные методики для приборов: оптическая поляризационная, сканирующая лазерная конфокальная (СЛКМ), сканирующая ближнепольная оптическая (СБОМ) и магнитная силовая микроскопия (МСМ). Изображения доменных структур МПФГ были представлены с применением программных сред Nova P<sub>x</sub> и Infinity Analyze.

**Результаты исследований** показали, что все задействованные методики пригодны для визуализации доменной структуры МПФГ. Методики СЛКМ и СБОМ являются предпочтительными для визуализации доменной структуры МПФГ с типом анизотропии «лёгкая ось», что связано с более высоким разрешением и контрастом получаемых изображений. На рисунке 1 представлены СБОМ-изображение доменной структуры и АСМ-изображения одного и того же участка поверхности МПФГ, используемой в качестве сенсорного элемента дефектоскопа и имеющей период доменной структуры  $2w = 32$  мкм и толщину  $h = 4,3$  мкм. Как видно, методика СБОМ позволяет получить изображения поверхности образцов и сравнить расположение дефектов на поверхности с полученными оптическими изображениями.

Для визуализации краевых доменов, образующихся в МПФГ с типом анизотропии «легкая плоскость», метод оптической поляризационной микроскопии является предпочтительным по сравнению с другими методиками. Так, например, с использованием

СЛКМ, практически не удалось добиться качественных изображений краевых доменов образца – наблюдаются резкое падение интенсивности сканирующего луча, проходящего через пленку, связанное с неоднородностями в образце, рассеянием света и возникновением интерференционной картины, что обуславливает снижение контрастности полученных изображений.

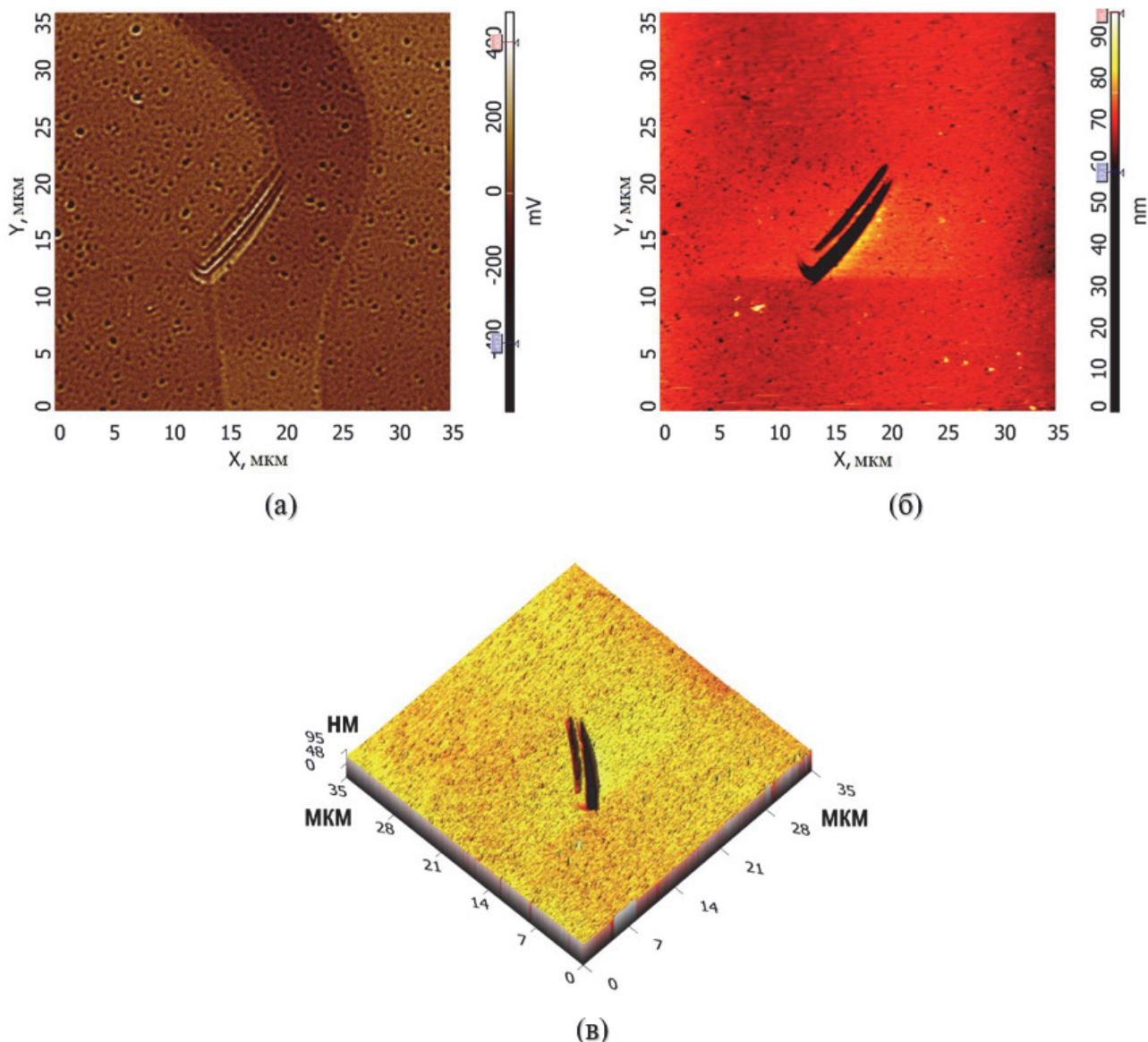


Рис. 1. СБОМ-изображение доменной структуры (а), 2D и 3D АСМ-изображения (б, в) одного и того же участка поверхности МПФГ.

**Выводы.** Для исследования тонких магнитных плёнок необходима качественная визуализация их доменных структур. Было установлено, что для визуализации доменных структур МПФГ, используемых в качестве сенсорных элементов в дефектоскопии и магнитокардиографии, более актуальны оптические методы: оптической поляризационной, сканирующей лазерной конфокальной и сканирующей ближнепольной оптической микроскопии. С использованием данных методик были определены статические параметры доменных структур, доменных границ и краевых доменов МПФГ.

# О МОДЕЛИРОВАНИИ МАГНИТООПТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ В МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ ВИХРЕТОКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ.

Луговской Н.В.<sup>1</sup>, Глечик Д.А.<sup>2</sup>, Бержанский В.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>аспирант кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>студент кафедры медицинской физики Инженерно-физический институт биомедицины НИЯУ МИФИ

<sup>3</sup>заведующий кафедрой экспериментальной физики Физико-технического института КФУ  
[lugovskoynv@cfuv.ru](mailto:lugovskoynv@cfuv.ru)

**Введение.** Компьютерное моделирование широко применяется в различных областях науки и техники. Логичность и формализованность компьютерных моделей позволяет находить основные факторы, определяющие свойства изучаемого объекта, исследовать отклик моделируемой физической системы на изменения её параметров и начальных условий. Необходимость в таком моделировании возникла при исследовании реакции магнитных сенсоров на распределение вихретоковых магнитных полей в магнитооптической вихретоковой (МО ВТ) дефектоскопии. Нахождение таких магнитных полей может осуществляться либо непосредственным решением системы электродинамических интегродифференциальных уравнений (Филиппов Д.М., Луговской Н.В., Бержанский В.Н., Панков Ф.Н./ Моделирование квазистационарного электромагнитного поля вблизи проводящего тела для задач вихретоковой магнитооптической дефектоскопии// Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University, Series: Physics and Mathematics Sciences. V. 27 (66). 2014. No. 2. - 121 – 137 pp.), либо с использованием специальных программных пакетов типа Ansys или Comsol Multiphysics, как это сделано в этой работе.

**Методика исследований.** Для моделирования распределения вихревых токов был выбран пакет Comsol Multiphysics. Была построена физическая модель, симулирующая распределение магнитного поля вихревых токов в алюминиевом образце (пластине) размерами 100 на 100 мм, толщиной 0.15 мм с 40 мкм дефектом (сквозной щелью) в центре (точке  $X = 50$  мм) и проходящей через всю длину пластины. Возбуждение ВТ осуществлялось с использованием индуктора переменного тока с частотой 8 - 60 кГц и силой тока от 0.1 до 1 А. В качестве МО сенсора выступали монокристаллические пленки состава  $(R, Bi)_3(Fe, M)_5O_{12}$  толщиной от 1,9 до 7,2 мкм.

**Результаты исследования.** По результатам моделирования для частот 8, 15, 30, 60 кГц было построено распределение поверхностной плотности вихревых токов на пластине (рис. 1а) и нормальной компоненты  $H_z$  напряжённости магнитного поля ВТ (рис. 1б).



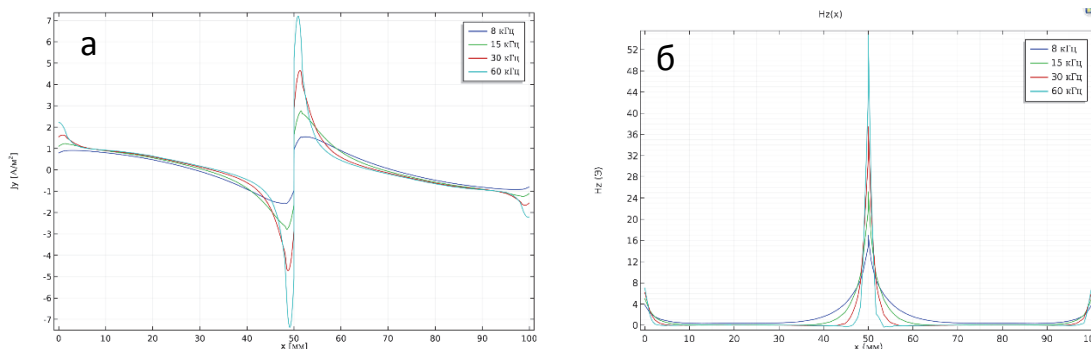


Рис. 1. Распределение поверхностной плотности вихревых токов (а) и нормальной компоненты магнитного поля  $H_z$  (б) в алюминиевой пластине толщиной 0.15 мм с 40 мкм дефектом «сквозная щель» на частотах  $f = 8, 15, 30, 60$  кГц,  $H_{\sim} = 20$  Э.

Результаты показали, что плотность вихревых токов на границах щели резко возрастает, что соответственно дает резкий пик компоненты  $H_z$  магнитного поля ВТ (рис. 1).

С использованием рабочего макета МОБТ интроскопа, принцип работы которого подробно рассмотрен в работе (Features of Magneto-optic Eddy Current Images Obtained with Use of Garnet Films/ N. Lugovs'kyu, V. Vishnevskii, V. Berzhansky and other// International Conference on Oxide Materials for Electronic Engineering OMEE-2014/ Lviv Polytechnic National University, 2014. – 234-235 p.), мы получили снимок МО образов щелей подобных используемым в модели (рис. 2а). В данном виде снимок пригоден для визуального восприятия оператором, но не подходит для цифровой автоматической обработки. Для этого, с помощью программы Matlab были проведены бинаризация и морфологические операции по контрастированию полученного изображения (рис. 2 б-д).



Рис. 2. МО образ линейных дефектов шириной 40 мкм в образце из алюминия ( $f = 30$  кГц,  $H_{\sim} = 16$  Э): исходный (а), улучшенный применением эрозии и наращивания (б, в), после морфологических операций удаления внутренних пикселей (г) и утоньшения образа (д).

Как видно из рисунка применение эрозии и наращивания позволяет избавиться от шумов, возникших при бинаризации, а также сгладить границы образа, что значительно облегчает дальнейшее их распознавание. Удаление внутренних пикселей приводит к тому, что только граница исходного объекта остаётся белой (рис. 2г), в то время как все пиксели внутри неё становятся чёрными, что необходимо для выделения контура МО образа, определения его размера и площади. «Утоньшение» образа (рис. 2д) позволяет найти его центр, что является удобным при определении, например, расстояния между отдельными дефектами.

Моделирование и данные операции позволили провести сравнение некоторых экспериментальных и теоретических параметров. Для примера на рисунке 3 представлены частотные зависимости полуширины МО изображения и распределения  $H_z$ .

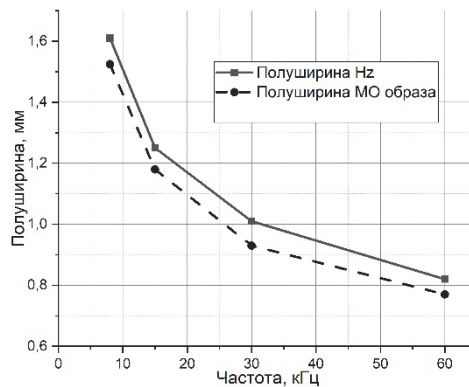


Рис. 3. Частотная зависимость полуширины экспериментального МО образа и полуширины распределения модельного значения нормальной компоненты напряжённости ВТ поля  $H_z$  (рис. 1б), при напряженности поля возбуждения  $H_{\sim} = 20$  Э.

Видно, что теоретическая и экспериментальная зависимости полуширины МО образа уменьшаются с ростом частоты. Близость полученных значений и практически одинаковый характер зависимости полуширины от частоты даёт возможность говорить о сравнительно хорошем согласии теоретической модели с экспериментом.

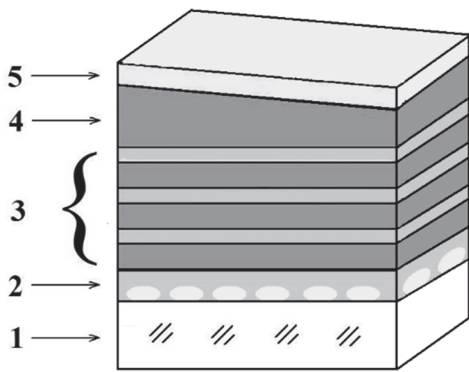
**Выводы.** Построена теоретическая модель распределения магнитного поля вихревых токов в окрестности линейного дефекта с использованием системы автоматизированного проектирования COMSOL Multiphysics. Результаты моделирования находятся в согласии с экспериментальными данными, полученными посредством программной обработки аналоговых МО изображений. Предложен способ бинаризации изображений, который позволяет облегчить обнаружение дефектов и обеспечить автоматическое их распознавание.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ И ОПТИЧЕСКИХ ТАММОВСКИХ СОСТОЯНИЙ В МАГНИТОПЛАЗМОННОЙ СТРУКТУРЕ

Бержанский В.Н., Каравайников А.В., Ляшко С.Д., Михайлова Т.В., Наухацкий И.А.,  
Прокопов А.Р., Томилин С.В., Шапошников А.Н.  
*Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского*

Цель работы – исследование эффекта наложения (взаимодействия) оптических резонансов различной природы в структурах магнитоплазмонных кристаллов (МПК). Рассчитан и изготовлен МПК  $GGG/Au_{NP}/M1/(SiO_2/M1)^3/SiO_2$  (клин)/Au (рисунок 1), представляющий собой комбинацию структур  $GGG/Au_{NP}/M1$  – магнитоплазмонный нанокompозит из наночастиц Au в матрице M1 с резонансом на локализованных поверхностных плазмон-поляритонах (LSPP – localized surface plasmon-polaritons) и  $(SiO_2/M1)^3/SiO_2$  (клин)/Au с резонансом на оптических таммовских состояниях (OTS - optical Tamm states) на границе магнитофотонный кристалл (МФК) – слой Au. Здесь GGG – подложка гадолиний-галлиевого граната; M1 – слой феррита граната состава  $Bi_{1.0}Lu_{0.5}Gd_{1.5}Fe_{4.2}Al_{0.8}O_{12}$ . Буферный слой  $SiO_2$  напылен с градиентом толщины вдоль длинной стороны образца (сечение – клин), перепад толщины вдоль градиента составляет от 150 до 290 нм. Анализ спектров пропускания и фарадеевского вращения вдоль градиента позволил найти такую толщину буферного слоя, при которой происходит наложение резонансов LSPP и OTS.

Слои феррита граната получали методом реактивного ионно-лучевого распыления мишени в аргон-кислородной среде с последующей кристаллизацией на воздухе. Наночастицы золота получали отжигом на воздухе пленки золота толщиной 2 нм при 950 °C в течение 10 мин.



- 1 – подложка GGG;
- 2 – наночастицы Au в матрице M1 толщиной 125 нм;
- 3 – МФК ( $\text{SiO}_2 - 120 \text{ нм}/\text{M1} - 70 \text{ нм}$ )<sup>3</sup>;
- 4 – буферный слой  $\text{SiO}_2$  - клин от 150 до 290 нм;
- 5 – слой Au толщиной 30 нм

Рис. 1 – Схема структуры GGG/Au<sub>NP</sub>/M1/(SiO<sub>2</sub>/M1)<sup>3</sup>/SiO<sub>2</sub> (клин)/Au

Предварительно для определения резонансной длины волны LSPP  $\lambda_{\text{LSPP}}$  изготовили и исследовали структуру GGG/Au<sub>NP</sub>/M1, ее экспериментальные спектры пропускания и фарадеевского вращения представлены на рисунке 2 а, б (кривые 1). Видно, что  $\lambda_{\text{LSPP}} = 700 \text{ нм}$ , при этом угол фарадеевского вращения структуры в 3,5 раза выше, чем в чистой пленке состава M1.

Затем расчетным путем определили оптимальные параметры МФК (число пар слоев, их толщины) и буферного слоя SiO<sub>2</sub>, при которых OTS резонируют на длине волны  $\lambda_{\text{OTS}} = 700 \text{ нм}$ , Расчеты проводили путем численного решения уравнений Максвелла методом матриц распространения 4 x 4 для ТМ-поляризованного света. Для решения использовали тензоры диэлектрической проницаемости составляющих структуру слоев. Диэлектрическая проницаемость золота взята из литературы, толщина верхнего слоя Au выбрана на основании предыдущих экспериментальных данных для достижения максимальной добротности резонанса OTS. Оптимальное количество пар слоев МФК для подобной структуры составило  $m = 3$ . При этом, пропускание МФК составило 48%, угол фарадеевского вращения минус 0,44°, магнитооптическая добротность 1,19°.

Расчетный спектр пропускания МФК представлен на рисунке 2, а (кривая 6). Толщины слоев МФК SiO<sub>2</sub> и M1 составляют 120 и 70 нм, соответственно. Спектры пропускания и фарадеевского вращения структуры при различных толщинах буферного слоя SiO<sub>2</sub> представлены на рисунке 2, а, б (кривые 2-5). Видно, что резонансная длина волны OTS  $\lambda_{\text{OTS}} = 700 \text{ нм}$  при толщине буферного слоя 208 нм (кривая 3). Таким образом, достижение расчетных параметров слоев обеспечит наложение резонансов LSPP и OTS на длине волны 700 нм.

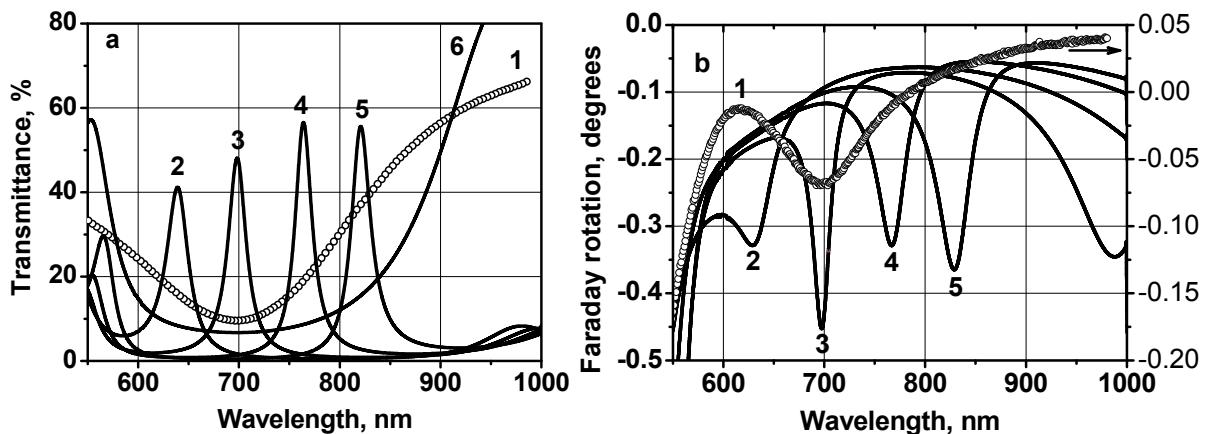


Рис. 2 – Спектры оптического пропускания (а) и фарадеевского вращения (b) на разных стадиях изготовления структуры  $GGG/Au_{NP}/M1/(SiO_2/M1)^3/SiO_2$  клин/Au.

1 – экспериментальные спектры пропускания (а) и фарадеевского вращения (b) структуры  $GGG/Au_{NP}/M1$  (кривая 1); расчётные спектры пропускания (а) и фарадеевского вращения (b) структуры  $GGG/Au_{NP}/M1/(SiO_2/M1)^3/SiO_2$  (клин)/Au при толщине буферного слоя: 2 - 170 нм, 3 – 208 нм; 4 – 250 нм, 5 – 290 нм; 6 – фотонная запрещенная зона МФК  $(SiO_2/M1)^3$ .

Результаты эксперимента по взаимодействию резонансов обсуждаются.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части госзадания (проект 3.7126.2017/8.9).

## ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТРОВКОВ ПО РАЗМЕРАМ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНКАХ ПРИ ТЕРМОАКТИВИРОВАННОЙ ГРАНУЛЯЦИИ

Томилина О.А.<sup>1</sup>, Бержанский В.Н.<sup>2</sup>, Томилин С.В.<sup>3</sup> Михайлова Т.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> аспирант кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup> заведующий кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

<sup>3</sup> научный сотрудник центра функциональных материалов и нанотехнологий КФУ

<sup>4</sup> старший научный сотрудник центра функциональных материалов и нанотехнологий КФУ

[tomilina\\_olga@mail.ru](mailto:tomilina_olga@mail.ru)

**Введение.** На динамику формирования и параметры островковых структур влияет множество факторов: метод формирования островков, материал плёнки и подложки, тип и структура поверхности, температура системы, толщина покрытия, время процесса и т.д. Исходя из этого актуальной задачей является исследование динамики процесса формирования островковых плёнок, а также структурно-фазовых превращений в тонких плёнках при перколяционном переходе от сплошной структуры покрытия к nanoостровковой.

**Цель работы:** исследовать особенности динамики и структурно-фазовых превращений при синтезе сверхтонких и nanoостровковых металлических плёнок методами термоактивированной грануляции и напыления градиентных покрытий

Для исследования временной динамики структурной декомпозиции тонких металлических плёнок при термоактивированной грануляции была изготовлена серия из 6 образцов плёнок Au/GGG. Напыляемый материал Au (сусальное золото), с чистотой 98.5%, подложки  $Gd_3Ga_5O_{12}$  (гадолиний-галлиевый гранат). Перед напылением подложки очищались этанолом и подвергались вакуумному отжигу при 450°C, 30 минут. Напыление происходило на подложки при температуре 100°C. Толщина напылённого слоя  $h_{eff} = 10$  нм. Термоактивированная грануляция (ТАГ) осуществлялась методом отжига на воздухе при температуре 680°C, в течение 1, 2, 5, 10, 30 и 60 мин соответственно для разных образцов.

**Результаты исследований.** Результаты растровой электронной микроскопии (РЭМ) морфологии поверхности показаны на рис. 1



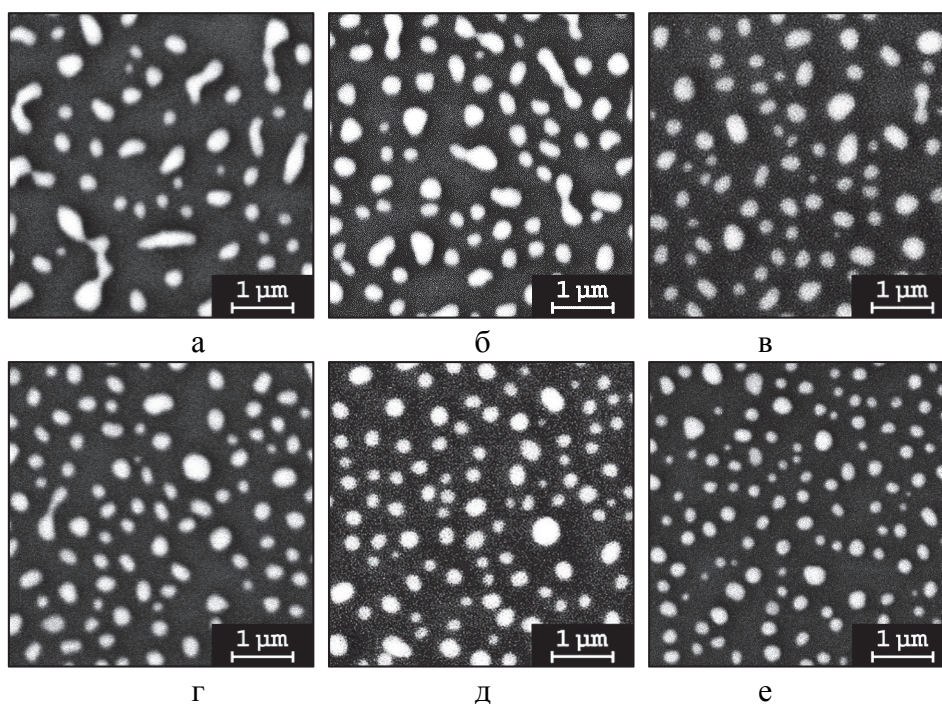


Рис. 1. Морфология поверхности плёнки Au/GGG ( $h_{eff} = 10$  нм) после ТАГ при  $680^\circ\text{C}$ : а – 1 мин, б – 2 мин, в – 5 мин, г – 10 мин, д – 30 мин, е – 60 мин.

На рис. 1а,б показана морфология поверхности образцов, которые подвергались отжигу в течении 1 и 2 мин. Видно, что в структуре покрытия присутствуют сложные цепочные кластеры, содержащие три и более островков. Наиболее вероятный размер островка 280–290 нм.

Рис. 1в,г демонстрируют структуру морфологии поверхности плёнок, после грануляции 5 и 10 минут. На рисунках видно, что сложные цепочные структуры отсутствуют, а присутствуют лишь простые бинарные соединения островков типа «гантель». Наиболее вероятный размер островков 265 и 250 нм соответственно (встречаются единичные крупные островки).

На рис. 1 д,е представлены РЭМ-снимки морфологии поверхности образцов после ТАГ 30 и 60 мин. В структуре покрытия присутствуют лишь одиночные островки. Наиболее вероятный размер островков составляет 225 и 195 нм соответственно. Очевидно, что с увеличением времени отжига количество крупных островков уменьшается, а мелких – увеличивается.

Результаты анализа статистики распределения островков по размерам показаны на рис. 2. Поскольку в структуре плёнок при малом времени ТАГ присутствуют сложные кластеры неправильной формы, а также островки с высокой степенью эллиптичности, то в распределении анализировался не диаметр островка, а размерный параметр, связанный с площадью его планарной проекции на подложку  $d = 2\sqrt{s/\pi}$  ( $s$  – площадь)

Как видно из представленных гистограмм, для малых времён отжига (рис. 2 а,б) наблюдается существенное отклонение от симметричного распределения Гаусса, вызванное наличием большого числа крупных островков и кластеров. (на рисунке нормальное распределение показано сплошной линией, отклонение от симметрии показано пунктиром).



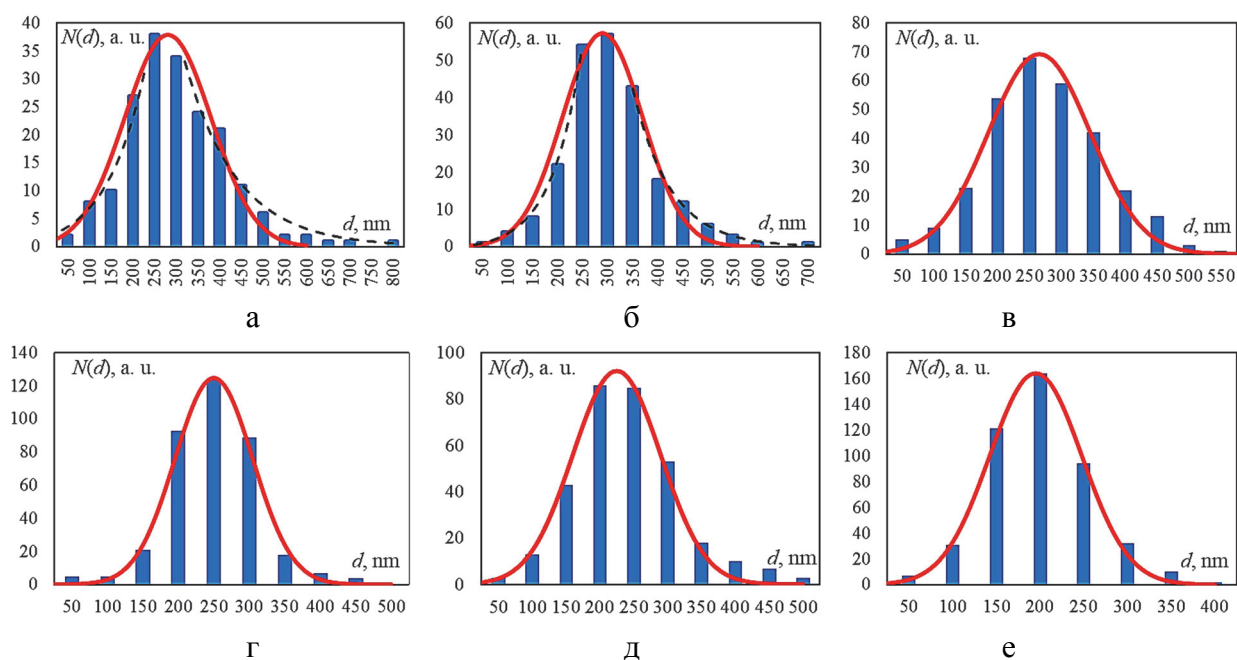


Рис. 2. Распределение островков по размерам для плёнки Au/GGG ( $h_{eff} = 10$  нм) после ТАГ при  $680^\circ\text{C}$ : а – 1 мин, б – 2 мин, в – 5 мин, г – 10 мин, д – 30 мин, е – 60 мин.

**Выводы.** На начальной стадии формирования островковых структур в результате ТАГ присутствуют сложные цепочные кластеры, состоящие из трёх и более островков, а также крупные островки с высокой степенью эллиптичности. Присутствие таких островков и кластеров приводят к существенной асимметрии распределения островков по размерам. При этом с увеличением времени ТАГ распределение островков по размерам имеет вид нормального распределения.

# МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПИРОЛИЗА ЭТАНОЛА

Федосов Э.Э.<sup>1</sup>, Бержанский В.Н.<sup>2</sup>, Томилин С.В.<sup>3</sup>, Михайлова Т.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>магистрант кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>заведующий кафедрой экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

<sup>3</sup>научный сотрудник НИЦ ФМиНТ Физико-технического института КФУ

<sup>4</sup>старший научный сотрудник НИЦ ФМиНТ Физико-технического института КФУ

**Введение.** Углеродные нанотрубки – это протяженные цилиндрические структуры, состоящие из одной или нескольких свернутых в трубку графеновых плоскостей, открытые на концах либо заканчивающиеся полусферической границей, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена. Изучение углеродных нанотрубок активно развивается, поскольку их разнообразные физико-химические свойства представляют большой интерес как для фундаментальной, так и для прикладной науки.

**Цель и задачи.** Провести измерения магнитной восприимчивости многостенных углеродных нанотрубок, полученных методом каталитического пиролиза этанола и определить зависимость магнитной восприимчивости от приложенного магнитного поля.

**Методика исследований.** Измерения магнитной восприимчивости проводились индуктивно-частотным методом на установке Эталон 1-Б в диапазоне полей от 0 до 150 Э.

**Результаты исследований.** Была выявлена линейная зависимость магнитной восприимчивости от магнитного поля, которая демонстрирует диамагнетизм исследуемых углеродных нанотрубок. Результат эксперимента не противоречит литературным данным. Тангенс угла наклона прямой расстройки контура равен магнитной восприимчивости, а именно  $1,5 \cdot 10^{-4}$ . Магнитная восприимчивость была вычислена следующим образом:

$$\chi = \frac{\Delta M}{\Delta H} = \frac{\Delta \omega}{\Delta H} = 1,5 \cdot 10^{-4}$$

Тангенс угла наклона прямой расстройки контура с образцом равен магнитной восприимчивости, а именно  $1,5 \cdot 10^{-4}$ .

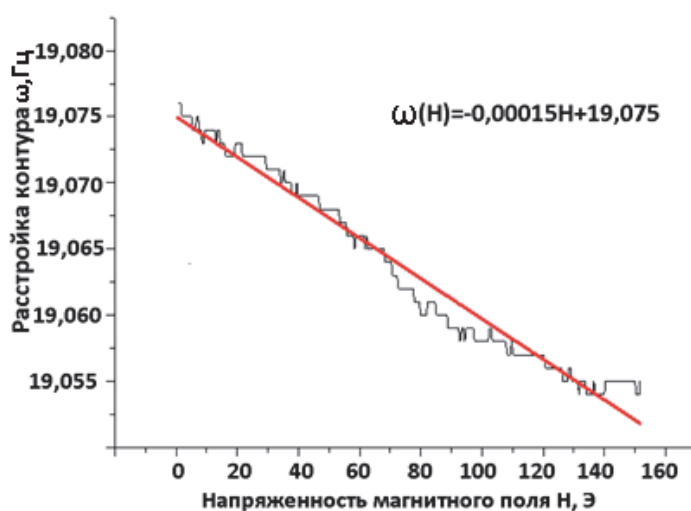


Рис.1 Зависимость расстройки контура с образцом от магнитного поля

**Выводы.** Полученные результаты будут использованы при проектировании и синтезе композитных структур на основе многостенных углеродных нанотрубок с использованием установки CVDomna.

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ

Лавриненко Дмитрий Сергеевич<sup>1</sup>, Филиппов Дмитрий Максимович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>студент кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>Научный консультант, доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института КФУ

**Введение.** При проектировании двигателей важно учитывать характеристики материалов, из которых планируется изготовление рабочих образцов. Инженерные методики не позволяют в полной мере осуществлять оптимизацию параметров двигателя путём перебора характеристик материалов. Более универсальным способом является применение полевых методов расчёта. Применение специализированных программ для расчёта магнитного поля и вращающего момента двигателя позволяет существенно сократить и удешевить процесс проектирования. Ввиду изложенного, весьма актуальной является задача разработки вычислительной модели коллекторного двигателя, применяемого в ручном электроинструменте, и проведения расчётов с целью установления влияния параметров электротехнической стали на характеристики двигателя.

**Целью работы** является оценка влияния параметров электротехнической стали на работу двигателя постоянного тока, полученная на основании результатов численного моделирования.

Основными задачами научной работы является:

- осуществить анализ существующих методов расчёта электрических машин, выявить их преимущества и недостатки;
- построить вычислительную модель двигателя постоянного тока в программе ELCUT в соответствии с техническим заданием, предоставленным Заводом Фиолент;
- произвести ряд вычислений при задании различных параметров электротехнической стали;
- сопоставить результаты расчёта с экспериментом;
- дать практические рекомендации по улучшению характеристик двигателя без изменения его конструкции и схем обмоток.

**Методика исследований.** Для расчетов двигателя был использован метод конечных элементов. Данный метод реализован в программе Elcut, которую мы использовали. Задали поточечно координаты точек геометрии во встроенном графическом редакторе.

Был спроектирован и собран испытательный стенд для исследования испытуемого привода. Электродрель с приводом закреплена на специальном креплении, которое было изготовлено на заводе. Также с помощью изготовленной гибкой муфты вал привода соединяется с датчиком момента. Он расположен в центре установки. Нагрузка на вал имитируется при помощи ручного тормоза. Ток измерялся с помощью цифрового мультиметра, потребляемая мощность — с помощью ваттметра.

**Результаты исследований.**

В ходе испытаний на дрель подавалось однофазное напряжение 220 В. Далее, ручным тормозом увеличивалась нагрузка на валу до тех пор, пока не установится требуемое значение тока или мощности в цепи. Одновременно с этим фиксируются показания датчика, отображаемые на циферблате индикатора (на рисунке сверху): механическая мощность, момент, скорость. Измеренное значение тока в цепи используется при расчётах в разработанной вычислительной модели.

На рис.1 приведены зависимости момента от тока. Данные зависимости получены для трёх разных вариантов: случай линейной магнитной характеристики стали (график 1), случай стали 2211 (график 2), случай стали 2013 (график 3), случай, соответствующий экспериментальным измерениям.

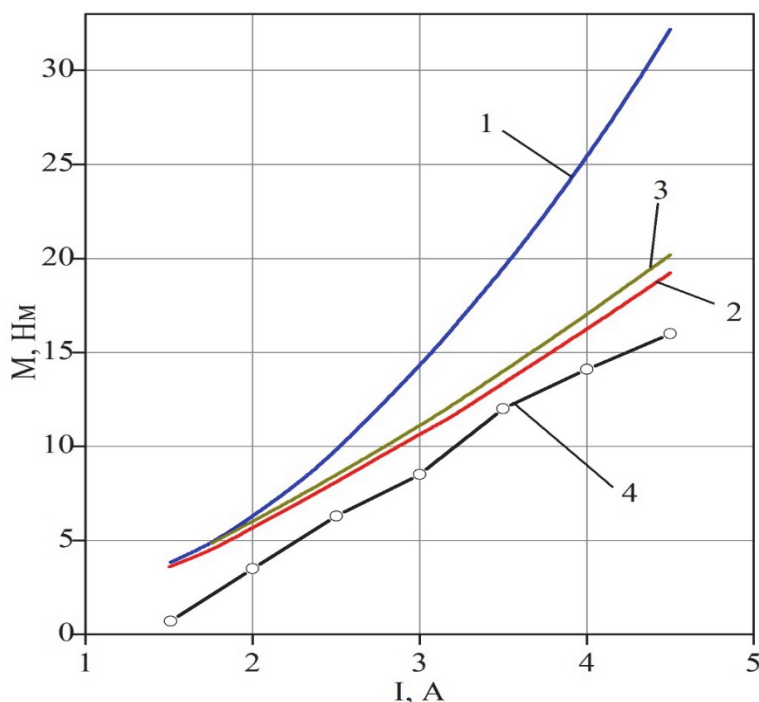


Рис.1 Зависимости момента от тока цепи. 1 — линейный случай; 2 — случай стали 2211; 3 — случай стали 2013; 4 — экспериментальная кривая

Для линейной магнитной характеристики стали относительная магнитная проницаемость полагалась равной константе 1000. Как видно из графика момент с ростом тока меняется по квадратичному закону. В случае учёта нелинейности рост момента с увеличением тока значительно уменьшается (график 2 и 3). Это объясняется тем, что по мере увеличения тока в цепи растёт магнитный поток. Что приводит к насыщению отдельных участков магнитопровода двигателя. Вследствие насыщения увеличивается поток рассеяния, что приводит к снижению магнитного поля.

На рис.2 приведены зависимости мощности поступающей в двигатель и отдаваемой им в нагрузку. Сопоставление приведённых зависимостей показывает, что начиная с тока 2 А в магнитной цепи двигателя проявляется явление насыщения. Характер экспериментальной кривой весьма близок расчётной, полученной для стали 2211, из которой изготовлен магнитопровод испытуемого двигателя. В области средних токов и мощностей (3—4 А и 300—500 Вт полезной мощности, соответственно) наблюдается приемлемое соответствие между расчётными и экспериментальными данными (погрешность порядка 10%). В области низкой нагрузки погрешность выше, и достигает 20%. Это, вероятно, объясняется тем, что при высоких скоростях вращения якоря весьма существенны потери на вихревые токи. Однако расчётная модель, применённая в настоящей работе, не позволяет учитывать данный вид потерь. В области повышенной мощности также наблюдается рост погрешности измерений. Это объясняется тем, что ручной тормоз не позволяет стабильно удерживать положение фиксации при столь существенных нагрузках.

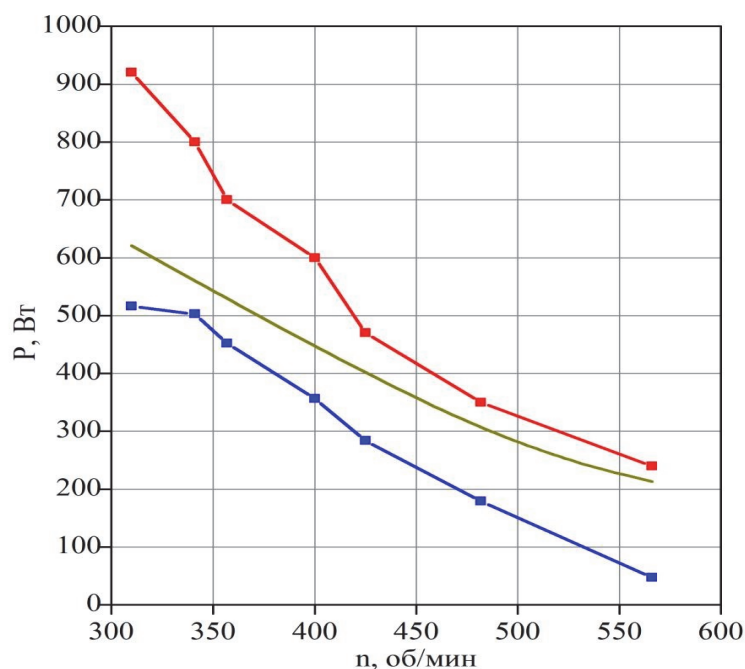


Рис.4 Зависимость мощности от тока цепи. График красного цвета — поступаемая в двигатель мощность; график синего цвета — механическая мощность на валу; график зелёного цвета — расчётная мощность

**Выводы:** Главной причиной снижения характеристик двигателя является явление насыщения магнитной цепи двигателя. При больших значениях тока часть магнитопровода теряет свои магнитные свойства, и её магнитная проницаемость на данных участках слабо отличается от проницаемости воздуха. С целью повышения характеристик исследуемого двигателя без изменения его конструкции и схем обмоток был произведён ряд расчётов для различных марок стали: 1211, 2411, 3411 и 2013. В результате этих расчётов установлено, что повышению момента способствует применение лишь стали 2013. Как видно из рис.2 прирост момента в области повышенной потребляемой мощности составляет 5% по сравнению со случаем стали марки 2211. Применение остальных материалов к положительным результатам не привело. Изменение марки стали двигателя помогла повышению характеристик исследуемого двигателя

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСА В ПЛАНАРНОМ МНОГОМОДОВОМ ВОЛНОВОДЕ С ПОКРЫТИЕМ

Басиладзе Г.Д.<sup>1</sup>, Долгов А.И.<sup>2</sup>, Бержанский В.Н.<sup>3</sup>, Алентьев Д.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>старший научный сотрудник НИЦ ФМ и НТ ФТИ КФУ

<sup>2</sup>научный сотрудник НИЦ ФМ и НТ ФТИ КФУ

<sup>3</sup>заведующий кафедрой экспериментальной физики ФТИ КФУ, д.ф.-м.н., профессор

<sup>4</sup>младший научный сотрудник НИЦ ФМ и НТ ФТИ КФУ, к.ф.-м.н.

[g.basiladze@cfuv.ru](mailto:g.basiladze@cfuv.ru)

Волноводные плазмонные структуры (ВПС) представляют значительный интерес для современной оптоэлектроники в связи с возможностью создания на их основе миниатюрных модуляторов света и сенсоров. Одной из актуальных задач при этом является расчет параметров плазмонного покрытия ВПС, от которого зависит эффективность возбуждения



поверхностного плазмонного резонанса (ППР). Расчеты параметров ВПС широко представлены литературе. Полученные уравнения, как правило, решаются только численными методами, требующими разработки соответствующих вычислительных программ, что не всегда приемлемо, когда необходимо более оперативно оценить возможности исследуемой ВПС.

В данной работе мы представляем методику компьютерного моделирования, позволяющую исследовать ВПС на основе многомодовых планарных волноводов (МВПС) с помощью стандартной программы WinSpall, предназначенной для изучения свойств ППР в плазмонных структурах с призмной связью. Исследуемая МВПС схематически изображена на рис.1, вставка «а».

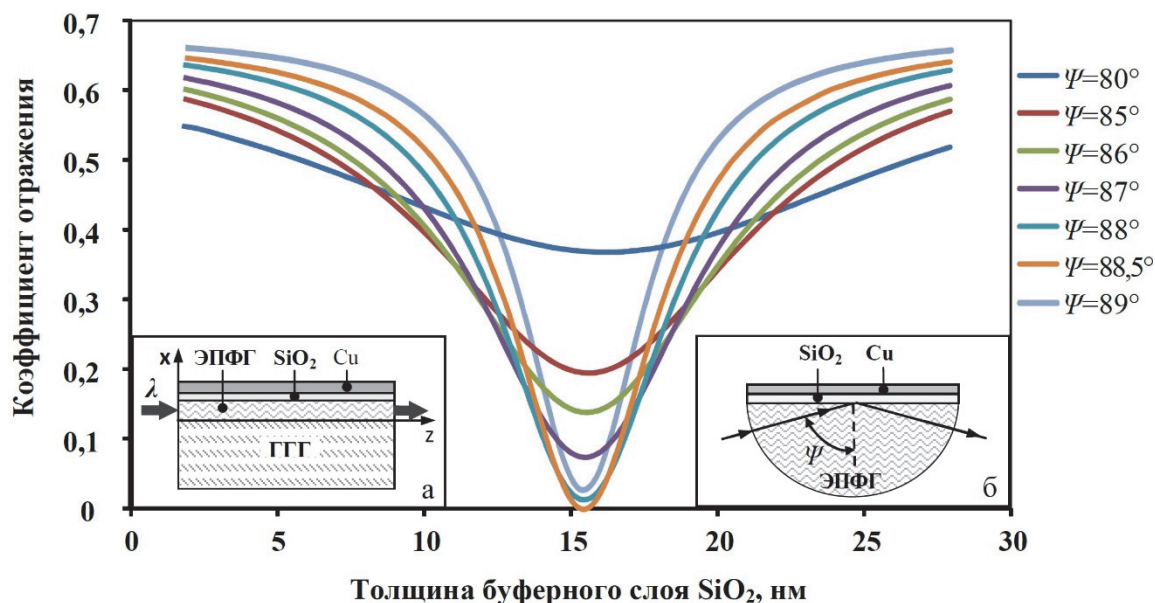


Рис. 1 – Зависимость коэффициента отражения плазмонного покрытия SiO<sub>2</sub>/Cu МВПС от толщины буферного слоя SiO<sub>2</sub> при разных углах падения. Вставки: (а) – структура реального МВПС; (б) – схема модельного эксперимента по возбуждению ППР в МВПС.

Для моделирования процесса возбуждения плазмонного резонанса в МВПС, разработанная методика использует резонансную связь через полуцилиндрическую призму. Несмотря на то, что распространяющийся по МВПС пучок света может многократно отражаться от плазмонного покрытия, предложенная методика ограничивается только одним отражением. Такое допущение согласуется с одной из основных целей исследования, которая заключается в определении толщин и диэлектрических параметров слоев плазмонного покрытия, при которых наиболее эффективно возбуждается ППР.

В модельном эксперименте исследуемый образец МВПС представляется в виде полуцилиндрической призмы из световедущего слоя структуры с нанесенным на ее плоскую грань плазмонным покрытием. Математическая модель предполагает, что лазерный луч имеет бесконечно малый диаметр и проходит вдоль радиуса полуцилиндрической призмы, в фокусе которой находится плазмонное покрытие, как это показано на рис 1, вставка «б».

Отметим, что использование приближения геометрической оптики может считаться корректным только для тех случаев, когда волноводный параметр  $V \geq 10$ . При этом в предлагаемой методике никак не учитывается поглощение, обусловленное множественным отражением волны от плазмонного покрытия реальной структуры. Данный фактор может быть учтен с помощью суммирования эффекта затухания ТМ-поляризованной волны если

допустить, что при отражении от границ волноводного слоя волна не испытывает поворота плоскости поляризации и не деполяризуется. Кроме того, при качественном изготовлении элементов плазмонной структуры, световая волна, как правило, при первом же падении на нее под резонансным углом почти полностью преобразуется в плазмонные колебания.

В дополнение к вышесказанному, отметим, что в модельном эксперименте не была учтена расходимость светового пучка в волноводе МВПС. Так как возбуждение ТМ моды в планарном волноводе производится с помощью стандартного одномодового оптического волокна типа SMF-28, торец которого подводится к входному торцу волновода, то излучение с торца этого волокна имеет в МВПС определенный угол расходимости, который зависит от разности показателей преломления волокна и волноводного слоя МВПС. Данный угол имеет важное значение для оценки доли энергии пучка, лежащей в пределах полуширины кривой углового спектра плазмонного резонанса. Заметим, что из-за ухудшения резонансных условий за пределами этой полуширины, резонансное взаимодействие пучка света с электронной плазмой металла значительно ослабевает.

Предложенная методика опробована путем сравнения расчетной и экспериментальной толщин диэлектрического буферного слоя  $\text{SiO}_2$  в МВПС, изготовленной на основе многомодового планарного волновода из эпитаксиальной пленки феррита граната (ЭПФГ) и исследованной в работе Basiladze G.D. et al. «Waveguide magnetoplasmonic structure based on ferrite-garnet film / MISM 2017, Moscow, 1-5 July 2017: Book of Abstracts. M., 2017. P. 197». Толщина металлической пленки Cu на буферном слое  $\text{SiO}_2$  в структуре ГТГ/ЭПФГ/ $\text{SiO}_2$ /Cu составляла 30 нм. Полученные расчетные зависимости коэффициента отражения плазмонного покрытия от толщины буферного слоя при разных углах падения света изображены на рис.1. Данные зависимости показывают, что их минимумы приходятся на толщину слоя буферного слоя равную, примерно, 16 нм. Это значение соответствует пределам толщин  $\text{SiO}_2$  от 13 до 18 нм, при которых наблюдалась максимальная амплитуда ППР в реальном эксперименте. Также из рис.1 видно, что с уменьшением угла падения коэффициент отражения данного плазмонного покрытия уменьшается и достигает нуля при  $88,5^\circ$ . Угловой промежуток между показанными на данном рисунке минимумом и максимумом отражения составляет  $8,5^\circ$ . Примерная оценка показывает, что при толщине ЭПФГ 10 мкм в этот промежуток укладываются углы распространения всего трех первых ТМ-мод из 18, которые могут быть возбуждены в исследованном образце. Это указывает на необходимость применения в МВПС однородных световедущих слоев, которые не приводят к возбуждению волноводных ТМ-мод высоких порядков.

Таким образом, приведенные результаты показали, что предложенная методика позволяет моделировать условия возбуждения ППР в МВПС и оптимизировать параметры ее структурных элементов без применения трудоемких численных расчетов.

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ПЛАЗМОННОГО БИОСЕНСОРА

Хацаюк В.В.<sup>1</sup>, Бержанский В.Н.<sup>2</sup>, Томилин С.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>студентка 4 курса кафедры экспериментальной физики

Физико-технического института КФУ им. В.И. Вернадского

<sup>2</sup>доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой экспериментальной физики

Физико-технического института КФУ им. В.И. Вернадского

<sup>3</sup>канд. физ.-мат. наук, ассистент кафедры экспериментальной физики

Физико-технического института КФУ им. В.И. Вернадского

[veronika74069@yandex.ru](mailto:veronika74069@yandex.ru)

**Введение.** Плазменная биосенсорика – активно развивающаяся научно-прикладная отрасль, которая находит своё применение в биологии, медицине, экологическом мониторинге и т.д. Плазмонные биосенсоры являются одними из наиболее эффективных инструментов для исследования биомолекулярных взаимодействий, детектирования определённых химических или биологических соединений и микроорганизмов. На данный момент существует несколько видов биосенсоров, которые основываются на разных принципах действия: биосенсор на основе локализованного плазмонного резонанса, оптоволоконный плазмонный биосенсор и биосенсор на основе поверхностного плазмонного резонанса.

Статья посвящена описанию методики синтеза и результатам исследования свойств чувствительного элемента биосенсора на поверхностных плазмон-поляритонах, а также анализу возможных лигандных покрытий его сенсорного плазмонного слоя для обнаружения различных аналитов.

**Цель работы:** синтезировать чувствительный элемент биосенсора на поверхностных плазмон-поляритонах и исследовать его резонансные свойства, проанализировать возможные лигандные покрытия плазмонного слоя для обнаружения различных аналитов.

В соответствии с поставленной целью решались следующие **задачи**:

1. Синтезировать чувствительный элемент биосенсора на поверхностных плазмон-поляритонах;
2. Исследовать резонансные свойства синтезированного чувствительного элемента плазмонного биосенсора;
3. Произвести анализ возможных лигандных покрытий плазмонного слоя для обнаружения различных аналитов.

**Результаты исследований.**

Синтез плазмонного покрытия осуществлялся методом термического напыления золота (Au, 99.95% чистоты) в вакууме не хуже  $6 \cdot 10^{-4}$  Па. В качестве подложки использовалось микроскопное стекло с огневой полировкой поверхности и показателем преломления  $n = 1.514$ .

Толщина синтезированного плазмонного покрытия по данным интерферометрического исследования составила 21,2 нм. Для возбуждения поверхностных плазмон-поляритонных волн и исследования их резонансных свойств использовалась оптическая схема Кретчмана (рис. 1а). В рамках данной схемы подложка с плазмонным покрытием приводилась в оптический контакт с прямоугольной призмой посредством иммерсионной жидкости на основе глицерина. Показатели преломления призмы и иммерсионной жидкости составляли 1.514 и 1.516 соответственно.

Возбуждающий пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 632.8$  нм генерировался с помощью He-Ne лазера, плоская поляризация пучка в р-конфигурации формировалась с помощью оптической системы как показано на рисунке. Угол падения светового луча определялся с помощью поворотного лимба с нониусом, точность отсчёта угла составляла  $2'$ .

На рис. 1б представлена нормированная угловая зависимость интенсивности отражения светового луча. Как видно на кривой присутствует характерный «провал», обусловленный поглощением энергии падающего луча на возбуждение резонансной поверхностной плазмон-поляритонной волны. Подобный резонанс возникает при соблюдении условия фазового синхронизма, т.е. когда планарная проекция волнового вектора возбуждающего излучения совпадает с волновым вектором собственных плазмонных колебаний.

Анализ резонансного плазмон-поляритонного пика показал, что длина волны резонансного плазмон-поляритона составляет 417,4 нм (резонансный угол  $43,9^\circ$ ), а показатель добротности резонансного пика  $Q = k/\Delta k$  составляет 62,05, т.е. ширина пика на половине его высоты составляет менее одного углового градуса на рефлектометрической кривой, что превосходит многочисленные результаты других авторов.

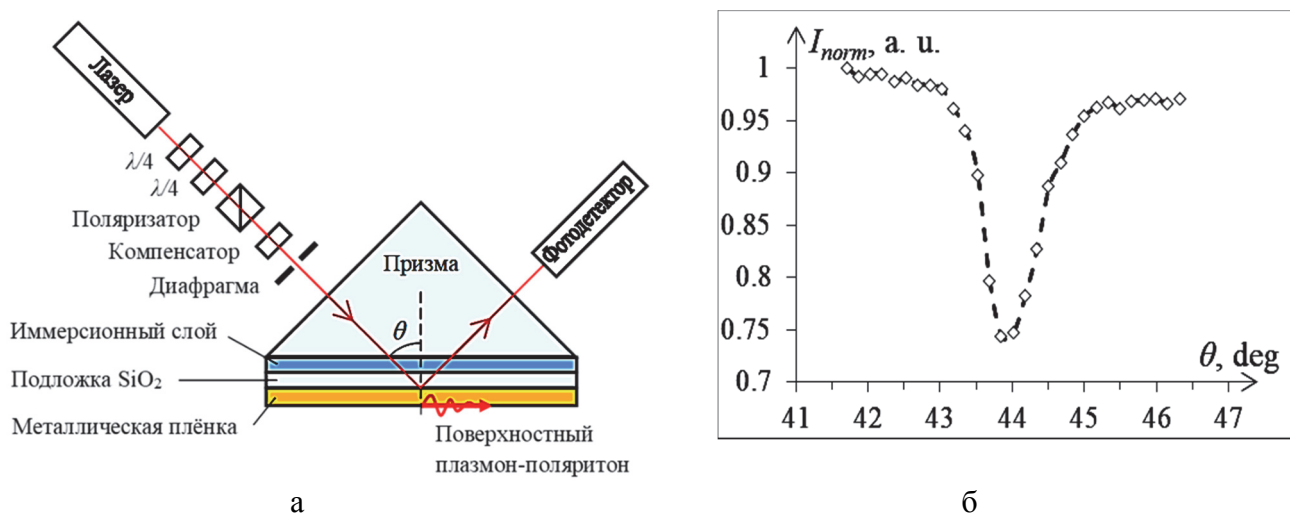


Рис.1 Зависимость интенсивности отраженного света от поверхности пленки от угла падения светового пучка.

Для проведения дальнейших исследований необходимо подобрать вещество для чувствительного слоя. Одним из наиболее распространенных биологических анализов является ELISA (enzyme-linked immunosorbent assay), в котором неизвестный белок или антиген связан с поверхностью и обнаруживается посредством его взаимодействия с антителом, которое помечено ферментом для получения детектируемого сигнала. Этот метод был использован для обнаружения аналитов при аттомолярной концентрации с использованием новых схем маркировки. Одним из основных ограничений является необходимость маркировки, связанное с ферментом антитела, которое способно связываться с представляющим интерес белком с высокой степенью схожести.

В статье “Advances in localized surface plasmon resonance spectroscopy biosensing” журнала *Nanomedicine* рассматривается метод локализованного плазмонного резонанса для определения взаимодействия стрептавидина с биотином. Так же приводится пример плазмонного биосенсора, основанного на локализованном плазменном резонансе. Показано, что он может идентифицировать тип лекарственного средства, связанного с сенсорным слоем. Его сигнал обусловлен вытеснением растворителя вблизи поверхности датчика, что приводит к изменению эффективного показателя преломления вокруг наночастиц. При этом очевидно, что подобная методика может быть применена и для случая поверхностного плазмонного резонанса.

**Выводы.** Методом вакуумного термического напыления синтезировано высококачественное плазмонное покрытие. Анализ резонансных свойств поверхностных плазмон-поляритонов в синтезированной плёнке с использованием схемы Кретчмана показал, что ширина резонансного пика на полувысоте составляет менее одного углового градуса, что

значительно превосходит аналогичные результаты у других авторов. Такое покрытие в сочетании с правильно подобранным лигандом может в будущем стать основой для создания высокочувствительного плазмонного биосенсора.

## ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОСТРОВКОВЫХ ПЛЁНОК С КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Томилин С.В.<sup>1</sup>, Шапошников А.Н.<sup>1</sup>, Бержанский В.Н.<sup>2</sup>, Каравайников А.В.<sup>1</sup>,  
Прокопов А.Р.<sup>1</sup>, Милюкова Е.Т.<sup>1</sup>, Ляшко С.Д.<sup>3</sup>, Томилина О.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИИЦ ФМиНТ Физико-технического института КФУ им. В.И. Вернадского

<sup>2</sup>кафедра экспериментальной физики Физико-технического института

КФУ им. В.И. Вернадского

<sup>3</sup>учебно-организационный отдел Физико-технического института

КФУ им. В.И. Вернадского

[s.tomilin.phystech@cfuv.ru](mailto:s.tomilin.phystech@cfuv.ru)

**Введение.** Создание упорядоченных массивов наноструктур на значительной площади поверхности образца выполняется, как правило, с применением методов электронно-лучевой литографии. Подобная технология сопряжена с определёнными топологическими ограничениями и имеет высокую себестоимость. Поэтому поиск альтернативных методов создания маски для нанесения покрытий с дискретной периодической или квазипериодической структурой является актуальной задачей.

**Целью работы** является разработка методики микросеточного маскирования для синтеза металлических островковых плёнок с квазипериодической структурой, а также исследование морфологии и оптических свойств синтезированных образцов.

Металлические покрытия GGG/Au (золото на подложке из гадолиний-галлиевого граната) были синтезированы методом термического напыления в вакууме (давление остаточных газов не более  $6 \cdot 10^{-4}$  Па). При напылении применялась авторская методика синтеза покрытий с градиентом эффективной толщины, при этом максимальная толщина покрытия была 10 нм, а минимальная стремилась к нулю, градиент эффективной толщины  $\text{grad } h_{\text{eff}} = 1$  нм/мм. В качестве маски для получения квазипериодической структуры были использованы микросетки с периодом ячейки  $100 \times 80$  и  $140 \times 140$  мкм, толщина волокна сетки 60 мкм. Сетка накладывалась на поверхность подложки и фиксировалась механическим способом, после нанесения покрытия сетка удалялась. Покрытие подвергалось дополнительной термоактивированной грануляции (ТАГ) посредством отжига на воздухе при  $950^\circ\text{C}$  в течение 10 мин.

Исследование морфологии поверхности образцов проводилось с применением метода растровой электронной микроскопии (РЭМ-106, SELMI). Исследование спектральной зависимости коэффициента пропускания образцов выполнялось на автоматизированном спектро-поляриметрическом комплексе на базе спектрофотометра КФК-3.

**Результаты исследований.** На рис. 1 показаны РЭМ снимки морфологии поверхности образца GGG/Au<sub>(NP)</sub> с маской  $140 \times 140$  мкм на участке  $h_{\text{eff}} = 10$  нм после грануляции.



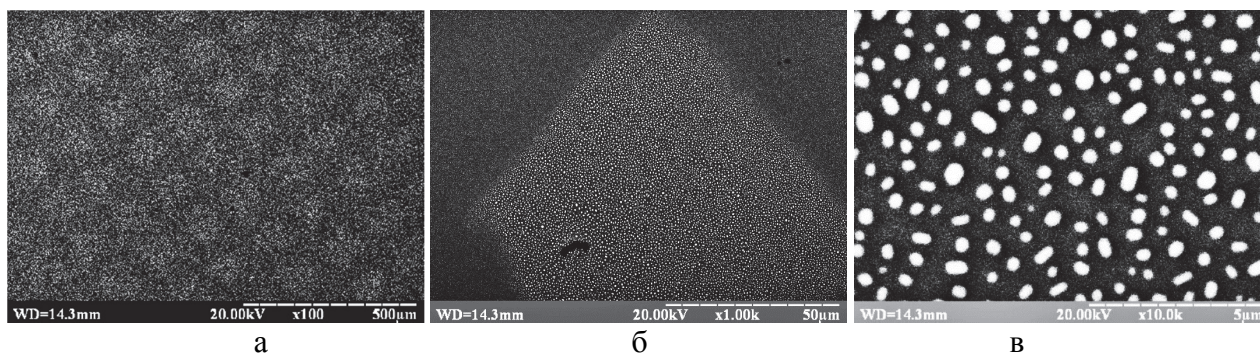


Рис. 1 – Морфология поверхности образца GGG/Au<sub>(NP)</sub> с маской 140 × 140 мкм на участке  $h_{eff} = 10$  нм после ТАГ (с различным увеличением): а – 100 х, б – 1 000 х, в – 10 000 х

Как видно на рис. 1а (увеличение  $10^2$ ) структура покрытия имеет чёткую периодичность, модулированную по периоду маски. Характер плетения маскирующей сетки обуславливает форму ячеек в виде трапеций высотой 80 мкм с основаниями 55 и 105 мкм. На рис. 1б показана одна ячейка с увеличением  $10^3$ . Видно, что после грануляции внутри ячейки формируется островковая структура покрытия, которая представлена на рис. 1в при увеличении  $10^4$ . На снимке наблюдаются крупные островки, имеющие высокую степень эллиптичности.

Результаты исследования спектральной зависимости коэффициента пропускания в различных участках градиента  $h_{eff}$  представлены на рис. 2.

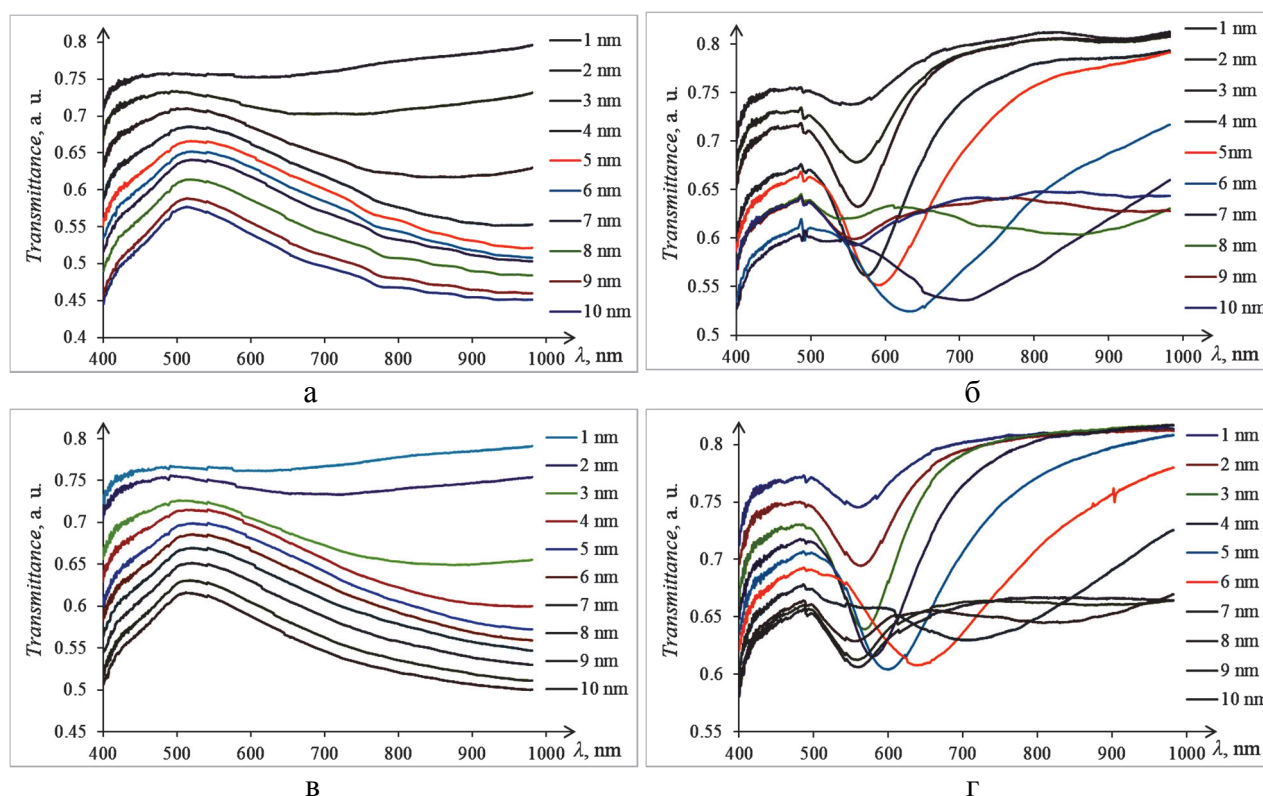


Рис. 2 – Спектральная зависимость коэффициента пропускания в различных участках градиента  $h_{eff}$ : а – GGG/Au (100 × 80 мкм) до ТАГ; б – GGG/Au<sub>(NP)</sub> (100 × 80 мкм) после ТАГ; в – GGG/Au (140 × 140 мкм) до ТАГ; г – GGG/Au<sub>(NP)</sub> (140 × 140 мкм) после ТАГ.

На рис. 2а,в показаны спектры пропускания образцов GGG/Au до ТАГ с размерами маски 100 × 80 мкм и 140 × 140 мкм соответственно (в легенде указана  $h_{eff}$  исследуемого участка). Видно, что для «толстых» участков градиента (5 нм и более) спектры пропускания соответствуют сплошному покрытию Au, однако для спектров с меньшим размером ячейки (рис. 2а) наблюдаются характерные осцилляции на длинах волн свыше 750 нм. На «тонких»

участках покрытия (менее 5 нм) в спектрах появляются плазмонные минимумы, что свидетельствует о неоднородности их структуры.

После ТАГ (рис. 2б,г) в спектрах наблюдаются характерные минимумы, связанные с возбуждением локализованных плазмонов в наночастицах дипольного и квадрупольного типа. При этом на «тонких» участках менее 5 нм (для малых частиц) квадрупольные резонансы не наблюдаются.

**Выводы.** Использование микросетки в качестве маски позволяет получить периодическую ячеистую структуру покрытия, при этом в результате ТАГ в пределах ячеек островки формируются хаотично случайным образом (квазипериодическая структура). Спектры пропускания такой структуры соответствуют сплошному покрытию до ТАГ и наноостровковому после ТАГ.

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ, ИНДУЦИРУЕМЫХ В ОБЪЕКТЕ КОНТРОЛЯ

Шуйский А.А.

*студент 1 курса магистратуры Физико-технического института КФУ. Кафедра  
экспериментальной физики*

научный руководитель: доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования  
Физико-технического института КФУ Филиппов Д.М.  
[a.a.shuiskii@gmail.com](mailto:a.a.shuiskii@gmail.com)

**Введение.** Математическое моделирование распределения вихревых токов в объекте контроля (ОК) с дефектом позволяет получить теоретический прогноз явлений, наблюдаемых в эксперименте по магнитооптической (МО) вихретоковой (ВТ) дефектоскопии.

**Цель и задачи исследований.** Целью настоящей работы является разработка математической модели в рамках метода вторичных источников для расчета электромагнитного поля вблизи поверхности ОК, содержащего дефект, для задач МО ВТ дефектоскопии. Задачи исследований следующие: вывести систему интегро-дифференциальных уравнений относительно плотностей вторичных источников – вихревых токов и электрических зарядов; разработать и реализовать эффективный численный алгоритм решения указанной системы уравнений; провести тестовые расчеты магнитного поля.

**Методика исследований.** Для решения поставленных задач применялась теория интегральных уравнений, численные методы линейной алгебры.

**Результаты исследований.** В работе Д.М. Филиппова, Н.В. Луговского, В.Н. Бержанского и Ф.Н. Панкова «Моделирование квазистационарного электромагнитного поля вблизи проводящего тела для задач вихретоковой магнитооптической дефектоскопии» для численного моделирования применен один из известных стандартных подходов – метод коллокаций (МК). Как показывают численные опыты, проведенные в настоящей работе, применение МК для случая образца с дефектом приводит к недостаточно точному удовлетворению граничного условия для нормальной компоненты плотности вихревого тока. В связи с вышесказанным, в настоящей работе была разработана новая численная модель, обладающая высокой вычислительной эффективностью по сравнению с МК.

Рассмотрим проводящее неферромагнитное тело в форме параллелепипеда с удельной электрической проводимостью  $\gamma$ , содержащее дефект в виде области нулевой проводимости, расположенное во внешнем переменном электромагнитном поле. Предложенная в настоящей работе итерационная схема метода последовательных приближений имеет вид:

$$\sigma_{k,i}^{(s)} - \frac{1}{2\pi\Delta S_k} \sum_{m=1}^{N_S} \sigma_{m,i}^{(s)} \int_{\Delta S_k} \int_{\Delta S_m} \frac{(\vec{r}_{PQ}, \vec{n}_Q)}{r_{PQ}^3} dS_P dS_Q = -\frac{\varepsilon_0 \mu_0}{2\pi\Delta S_k} \sum_{m=1}^{N_V} \frac{\partial \bar{\delta}_{m,i}^{(s-1)}}{\partial t} \int_{\Delta S_k} \int_{\Delta V_m} \frac{\vec{n}_Q dV_N dS_Q}{r_{QN}} - \frac{2\varepsilon_0}{\Delta S_k} \int_{\Delta S_k} \frac{\partial}{\partial t} (\vec{A}_0(Q, t_i), \vec{n}_Q) dS_Q, \quad k=1, 2, \dots, N_S - 1, \quad i=1, 2, \dots, N_T; \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^{N_S} \sigma_{k,i}^{(s)} \Delta S_k = q(t_i), \quad i=1, 2, \dots, N_T; \quad (2)$$

$$\bar{\delta}_{k,i}^{(s)} = -\frac{\gamma \mu_0}{4\pi} \sum_{m=1}^{N_V} \frac{\partial \bar{\delta}_{m,i}^{(s-1)}}{\partial t} \int_{\Delta V_m} \frac{dV_N}{r_{MN}} + \frac{\gamma}{4\pi \varepsilon_0} \sum_{m=1}^{N_S} \sigma_{m,i}^{(s)} \int_{\Delta S_m} \frac{\vec{r}_{PM}}{r_{PM}^3} dS_P - \gamma \partial \vec{A}_0(M_k, t_i) / \partial t, \quad k=1, 2, \dots, N_V, \quad i=1, 2, \dots, N_T. \quad (3)$$

где  $\bar{\delta}(M, t)$  – мгновенное значение вектора плотности вихревых токов в точке  $M$  объёма  $V$  проводника;  $\sigma(Q, t)$  – мгновенное значение плотности заряда в точке  $Q$  поверхности  $S$  проводника;  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\vec{r}$  – радиус-вектор между двумя указанными точками;  $\vec{n}_Q$  – единичная внешняя нормаль в точке  $Q \in S$ ;  $\vec{A}_0$  – векторный потенциал свободных источников;  $N_V$ ;  $N_S$ ;  $N_T$  – число разбиений объёма  $V$ , поверхности  $S$ , временного периода тока индуктора  $T$ ; индекс  $s$  в скобках означает номер итерации в методе последовательных приближений.

Уравнения (1) – (3) образуют полную систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с невырожденной матрицей относительно коэффициентов кусочно-постоянной аппроксимации неизвестных плотностей вторичных источников. Предложенная в данной работе численная модель (1) – (3) получена из граничного условия, записанного в интегральной форме, что позволяет выполнить граничное условие на каждом элементе разбиения в среднем.

Приведем примеры тестовых расчетов. Возбуждение вихревых токов осуществляется индуктором нормального потока, ток в индукторе меняется согласно кусочно-линейному закону. Расчетная область представляет из себя две пластины из алюминия с удельной проводимостью 37 МСм/м. Размеры пластин по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$  соответственно составили 6 мм, 14 мм и 0,3 мм. Модель дефекта представляет собой щель величиной 40 мкм между поверхностями двух пластин. Амплитуда тока индуктора выбрана равной 5 А. На следующем рисунке показано распределение  $z$ -компоненты напряженности магнитного поля над поверхностью образца с дефектом вдоль оси  $x$  при  $y=0$  (центральная линия) на частотах тока индуктора, равных 20 кГц и 60 кГц.

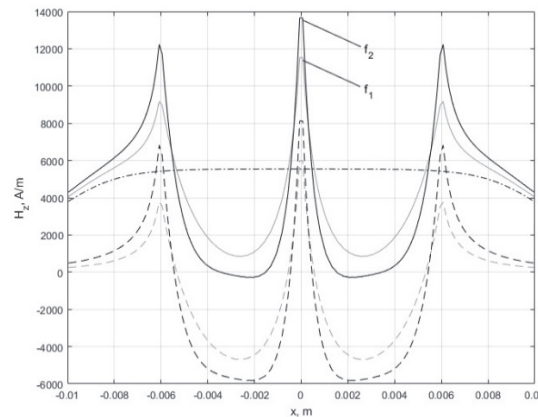


Рис. 1. Распределение  $z$ -компоненты напряжённости магнитного поля над поверхностью ОК в момент времени  $t = -T/4$  ( $f_1 = 20$  кГц,  $f_2 = 60$  кГц). Здесь: пунктир с точкой – поле индуктора; пунктир – поле вихревых токов; сплошная линия – результирующее поле.

Всплеск магнитного поля в области дефекта, превышающий поле индуктора (рис.1), является характерной особенностью задач ВТ дефектоскопии. Благодаря данному всплеску обеспечивается хорошая «наблюдаемость» дефекта, что согласуется с экспериментом. МК ни при каких разбиениях расчетной области не дает подобного всплеска.

**Выводы.** В данной работе построена математическая модель для расчета электромагнитного поля вблизи поверхности проводящего неферромагнитного образца для задач МО ВТ дефектоскопии, основанная на методе вторичных источников. Разработан новый численный метод, основанный на граничном условии в интегральной форме, повышающий вычислительную эффективность метода коллокаций. Предложенный метод дает существенно быструю сходимость численного решения к точному по сравнению с методом коллокаций. Проведены тестовые расчеты магнитного поля для случая возбуждения вихревых токов в образце с дефектом вида сквозной щели индуктором нормального потока.

## ГЕНЕРАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОННЫХ ВИХРЕЙ НА ЗОЛОТОЙ ПЛЕНКЕ

Горишний В.А

*аспирант кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ*  
научный руководитель Дзедолик И.В , доктор физико-математических наук, профессор  
[vasiavasiasia19781978@mail.ru](mailto:vasiavasiasia19781978@mail.ru)

**Введение.** Элементная база современной компьютерной техники достигла практически верхней границы быстродействия, поэтому в настоящее время актуально создание новой элементной базы компьютерных устройств. Одними из наиболее перспективных являются устройства, базирующиеся на основе динамики квазичастиц, называемых плазмон-поляритонами, генерирующихся на границе раздела металла и диэлектрика. Создание логических элементов на базе плазмонных технологий позволит увеличить быстродействие компьютеров в тысячи раз. Для создания таких логических элементов необходимо провести серию экспериментов по исследованию процессов генерации и управления плазмон-поляритонными вихрями на поверхности золотой пленки, напыленной на подложку из плавленого кварца.

**Целью работы** является экспериментальное исследование процессов генерации и управления плазмон-поляритонными вихрями для дальнейшего применения полученных результатов при создании логических элементов компьютерной техники.

**Методика исследований.** Вихри поверхностных плазмон-поляритонов (ППП) возбуждаются на поверхности золотой пленки с помощью дифракции лазерного излучения на решетке, находящейся на поверхности металлической пленки (рисунок 1). При этом ППП должны рассеиваться на неоднородности в металлической пленке: отразиться от границы неоднородности и проинтерферировать с падающими ППП. Неоднородность в металлической пленке может быть создана с помощью литографии, или внешним электрическим полем (например, в форме ласточкина хвоста).



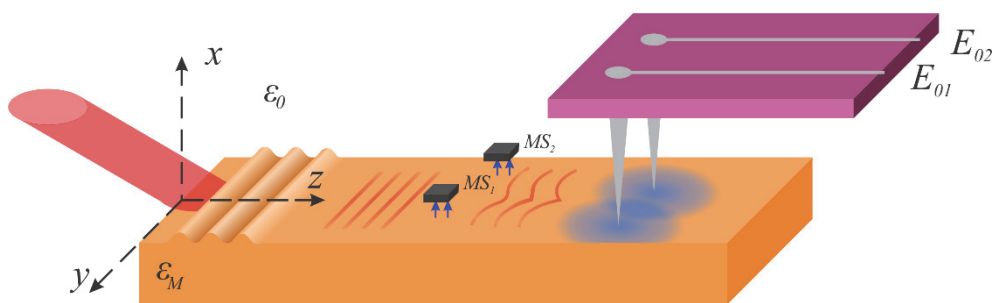


Рис.1. Возбуждение плазмон-поляритонных вихрей на поверхности золотой пленки при рассеянии ППП на неоднородности диэлектрической проницаемости в форме ласточкина хвоста, созданной внешним электрически полем.

Когда в какой-либо точке интерференционного поля присутствуют как минимум три ППП: один падающий и два отраженных под разными углами, в результате их интерференции генерируются вихри ППП, которые можно считать методами ближнепольной микроскопии.

**Выводы.** Внедрение логических элементов компьютерной техники, базирующихся на динамике плазмон-поляритонов, предполагает возможность увеличить быстродействие компьютеров в тысячи раз, что позволит решать задачи, требующие больших вычислительных мощностей.

## ПЛАЗМОННЫЙ ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР

Дзедолик И.В.

*профессор кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ*  
[igor.dzedolik@cfuv.ru](mailto:igor.dzedolik@cfuv.ru)

**Введение.** Скорость обработки сигнала с помощью полупроводниковых логических элементов ограничена гигагерцевыми частотами. Это ограничение связано со скоростями накопления-рассасывания зарядов в р – n переходах, а также значительными потерями на излучение на высоких частотах в полупроводниковых элементах. В настоящее время активно развивается альтернативный подход к созданию логических элементов, основанный на плазмонных технологиях. Плазмонные логические элементы работают на оптических частотах в сотни терагерц, так как скорость прохождения сигнала через них не связана с дрейфовым движением электронов. Размеры современных плазмонных логических элементов составляют десятки и сотни нанометров, то есть такие элементы существенно больше полупроводниковых аналогов. Однако увеличение рабочей частоты плазмонных логических элементов в тысячи раз по сравнению с полупроводниковыми элементами открывает перед плазмонными технологиями широкие перспективы применения в компьютерной технике.

**Целью работы** является разработка и расчет параметров плазмонного полевого транзистора, функционирование которого базируется на управлении плотностью потока поверхностных плазмон-поляритонов. На основе плазмонного полевого транзистора может быть реализован логический элемент «ИЛИ-НЕ».

**Результаты исследований.** Плазмонный полевой транзистор представляет собой две узкие металлические (золотые либо серебряные) полосы, погруженные в диэлектрическую среду (рисунок 1).



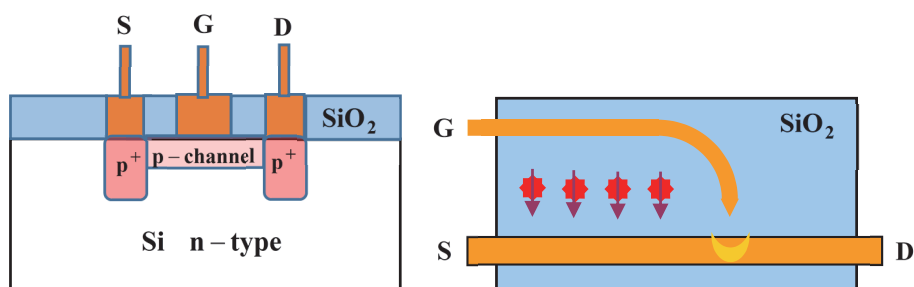


Рисунок 1. Полупроводниковый (слева) и плазмонный (справа) полевой транзистор.

На поверхности металлической полосы S-D плазмонного полевого транзистора с помощью спазера могут быть возбуждены поверхностные плазмон-поляритоны в линейном и нелинейном режимах, распространяющиеся в направлении от истока (S) до стока (D). Если на поверхности полосы S-D внешним электрическим полем создать локальную неоднородность диэлектрической проницаемости, то распространяющиеся по ней ППП частично отражаются от неоднородности, частично проходят через эту неоднородность, и частично трансформируются в объемные электромагнитные волны и излучаются. Внешнее электрическое поле может быть создано поверхностными плазмон-поляритонами, распространяющимися по металлической полосе G. Полоса G должна иметь изгиб с острием в направлении поверхности полосы S-D и представляет затвор (G) плазмонного полевого транзистора. ППП-сигнал полосы G локально изменяет диэлектрическую проницаемость первой полосы и диэлектрической среды, и таким образом управляет интенсивностью ППП-сигнала, прошедшего по полосе S-D. Потери на излучение ППП-сигнала при рассеянии его на неоднородности на полосе S-D, могут быть скомпенсированы при его усилении с помощью хромофоров, имплантированных в диэлектрический слой между полосами S-D и G.

**Выводы.** Управление плотностью потока поверхностных плазмон-поляритонов в плазмонном устройстве на основе двух металлических полос позволит реализовать плазмонный полевой транзистор, и на его базе логический элемент «ИЛИ-НЕ». Плазмонный логический элемент «ИЛИ-НЕ» представляет функционально полный базис для логических операций в плазмонных процессорах, работающих на оптических частотах.

## ИМПУЛЬСНЫЕ ОТКЛИКИ ЯМР КВАДРУПОЛЬНЫХ ЯДЕР

Рябушкин Д.С.

*доцент кафедры экспериментальной физики Физико-технического института КФУ*  
 druabushkin@cfuv.ru

**Введение.** Вычисление различных импульсных откликов является основной задачей теории ядерного магнитного резонанса (ЯМР). При этом процедура наблюдения спада свободной прецессии (ССП) и различных эхо хорошо отработана, каких-либо непреодолимых трудностей, связанных с преобразованием временного отклика в частотный, не существует. Однако теоретические выкладки связаны с двумя трудностями, существенно усложняющими анализ наблюдаемых сигналов. Во-первых, экспериментальные образцы всегда являются многочастичными системами, для которых непосредственный расчет не может быть выполнен. Во-вторых, существенное усложнение задачи происходит при учете внутренней молекулярной подвижности. Ее наличие во многих случаях необходимо учитывать, поскольку именно подвижность объясняет разнообразные эффекты. По указанным причинам всегда существует запрос на разработку таких теоретических подходов, которые позволяют довести решение до аналитического выражения без потери принципиально важных особенностей

отклика. В последние годы наиболее результативным подходом стало решение особой системы дифференциальных уравнений, которая связывает друг с другом импульсный отклик и производные сигнала по времени. В настоящей работе обсуждается возможность нахождения импульсных откликов ЯМР квадрупольных ядер.

**Целью работы** является изучение возможности вычисления ССП и двухимпульсного эха в системах с внутренней молекулярной подвижностью. В качестве конкретного примера было выбрано квадрупольное ядро со спином  $3/2$ , внешнее постоянное магнитное поле считается сильным.

**Методика исследований** основывается на методе аппроксимантов, который сводит задачу к решению системы линейных дифференциальных уравнений первого порядка. Ранее данный подход с успехом использовался для анализа откликов подвижной двухспиновой системы, а также различных жестких систем.

**Результаты исследований.** В работах М. Энгельсберга и И. Лоу «Approximants of the Nuclear-Spin Autocorrelation Function. Application to CaF<sub>2</sub>» и Дж. Паркера и Ф. Ладло «Calculation of NMR line shapes in calcium fluoride from modified moment expansions» впервые для вычисления импульсного отклика была предложена система из бесконечного числа уравнений. При наличии подвижности эта система имеет вид

$$-i \frac{dA_n(t)}{dt} = A_{n-1}(t) + \omega_n A_n(t) + v_n^2 A_{n+1}(t),$$

где  $A_n(t)$  являются функциями времени, а коэффициенты  $v_n^2$  зависят от моментов линии поглощения. Случай  $v_2^2 = 0$  соответствует квадрупольному ядру со спином  $3/2$ . Разрыв системы на этом коэффициенте позволяет вычислить ССП. При этом наблюдается трансформация сигнала от триплета (жесткий случай) к одиночной линии (наличие быстрых движений). Сигнал двухимпульсного эха вычисляется аналогичным образом.

**Выводы.** Метод аппроксимантов позволяет рациональным образом вычислять ССП и сигналы двухимпульсного эха квадрупольных ядер при наличии молекулярной подвижности. По сравнению со стандартной процедурой предлагаемый подход является более компактным, не требующим громоздких выкладок. Возможно обобщение на ядра со спином более  $3/2$ .

---

**ВОЛНОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА ДЛЯ КРЫМА**

Головченко А.В., Осетинский Г.В.

*студенты второго курса кафедры электроэнергетики и электротехники Физико-технического института ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»*

научный руководитель: к.т.н., доцент Воскресенская С.Н.

[mr.kirk200@mail.ru](mailto:mr.kirk200@mail.ru)

**Введение.** Тенденция увеличения потребления электроэнергии на Крымском полуострове с каждым годом вырисовывается всё чётче. Значительный вклад в производство электроэнергии вносят теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и мобильные газотурбинные электростанции (МГТЭС), что несёт за собой риск загрязнения окружающей среды. Для увеличения доли «чистых» источников энергии предлагается рассмотреть использование энергии волн. Для Крымского полуострова, обладающего большой акваторией, данный вид энергетики мог бы стать одним из перспективных.

**Целью работы** является анализ потенциала волновой энергетики в акватории Крыма.

**Результаты исследований.** На данном этапе развития волновой энергетики самыми эффективными являются два типа преобразователей.

Первый тип преобразователей работает по принципу поверхностного качения тела. Они напоминают поплавки ввиду того, что рабочие компоненты расположены на поверхности воды и совершают вертикальные колебательные движения.

Второй тип преобразователей использует принцип «осциллирующего водяного столба». Он заключается в сжатии воздуха в камерах при осуществлении волной толчковых движений. Сжимаясь, воздух создает избыточное давление, благодаря чему вращает турбину, приводя в действие генератор. Сама установка представляет собой камеру, нижняя открытая часть которой погружена под воду, а верхняя часть перекрыта турбиной.

Исследование ресурсов энергии волн в акватории Чёрного моря на единицу площади поверхности может быть осуществлено с помощью формулы

$$P = \rho g^2 H^2 T / 32\pi, \quad (1)$$

где  $H$  – высота волн;  $T$  – период волн;  $\rho$  – плотность воды;  $g$  – ускорение свободного падения.

На рисунке 1 представлена карта высот волн в Чёрном море. По карте видно, что преобладают волны с максимальной высотой от 8 м до 11 м. Также заметен участок моря в северо-восточной части, где берут своё начало самые высокие волны.

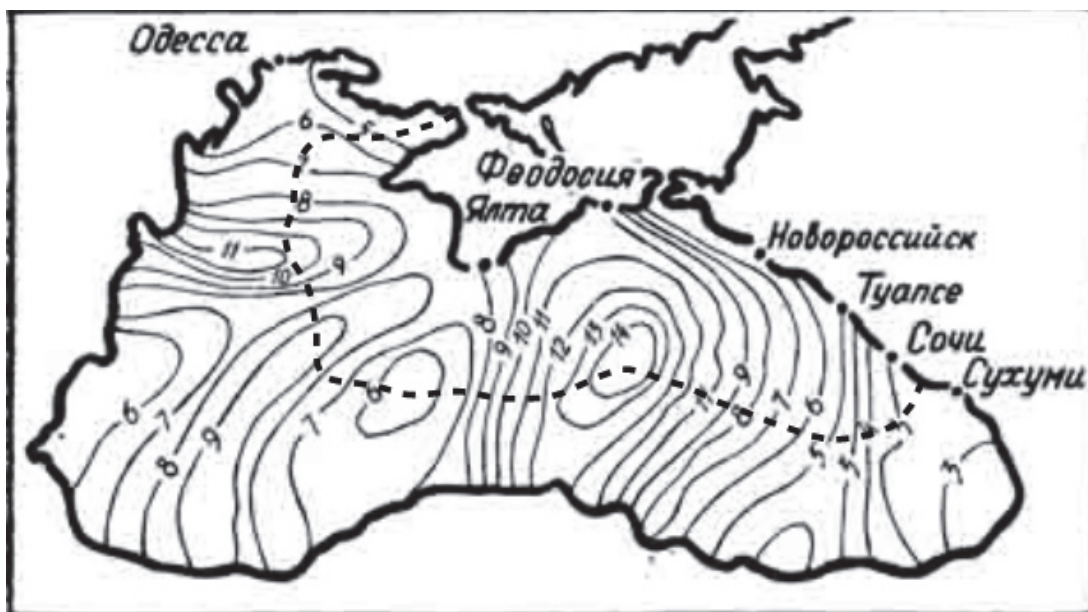


Рис.1. Максимальные высоты волн в различных районах Чёрного моря

Используя формулу (1) можно оценить максимальный потенциал энергии волн на единицу площади поверхности для Чёрного моря (рисунок 2).

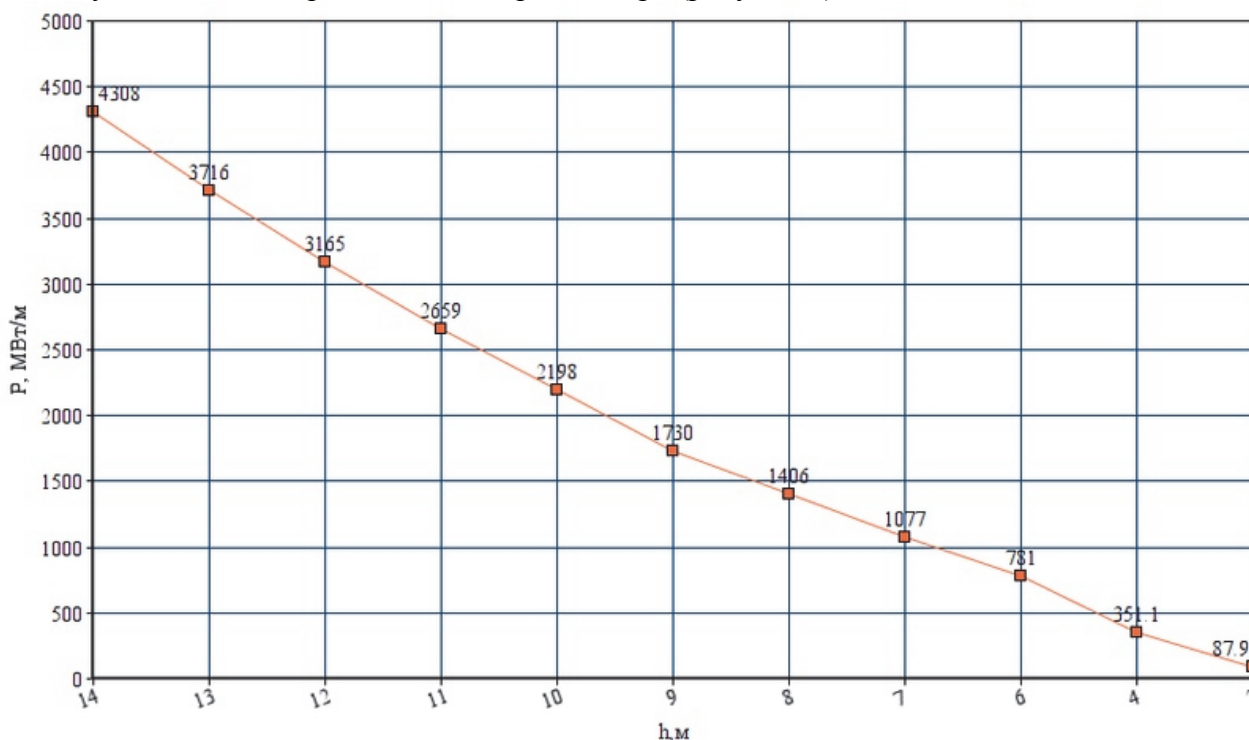


Рис. 2. График зависимости мощности волны от ее высоты на единицу площади поверхности

Причём, среднее значение высоты волн в Чёрном море равно приблизительно 2 м. Из графика видно, что при волнении в 5 баллов по шкале Бофорта единица площади поверхности Чёрного моря будет соответствовать мощность 87,9 МВт.

**Сравнение волновых установок.** Для сравнения возьмём три установки одинаковой мощностью 100 МВт, из которых первые две работают по принципу поверхностного качения тела, а третья – по принципу «осциллирующего водяного столба» (таблица 1).

Таблица 1. Параметры и характеристики установок волновой энергетики

Утка Солтера	Плот Коккереля	“Буй Масуды”
1. КПД		
50%	40-45%	25%
2. Стоимость за 1 кВт в долларах		
4000	6000	
3. Занимаемая площадь, м <sup>2</sup>		
3600	600	1600
4. Эксплуатация		
Средне	Легко	Сложно
5. Мобильность		
Средняя	Высокая	-

**Выводы.** Анализ и сравнение наиболее известных волновых преобразователей выявил, что для Крымского полуострова наиболее оптимальными являются установки, работающие по принципу качающегося тела, так как они обладают большей эффективностью, чем установки использующие другие принципы. Причем наибольшей рентабельностью обладает «установка Коккереля». Она мобильнее, проще в эксплуатации и обслуживании, не занимает большую площадь и не вредит окружающей среде. На данный момент, хотя волновая энергетика и перспективна для Крымского полуострова, но не развита в виду наличия более дешевых источников альтернативной энергии, таких как солнце и ветер. Следует уделять внимание локальному использованию волновой энергетики, особенно вблизи городов-курортов.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Тицкий И.А.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>студент кафедры электроэнергетики и электротехники Физико-технического  
института ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,  
научный руководитель: к.т.н., доцент Сокут Л.Д,  
[Sokut36@mail.ru](mailto:Sokut36@mail.ru)*

**Введение.** В электрической сети Республики Крым (РК) в течение пятнадцати лет используются ветровые (ВЭС) электростанции, на которых получен большой опыт эксплуатации ветроэлектростанций (ВЭУ). Анализ надежности ВЭУ в процессе эксплуатации представляет значительный интерес, в частности, с точки зрения роли систем автоматического регулирования (САР) ВЭУ.

**Целью работы** является анализ структуры и тенденций развития различных САР в составе ВЭУ, как на опыте работы ВЭС РК, в состав которых входят ВЭУ типа USW56-100 установленной мощностью 0,1 МВт и Т600-48 мощностью 0,6 МВт, так и современных мощных ВЭУ, мощностью от 1,0 до 10,0 МВт.

В составе ВЭУ имеется несколько различных САР. Система управления ВЭУ является интегрированной, автоматизированной системой, состоящей из двух взаимосвязанных частей – САР для управления работами по техническому обслуживанию и учету работы ВЭУ (САР ВТ и САР ЭГ) и САР технологическим процессом всей ВЭС. Все системы обеспечивают полностью автоматическую работу ВЭУ и ВЭС во всех режимах.



**Методика исследований** заключается в анализе структуры и оценке роли различных САР в составе ВЭУ. Основным показателем надежности ВЭУ в эксплуатации является средняя наработка на отказ. По техническим условиям ВЭУ, например, типа USW56-100, эта величина должна быть не менее 2200 ч. По данным в работе Даниленко А. И. (Оценка показателей надежности эксплуатации ВЭУ промышленной ВЭС) при эксплуатации Сакской ВЭС для 110 ВЭУ выявлено, что 70 % отказов ВЭУ приходится на САР ВТ.

ВЭУ содержит ветротурбину (ВТ) обычно с тремя лопастями, преобразующую энергию ветрового потока в энергию вращения вала ВТ и электрогенератор (ЭГ), обычно трехфазный асинхронный, преобразующий энергию ВТ в электрическую. ВТ, ЭГ и аппаратура управления и защиты размещаются в едином корпусе – гондоле, установленной на башне ВЭУ на высоте  $H$  над поверхностью земли. Кинематическая схема ВЭУ приведена на рисунке 1.

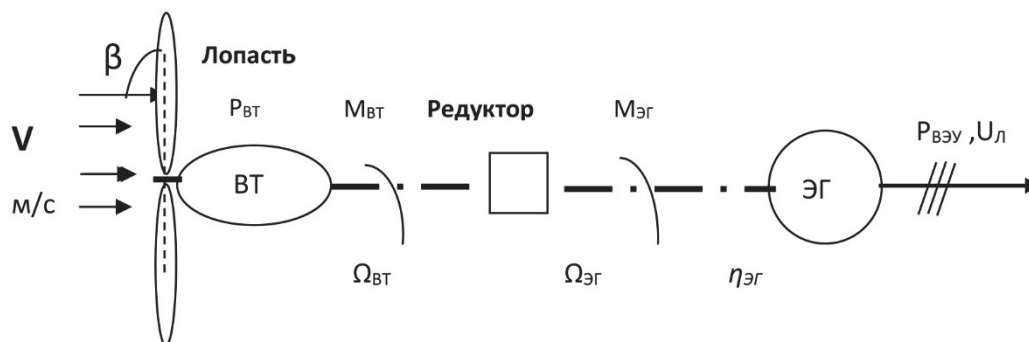


Рис. 1. Кинематическая схема ВЭУ.  $P_{ВТ}$  – выходная мощность ВТ,  $\beta$  – угол поворота лопастей ВТ к направлению скорости ветра,  $P_{ВЭУ}$  – выходная электрическая мощность ВЭУ,  $U_{л}$  – номинальное линейное напряжение ЭГ,  $\Omega_{ВТ}$ ,  $\Omega_{ЭГ}$  – частота вращения вала ВТ и ЭГ, р/с,  $\eta_{ЭГ}$  – КПД ЭГ.

Основными объектами регулирования ВЭУ является ВТ и ЭГ. САР ВТ выполняет регулирования мощности ВТ, частоты вращения и момента вращения ВТ в требуемых пределах при изменении скорости ветра в рабочем диапазоне ВЭУ. В такой системе применяются два способа регулирования: «pitch – регулирование» и «stall – регулирование». Для «pitch – регулирования» используются устройства поворота лопастей ВТ, основной частью которого является система изменения угла  $\beta$  поворота лопастей. При «stall – регулировании» используется неподвижно закрепленная лопасть, аэродинамические свойства которой обеспечивают стабилизацию мощности при скоростях ветра выше номинальных. Система «pitch – регулирования» находит наибольшее применение в мощных ВЭУ.

Регулируемыми параметрами САР ВТ являются угол поворота лопастей  $\beta$  и, как следствие, скорость вращения вала ВТ –  $\Omega_{г}$ . Задача регулирования состоит в стабилизации скорости вращения вала ВТ  $\Omega_{г}$  в диапазоне рабочих скоростей ветра  $V$ . Исполнительным элементом ВТ является узел поворота лопастей ВТ с электроприводом или с гидроприводом, синхронно поворачивающий все три лопасти ВТ на заданный угол  $\beta$  с быстродействием 0,5 град./с.

Регулируемыми параметрами САР ЭГ являются следующие: - скорость вращения вала ЭГ  $\Omega_{г}$ , цель регулирования  $\Omega_{г}$  – подключение обмоток ЭГ к электрической сети в диапазоне рабочих значений скольжения для трехфазного асинхронного ЭГ.

Для уменьшения диапазона работы САР ВТ и увеличения области работы САР ЭГ на ВЭУ мощностью свыше 1,0 МВт применяются трехфазные асинхронные ЭГ с фазным ротором. В таком ЭГ за счет регулирования мощности по цепи ротора с помощью полупроводниковых преобразователей получается расширенный диапазон допустимых

значений скольжения и, соответственно, расширенный диапазон области регулирования ЭГ с ростом скорости ветра, что существенно сокращает область работы САР ВТ и повышает тем самым надежность ВЭУ.

САР ЭГ всех типов ЭГ содержит также регулируемые параметры следующих величин:

– силы тока ЭГ, цель регулирования – ограничение допустимого значения тока ЭГ;  
– реактивной мощности  $Q$ , потребляемой ЭГ, цель регулирования – поддержание коэффициента мощности ЭГ в заданных пределах за счет подключения компенсирующих конденсаторов, а также информация и регистрация величины  $Q$  в функции времени работы ВЭУ.

– напряжения  $U$  и активной мощности  $P$  генератора ЭГ, цель регулирования – информация и регистрация этих величин в функции времени работы ВЭУ.

Исполнительными элементами в САР ЭГ являются:

– аппаратура с электромагнитным приводом, выполняющая подключение ЭГ к сети в диапазоне скольжения больше  $S_{min}$  до величины  $S_{max}$  и отключающий ЭГ от сети при критическом скольжении  $skp$  и превышении в этом случае величины тока ЭГ;

– аппаратура с электромагнитным приводом и батареи конденсаторов, подключаемые к цепи ЭГ для компенсации реактивной мощности.

Для выполнения задач регулирования САР ВТ и САР ЭГ в элементах ВЭУ установлены датчики скорости вращения вала ВТ и вала ЭГ, датчики тока и напряжения ЭГ, датчики скорости и направления ветра. Системы САР содержат регуляторы скорости вращения вала ВТ, скорости вращения вала ЭГ, величины скольжения, максимального тока двигателя, реактивной мощности.

Кроме того, в системе имеются вычислительные устройства расчетной и фактической активной и реактивной мощности ЭГ, активной и реактивной энергии за все время работы ВЭУ, сравнения фактических и расчетных значений энергии. Отображение всех регулируемых величин производится на экране монитора центрального компьютера. Предусмотрен общий экран (для всех ВЭУ) и конкретный экран (для одной выбранной ВЭУ).

**Заключение.** Полученный в РК опыт длительной эксплуатации ВЭУ типа USW56-100, несмотря на малую по современным представлениям величину мощности 0,1 МВт, является ценным для развития САР ВЭУ. Опыт показывает низкую надежность устройства поворота лопастей ВТ и целесообразность сокращения диапазона работы САР ВТ за счет расширения области работы САР ЭГ при изменении скорости ветра.

## ПРОГРАММЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА НА ЭВМ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Иванова Е.В.<sup>1</sup>, Гирич Д.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ассистент, кафедры электроэнергетики и электротехники, Физико-технического института  
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

<sup>2</sup> магистр кафедры электроэнергетики и электротехники Физико-технического института  
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

научный руководитель: к.т.н., доцент, Сокут Л.Д

[Sokut36@mail.ru](mailto:Sokut36@mail.ru)

**Введение.** Расчет параметров при проектировании ветроэлектростанции (ВЭС), в том числе расчета основных параметров ветроэлектроустановки (ВЭУ) и выработки электрической энергии ВЭС при изменении установленной мощности ВЭС и ВЭУ, количества ВЭУ, высоты башни ВЭУ, скорости и направления ветра на площадке ВЭС является трудоемкой задачей.

**Целью работы** является создание алгоритма для автоматизации расчета перечисленных параметров ВЭУ и ВЭС с помощью программы на ЭВМ.

**Методика исследований** заключается в выполнении всех этапов, которые должна пройти задача, реализуемая на ЭВМ. Постановкой задачи предусматривалось выполнить следующие этапы расчета выработки электроэнергии отдельно стоящей ВЭУ и ВЭС в целом, а именно: пересчет скоростей ветра  $V_{0i}$  с флюгерной высоты метеостанции  $H_0$  при скорости ветра  $V_{hi}$  на высоту башни каждого типа ВЭУ –  $H_n$ ; расчет часовой повторяемости  $f_i$  скоростей ветра  $V_{hi}$  по данным метеостанции о повторяемости по дням  $d_i$  скорости ветра  $V_{0i}$  в течение года; расчет выработки электроэнергии за год для каждого типа отдельно стоящей ВЭУ; расчет выработки электроэнергии за год для ВЭС в целом при заданном числе  $N_{jn}$  каждого типа ВЭУ по установленной мощности ВЭС  $P_{ВЭС}$ , номинальной мощности ВЭУ  $P_n$  и известной характеристике  $\alpha$  взаимного затенения ВЭУ на площадке.

Для разработки алгоритма программы приняты следующие исходные данные, информация по которым вводится в начале расчета: - высота башни  $H_n$  каждого типа ВЭУ; скорость ветра  $V_{0i}$  на флюгерной высоте метеостанции  $H_0$  в течение года; повторяемость по дням  $d_i$  скорости ветра  $V_{0i}$  в течение года; установленная мощность ВЭС  $P_{ВЭС}$ , коэффициент затенения  $\alpha$ ; расчет производится по следующим соотношениям: коэффициент Хеллмана, рассчитывается по соотношению (1), пересчет скорости ветра  $V_{0i}$  с флюгерной высоты  $H_0$  на скорость ветра  $V_h$  при высоте башни ВЭУ –  $H_n$  по (2), пересчет повторяемости скорости ветра  $d_i$  в днях на повторяемость скорости ветра  $f_i$  в часах согласно (3)

$$k = 0,415 + 0,049 \ln(h) \quad (1)$$

где:  $h$  -характерная высота;

$$V_{hni} = V_{0i} \left( \frac{H_n}{H_0} \right)^k \quad (2)$$

$$f_i = 24d_i \quad (3)$$

Расчет выработки электроэнергии  $W_{in}$  для каждого типа ВЭУ при каждом значении скорости ветра  $V_{hi}$  и повторяемости скорости ветра  $f_i$  в часах производится по соотношению (4), определение суммарной выработки электроэнергии  $W_{ВЭУ}$  за год по соотношению (5)

$$W_{in} = P_n (V_{hi}) f_i \quad (4)$$

$$W_{ВЭУ} = \sum_1^j W_{in} n \quad (5)$$

где:  $n$  - количество значений повторяемости скоростей ветра за год.

Для расчета выработки электроэнергии ВЭС  $W_{ВЭС}$  определяется количество  $N$  заданного типа ВЭУ по заданной установленной мощности ВЭС  $P_{ВЭС}$  и номинальной мощности  $P_{НОМ}$  ВЭУ на основании соотношения

$$N = \frac{P_{ВЭС}}{P_{НОМ}} \quad (6)$$

Затем расчет производится по соотношению

$$W_{ВЭС} = W_{ВЭУ} N \quad (7)$$

Соотношение (7) не учитывает взаимного затенения ВЭУ при различном расположении на площадке ВЭС и применяется при расстоянии между ВЭУ не менее восьми диаметров ветротурбины. При известном коэффициенте взаимного затенения  $\alpha_j$  для каждой ВЭУ расчет  $W_{ВЭС}$  выполняется по соотношению

$$W_{ВЭС} = \sum_{j=1}^{j=N} W_{ВЭУj} \cdot \alpha_j \quad (8)$$

Полученные значения  $W_{ВЭС}$  по (7) и (8) используются далее для оценки коэффициента КИУМ для ВЭС.

Программа написана на языке Java. Выбор языка обоснован тем, что он является Free-souers (не требующий лицензии) и кроссплатформенным, то есть его исполняемые файлы можно запускать на различных платформах без предварительной перекомпиляции.

Разработанная программа состоит из серии окон, связанных между собой. Каждое из них содержит клавиши «Назад» и «Далее», которые позволяют пользователю вернуться к предыдущему расчету для исправления данных. Все представленные в программе окна, проверены на предмет ошибки ввода недопустимых данных. В случае такой ошибки, программа подсвечивает поле с ошибкой красным цветом и не позволяет расчет данных до того как ошибка не будет устранена (рисунок 1).

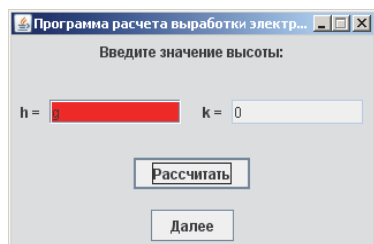


Рисунок 1. Обозначение символьной ошибки ввода данных.

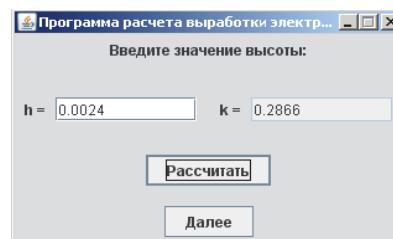


Рисунок 2. Скриншот экрана программы расчета коэффициента Хельмана

На рисунке 2. приведен скриншот видового экрана программы расчета коэффициента Хельмана.

Если введенные данные являются числовыми, то программа выполняет вычисления и выводит форматированное значение параметра с заранее определенным количеством знаков после запятой. После этого становится доступной кнопка «Далее» для перехода к следующему окну и продолжению расчета. Если в результате расчета, данные из предыдущего окна используются в последующих окнах, то программа автоматически переносит их в нужное окно и располагает в отведенном для них поле. Все символьные обозначения данных в программе подписаны. При подводе курсора мыши к символу, появляется всплывающая подсказка, содержащая информацию о данном символе.

**Заключение.** Представленная программа автоматизации расчета основных параметров ВЭУ и выработки электрической энергии ВЭУ и ВЭС при изменении установленной мощности ВЭС, номинальной мощности и количества ВЭУ, высоты башни ВЭУ, скорости и направления ветра на площадке ВЭС значительно ускоряет проведение расчетов при сравнении и выборе вариантов.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА УГЛОВ ПОВОРОТА ЛОПАСТЕЙ В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

Патынок Е.Ю<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>студент кафедры электроэнергетики и электротехники Физико-технического института  
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,  
научный руководитель: к.т.н., доцент Муровская А.С.  
[murovskay@mail.ru](mailto:murovskay@mail.ru)

**Введение.** В состав ветроэлектростанций (ВЭС) входят ветроэлектроустановки (ВЭУ), представляющие собой комплекс взаимосвязанного оборудования, предназначенный для преобразования энергии ветра с помощью ветротурбины (ВТ) в электрическую энергию с помощью электрогенератора (ЭГ). ВЭУ содержат несколько систем автоматического регулирования режимов работы, основной из которых является система регулирования мощности ВТ, обеспечивающая регулирование в требуемых пределах мощности, частоты вращения и момента вращения ВТ при изменении скорости ветра в рабочем диапазоне ВЭУ. В такой системе применяются два способа регулирования: «pitch – регулирование» и «stall – регулирование». Для «pitch – регулирования» используются устройства поворота лопастей ВТ, основной частью которого является система изменения угла  $\beta$  положения лопастей ВТ. При «stall – регулировании» используется неподвижно закрепленная лопасть, аэродинамические свойства которой обеспечивают стабилизацию мощности при скоростях ветра выше номинальных. Система «pitch – регулирования» находит наибольшее применение в мощных ВЭУ.

**Целью работы** является автоматизация расчета углов поворота лопастей в системе «pitch – регулирования» по известным параметрам ВТ и ВЭУ в диапазоне скоростей ветра от  $V_{НОМ}$  – расчетной скорости ветра, при которой ВТ вырабатывает номинальную мощность  $P_{ВТ,НОМ}$  до  $V_{МАКС}$  – максимально допустимой скорости ветра, при которой производится выработка электроэнергии ВЭУ.

**Методика исследований** заключается в анализе и оценке важнейших параметров, определяющих регулировочные характеристики ВТ. Важнейшими характеристиками ВТ являются аэродинамические – безразмерные зависимости момента вращения вала турбины  $M_{ВТ}$ , развиваемой мощности ВТ  $P_{ВТ}$ , коэффициента использования энергии ветра  $C_p$ , быстроходности ВТ от частоты вращения вала ВТ  $\Omega_{ВТ}$  и от скорости ветра  $V$ . Быстроходность  $Z$  (1) определяется отношением окружной скорости конца лопасти  $V_\Omega$  к скорости ветра  $V$ , коэффициент использования энергии ветра  $C_p$  (2) равен отношению мощности ВТ  $P_{ВТ}$  к мощности набегающего ветрового потока  $P_0$ .

$$Z = \frac{V_\Omega}{V} = \frac{L\Omega_{ВТ}}{V} \quad (1), \quad C_p = \frac{P_{ВТ}}{P_0} \quad (2)$$

Значение  $C_p$  зависит от скорости ветра  $V$ , скорости вращения  $\Omega_{ВТ}$ , угла установки лопастей  $\beta$  и других параметров ВТ. ВТ мощных ВЭУ содержит обычно три лопасти. Для одной (каждой) лопасти рассматривается ряд углов:  $\varphi$  – угол установки лопасти ВТ (угол между хордой профиля лопасти ВТ и плоскостью вращения ВТ); угол  $\varphi$  отсчитывается от нормали к плоскости лопасти, зависит от профиля лопасти по длине  $L$ ; обычно в средней части длины составляет  $0 - 4^\circ$ ;  $\beta$  – угол притекания, угол между относительной скоростью воздушного потока  $W$  и плоскостью вращения ВТ;  $\alpha$  – угол атаки, угол между относительной скоростью воздушного потока  $W$  и хордой профиля лопасти. Угол  $\beta = \alpha + \varphi$ , если  $\varphi = 0$ , то  $\beta = \alpha$ .

Величины  $Z$ ,  $C_p$ ,  $\beta$  связаны между собой нелинейной зависимостью, для которой отсутствует единое аналитическое выражение, что затрудняет создание и функционирование системы регулирования мощности ВТ. При разработке систем регулирования ВЭУ скорость



ветра  $V$  представляет собой независимую переменную, а параметры  $Z$ ,  $C_p$ ,  $\beta$ , а также ряд других, являются регулируемыми параметрами.

Характеристика регулирования ВЭУ состоит из двух различных участков. Первый участок представляет естественную характеристику ВТ без регулирования угла  $\beta$  при скорости ветра от начальной  $V_{нач}$ , при которой ВЭУ включается в работу, до  $V_{ном}$ . Вторым участком – участок регулирования мощности ВЭУ в диапазоне скоростей ветра от  $V_{ном}$  до  $V_{макс}$  за счет системы регулирования мощности ВЭУ при использовании, как аэродинамических характеристик ВТ, так и характеристик ЭГ. Изменение аэродинамических характеристик ВТ в случае системы «pitch-регулирования» производится за счет автоматического регулирования угла  $\beta$  с ростом скорости ветра выше  $V_{ном}$  и сводится к изменению величины  $C_p$  согласно (2) за счет изменения угла  $\beta$ . Исполнительным элементом служит весьма сложный механизм («pitch – регулятор» с электро- или гидроприводом). Поворот всех трех лопастей производится синхронно. Измеряемым параметром является скорость ветра. Датчиком регулируемого параметром служит функциональный преобразователь (ФП), формирующий заданное значения угла  $\beta_{зад}$  при измеренной скорости ветра. В ФП вычисляется величина  $C_{pi}$  при измеренной скорости ветра  $V_i$  и устанавливается соответствующее этой величине заданное значения  $\beta_{зад}$ .

Совершенствование системы «pitch – регулирование» мощности ВЭУ связано с уточнением характеристик ФП. Идеальное значение коэффициента использования энергии ветра  $C_{pид}$  равняется

$$C_{p.ид} = \frac{4e(1-e)}{1+e} \quad (3), \quad C_{pi} = C_{p.ид} \frac{(1-\mu Z_i)Z}{(Z_i + \mu)(1-e)} \quad (4)$$

где:  $e = v_l/V$  – отношение потери скорости  $v_l$  на ВТ к скорости ветра  $V$ ; обычно рассматривается в пределах (0,28 - 0,42) в зависимости от профиля лопасти ВТ. С учетом (3) величину  $C_{pi}$  можно представить в виде (4),  $\mu$  – коэффициент обратного аэродинамического качества ВТ, равный обычно в пределах (0,018 - 0,26). При рассмотрении зависимости  $\beta$  по длине лопасти  $L$  принимают число модулей по длине  $i$ , а величину  $Z_i$ , определяют как отношение длины  $r_i$  рассматриваемого сечения модуля лопасти к длине  $L$  (5):

$$Z_i = Z \frac{r_i}{L} \quad (5)$$

Для анализа зависимости угла  $\beta$  от скорости ветра  $V$  используется дополнительно обозначения:  $V_1 = (V - v_l)$  – скорость потока воздуха на ВТ;  $U_1$  – скорость потока, получаемая как реакция от крутящего момента развиваемого лопастями ВТ; относительная скорость воздушного потока  $W$  (6):

$$W = \sqrt{V_1^2 + (-\Omega_{BT}R - U_1)^2} \quad (6)$$

При большом числе модулей  $i$  принимается равным (7):

$$\frac{Z}{(1-e)} \cong Z_i \quad Z_i = \frac{U_1 + \Omega_{BT}r_i}{V - v_l} \cong \frac{\Omega_{BT}r_i}{V_1} = ctg\beta_i \quad (7)$$

Приведенные соотношения (3 - 7) позволяют найти значения угла  $\beta$  в зависимости от скорости ветра  $V$  и от точки рассмотрения сечения лопасти (номера  $k$  модуля  $i$ ), используя порядок расчета по (3 - 7).

Результаты расчета для ВЭУ Т-600-48. Принимаем необходимые параметры ВЭУ ( $C_{pид} = 0,59$ ;  $e = 0,3$ ,  $\mu = 0,02$ ,  $L = 25$  м,  $r_{BT} = 4,8$  м,  $\varphi = 2^\circ$ ,  $\Omega_{BT} = 2,41$  р/с,  $n_{BT} = 23$  об/мин.,  $R = L - r_{BT} = 20,2$  м), диапазон рассчитываемых значений скоростей ветра  $V_j$  (от 10 до 20 м/с) и количество модулей по длине лопасти  $i = 4$ . Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения углов поворота лопасти  $\beta^0$  ВТ при изменении скорости и длины

$V_j$ , м/с	10	12	15	18	20
$\beta^0$	12	14	17	20	22
$r_i$ , м	20	15	10	5	
$\beta^0$	12	15	23	40	

**Заключение.** Из полученных результатов видно, что разработанная программа расчета с применением стандартного математического аппарата «Microsoft Excel» дает возможность рассчитывать и уточнять параметры ФП для более эффективного регулирования работы ВТ.

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДУШНО-АККУМУЛИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Сейтаблаев И.К.,<sup>1</sup> Асанов М.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>студент группы ЭЭ-171 кафедры электроэнергетики и электротехники Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>научный руководитель, к.ф.-м.н., преподаватель кафедры электроэнергетики и электротехники Физико-технического института КФУ

[asanov.m.m@cfuv.ru](mailto:asanov.m.m@cfuv.ru)

**Введение.** При развитии ВИЭ и повышении уровня их «проникновения» в энергосистему и доли вырабатываемой ими энергии увеличивается потребность в компенсирующих ресурсах, которые способствуют «гибкости» энергосистемы. Это гарантирует, что стабильность энергосистемы поддерживается путем быстрого сопоставления спроса и предложения электроэнергии и быстрой компенсации всплесков потребления – как избытка, так и нехватки энергии. Системы хранения энергии, аккумулирующие энергию на разных уровнях, предназначены для быстрого реагирования энергосистемы и оперативного управления колебаниями мощности в участках электросети.

Имеется целый ряд технических решений, которые применяются для аккумулирующих систем, работающих для целой страны, для региональной энергосистемы и для сглаживания всплесков в локальных сетях вплоть до компенсации потребления отдельного домохозяйства. Степень их применимости оценивают по мощности и по времени их заряда/разряда (вернее – быстродействию по отдаче энергии и скорости поглощения ее избытка в системе).

**Целью работы** является анализ исследовательской модели воздушно-аккумулирующей электростанции, которая позволяет регулировать неравномерность электропотребления, особенно в период пикового ее спроса. Основана она на технологии по производству электроэнергии на основе энергии сжатого воздуха.

**Методика исследования.** Для исследования ВАЭС рассмотрим функциональную структуру исследовательской ВАЭС, схематически представленной на рисунке.

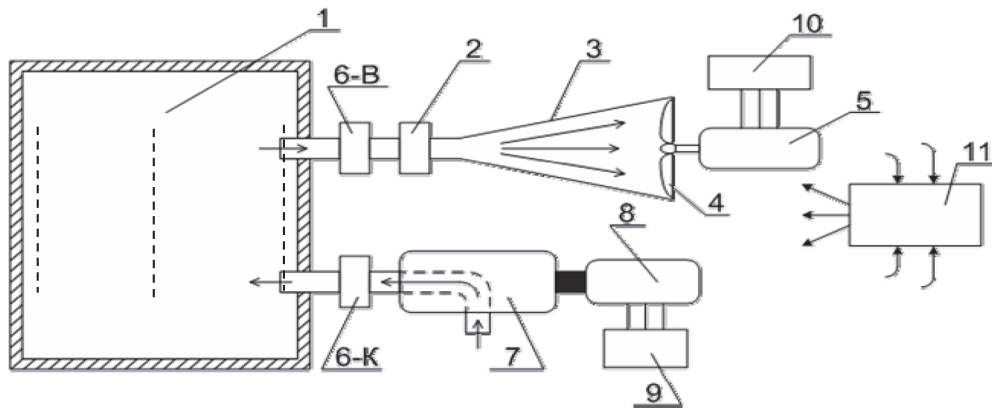


Рис. Вариант функциональной структуры исследовательской ВАЭС

Алгоритм функционирования ВАЭС будет таким: при появлении в электроэнергетической системе избытка электроэнергии и давления в воздухохранилище 1 меньше, чем заданный с помощью регулирующей аппаратуры 11 и электропривода 8 включается в работу компрессор 7, который будет нагнетать в воздухохранилище 1 воздух до тех пор, пока давление в нем не станет равным заданному. При достижении этого равновесия регулирующая аппаратура 11 подает команду на затворную аппаратуру 6-к и на выключатель электропривода 8 компрессора 7 – компрессор отключается, канал доступа воздуха в воздухохранилище перекрывается. Во время нагнетания воздуха в воздухохранилище 1 и после завершения этого процесса затворная аппаратура 6-в держит свой канал перекрытым.

При появлении в электроэнергетической системе дефицита электроэнергии за сигналом регулирующей аппаратуры 11 на затворную 6-в открывается канал выпуска сжатого воздуха из воздухохранилища 1 в диффузор 3. Поток воздуха, формируемого диффузором 2, поступает на ветровой двигатель 4, в котором энергия сжатого воздуха превращается в механическую энергию вращения вала ветрового двигателя. Ветровой двигатель 4 передает механическую энергию вращения своего вала ротору электрического генератора 5, в котором механическая энергия превращается в электрическую и подается в электроэнергетическую систему. Этот процесс длится до тех пор, пока давление в воздухохранилище 1 не сравнится с атмосферным или в электроэнергетической системе не исчезнет дефицит электроэнергии. Давление в диффузоре 3 на протяжении всего процесса выпуска воздуха из воздухохранилища 1 поддерживается постоянным с помощью регулятора давления 2. Останавливаться этот процесс может также по сигналу регулирующей аппаратуры, которая будет обрабатывать заданную программу.

Основным режимным параметром ВАЭС является мощность  $N = f(v, D)$  в ваттах, которую она может развивать на валу ветрового двигателя с диаметром ветрового колеса  $D$  (в метрах) при тех или иных скоростях  $v$  (в метрах за секунду) ветрового потока, который вращает ветровой двигатель.

Рассчитать максимально возможное значение мощности  $N$  можно по формуле:

$$N_{\max} = \frac{2}{3} v \left[ \frac{8}{9} \left( p_{\text{ат}} \frac{v^2}{2} \right) \right] \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 = 0,279 v^3 D^2 \text{ (Вт)}$$

**Результаты исследований.** С помощью ВАЭС мы можем регулировать неравномерность электропотребления, особенно в период пикового ее спроса. Зависимость солнечной и ветровой энергетики от времени суток и погодных условий приводит к тому, что в определенные интервалы времени производится много, а в другие очень мало электричества.

**Выводы.** Анализ исследовательской модели ВАЭС показывает целесообразность и перспективы создания таких моделей, пригодных для исследования процессов в них. ВАЭС может решить задачу обеспечения постоянного и стабильного электрического тока.

## РАБОТА ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ НА ПС 220 КВ КРАСНОПЕРЕКОПСК

Назарук П.В.<sup>1</sup>, Бекиров Э.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>студент кафедры электроэнергетики и электротехники Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>Заведующий кафедрой электроэнергетики и электротехники, Физико-технического института КФУ, д.т.н. профессор  
[kaf\\_energo@cfuv.ru](mailto:kaf_energo@cfuv.ru)

**Введение.** Автоматическое ограничение снижения частоты (АОСЧ) предназначено для обеспечения живучести ЕЭС России при возникновении значительного дефицита активной мощности в отдельных ее частях (регионах) с их аварийным отделением и глубоким (ниже 49,0 Гц) снижением частоты (и напряжения, как следствия снижения частоты), создающих угрозу повреждения оборудования электростанций, безопасности работы АЭС, нарушения нормальной работы энергопринимающих установок потребителей, а также возникновения лавины частоты и напряжения с полным прекращением электроснабжения.

АОСЧ должно обеспечивать прекращение процесса аварийного снижения частоты и подъем ее до уровня, при котором энергосистема по условия работы оборудования и собственных нужд электростанций может работать длительное время (выше 49,0 Гц), а также частичное или полное восстановление электроснабжения отключенной нагрузки потребителей при нормализации частоты.

Для выполнения этих функций АОСЧ осуществляет:

- а) автоматический частотный ввод резерва (АЧВР) при снижении частоты ниже минимально допустимых значений, до верхних уставок АЧР;
- б) автоматическую частотную разгрузку (АЧР) при снижении частоты ниже 49,0 Гц;
- в) дополнительную автоматическую разгрузку (ДАР) при местных дефицитах активной мощности с большой скоростью снижения частоты;
- г) выделение электростанций (энергоблоков) на питание собственных нужд или на сбалансированную нагрузку (частотная делительная автоматика – ЧДА) в случае неэффективности АЧР;
- д) частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ) отключенных потребителей при нормализации частоты.

Настройка устройств, входящих в АОСЧ, должна быть такой, чтобы глубина и длительность цикла снижения и подъема частоты не приводили к нарушению технологического режима работы ТЭС и требований действующих ГОСТ по эксплуатации турбин.

Исходя из этих требований АОСЧ должна выполняться на основании следующих расчетных условий работы энергосистемы:

- с частотой ниже 49,0 Гц – не более 40 с;
- с частотой ниже 47,0 Гц – не более 10 с;
- с частотой ниже 46,0 Гц – не допускается.

АОСЧ обеспечивает выполнение требований действующих стандартов за счет использования резервов генерирующей мощности и отключения нагрузки потребителей. При этом мощность отключаемой нагрузки не должна превышать возникший аварийный дефицит мощности.

Для выполнения своих функций устройства, входящие в АОСЧ, контролируют:

- величину, продолжительность и/или скорость снижения частоты;
- факторы, характеризующие возникновение местного дефицита активной мощности без контроля изменения частоты: отключение генерирующего оборудования, питающей линии

электропередачи или трансформаторного оборудования (с контролем величины и направления мощности в предшествующем режиме) и т.д.

Устройства, входящие в АОСЧ, должны быть установленные в каждой энергосистеме (энергорайоне, энергоузле), которая может аварийно отделиться от ЕЭС России с дефицитом мощности, приводящим к недопустимому снижению частоты.

Устройства, входящие в АОСЧ, должны быть постоянно введены в работу с заданной настройкой.

Профилактическое обслуживание и контроль настройки устройств, входящих в АОСЧ, должны выполняться с периодичностью, установленной соответствующими инструкциями по эксплуатации этих устройств.

Контроль достаточности мощности энергопринимающих установок потребителей, подключенных к устройствам АЧР и ДАР (при отсутствии системы автоматического контроля нагрузок) должен производиться путем систематических измерений подключенной к устройствам АЧР и ДАР мощности нагрузки энергопринимающих установок потребителей не реже двух раз в год: в дни контрольных измерений потокораспределения, нагрузок и уровней напряжения в электрических сетях (дни контрольных замеров).

АЧР действует при возникновении дефицита активной мощности в условиях быстротечного процесса аварийного снижения частоты. АЧР выполняет отключение нагрузки потребителей небольшими объемами – очередями:

- по мере снижения частоты – для прекращения ее снижения;
- по мере увеличения продолжительности существования пониженной частоты – для ее подъема.

АЧР включает в себя:

- АЧР1 – быстродействующую АЧР для прекращения процесса снижения частоты, в том числе:

а) спецочередь АЧР – для предотвращения автоматической или оперативной разгрузки энергоблоков АЭС при снижении частоты ниже 49,0 Гц и срабатывания основного объема АЧР;

б) основной объем АЧР – (48,8 Гц и ниже);

- АЧР2 несовмещенную (действующую на выделенный объем энергопринимающих установок потребителей) – для подъема частоты после действия устройств АЧР1, а также при медленном снижении частоты;

- АЧР2 совмещенную (действующую на объем энергопринимающих установок потребителей, подключенных к АЧР1) – для предотвращения зависания частоты на недопустимо низком уровне.

**Целью работы** является анализ работы противоаварийной автоматики, а именно АЧР, на ПС 220 кВ Красноперекоск, а также выяснение причины обесточивания шин подстанции.



**Результаты исследований. Уставки АЧР на ПС 220 кВ Красноперекопск:**

Объект	Присоединение	АЧР-1			АЧР-2		
		№	уставки		№	уставки	
		оч-ди	с	Гц	оч-ди	с	Гц
ПС 220 кВ Красноперекопск	МВ 35 кВ Т-1	6	0,3	48,3	6	25	48,9
ПС 220 кВ Красноперекопск	МВ 35 кВ Т-2	6	0,3	48,3	6	25	48,9
ПС 220 кВ Красноперекопск	МВ 6 кВ Т-1	6	0,3	48,3	6	25	48,9
ПС 220 кВ Красноперекопск	МВ 6 кВ Т-2	6	0,3	48,3	6	25	48,9
ПС 220 кВ Красноперекопск	ВЛ 220 кВ Сода-1	8	0,3	48,1	8	35	48,9
ПС 220 кВ Красноперекопск	ВЛ 220 кВ Сода-2	8	0,3	48,1	8	35	48,9

В качестве устройств АЧР на ПС 220 кВ Красноперекопск используются:

- АЧР 6 очередь – микропроцессорное реле УРЧ-3-03;

- АЧР 8 очередь – микропроцессорное реле УРЧ-3-03.

Исходя из схемы сети видно, что шины ПС 220 Красноперекопск получают питание от шин ПС 330 кВ Титан, от шин ПС 220 кВ Донузлав и от шин ПС 330 кВ Джанкой.

Схема сети: ВЛ 220 кВ Красноперекопск – Джанкой в ремонте, ВЛ 330 кВ Джанкой – Титан – выведена.

Из вышесказанного следует, что на момент аварии 22 июня 2018 г. шины ПС 220 Красноперекопск получали питание только от шин ПС 220 кВ Донузлав.

Заключение о работе устройств ПА ГУП РК «Крымэнерго» 22 июня 2018 г.

22 июня 2018 г. в 14 часов 2 минуты, по факту двухкратного короткого замыкания ВЛ 110 кВ Островская – Зимино с отпайками с запретом АПВ, с последующим обесточиванием ВЛ 110 кВ Донузлав – Зимино и ВЛ 220 кВ Красноперекопск – Донузлав, произошло срабатывание устройств АЧР на ПС 220 кВ Красноперекопск, с последующим отключением с запретом АПВ: ВЛ 220 кВ Красноперекопск – Сода-2, МВ 6 Т-1, МВ 6 Т-2, МВ 35 Т-1, МВ 35 Т-2.

**Выводы.** Работа противоаварийной автоматики на ПС 220 кВ Красноперекопск помогла избежать больших материальных и моральных потерь. АЧР отработала правильно.

**РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА КОМБИНИРОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА САНАТОРНО-КУРОРТНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ КРЫМСКОГО РЕГИОНА**

Иванова А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>студентка кафедры электроэнергетики и электроснабжения Физико-технического института КФУ

научный руководитель: к.т.н., доцент Муровская А.С.

**Введение.** В связи с фактическим присоединением Крымского полуострова к Российской Федерации и строительством транспортного перехода через Керченский пролив, состоящий из двух параллельно расположенных мостов: автодорожного и строящегося железнодорожного, которые соединяют Керченский и Таманский полуострова, количество приезжающих на отдых значительно возросло. За последние двадцать лет санаторно-курортный комплекс Крыма значительно устарел, а основное инженерно-техническое

оборудование морально изношено. Следовательно, развитие индустрии отдыха и туризма в первую очередь необходимо начинать с реконструкции мест отдыха для комфортного пребывания посетителей.

Учитывая, что приоритетным направлением развития региона является энергосбережение, необходимо внедрять новые технологии, направленные на обеспечение бесперебойного электроснабжения и использование ресурсосберегающих технологий по экономии традиционных энергоносителей путем внедрения энергосистем на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Исходя из метеоклиматических и географических характеристик Крыма, данный регион обладает наибольшим потенциалом ВИЭ для применения с целью энергоснабжения как альтернативы традиционным топливосжигающим установкам, что позволит значительно экономить органическое топливо и снизить антропогенное воздействие на окружающую природную среду, являясь весьма актуальным фактом для Крымского полуострова, как курортно-рекреационной территории.

Среднее количество суммарной солнечной радиации для городов Крыма, поступающей на горизонтальную поверхность в зимнее время составляет 200-350 Вт/м<sup>2</sup> и 800-900 Вт/м<sup>2</sup> в летнее время. Имеющийся потенциал поступления солнечного излучения достаточно высок, и при существующих темпах развития направления по внедрению ВИЭ Крымский регион может стать лидером в развитии солнечной энергетики в Российской Федерации. В качестве установки для преобразования поступающего солнечного излучения в тепловую энергию для нужд потребителей применяют комбинированные энергосистемы с применением солнечных коллекторов. Солнечные коллектора реализуются следующими техническими решениями: плоские солнечные коллектора (ПСК) и солнечные трубчатые вакуумные коллектора (СТВК).

Температурный режим атмосферного воздуха для территории Южного берега колеблется зимой от +1,3°С до +5°С, летом: от +23°С до +32°С. Исходя из данных особенностей в качестве обеспечения теплоснабжения объектов санаторно-курортного комплекса и экономии традиционных энергоресурсов целесообразно применение тепловых насосов типа «воздух-вода», использующих в качестве низкопотенциального источника тепла – тепло атмосферного воздуха.

**Цель и задачи.** Целью данной работы является разработка проекта по обеспечению комбинированного энергоснабжения объекта санаторно-курортного комплекса Крыма с использованием новейших систем электроснабжения и оборудования на базе ВИЭ с целью обеспечения качественного теплоснабжения.

В качестве объекта проектирования был выбран открытый бассейн переливного типа пансионата «Северный», объемом 785 м<sup>3</sup>, а также сопутствующие здания для прохождения физиотерапевтических процедур, здание технологической части для размещения основного инженерно-технологического оборудования. Пансионат расположен в г. Ялта.

**Результаты исследований.** На первоначальном этапе разработки проекта были проанализированы имеющиеся линии электропередач с целью составления необходимой проектно-сметной документации по замене морально-изношенного оборудования.

Основными потребителями электроэнергии являются: технологическое оборудование открытого бассейна переливного типа, электроосвещение подземного здания технологической части, электроснабжение системы вентиляции, розеточные сети и электроосвещение здания душевых и раздевальных.

Исходя из проведенного анализа проектом предусмотрено:

- принять питающие сети трехфазные четырехпроводные, система с глухозаземленной нейтралью трансформатора, напряжение – 380/220 В, 50 Гц, III категория надежности. К прокладке принят кабель ВВГнг(А)-LS и АВБбШв для прокладки в земле;

- проектом предусматривается установка рабочего и аварийного освещения. Выбор светильников выполняется с учетом среды помещений и характера выполняемых в помещении работ. Для рабочего освещения здания душевых и раздевальных применяются светодиодные светильники, класса изоляции 1 и 2. Аварийное освещение предусмотрено в

помещении охраны, подземном здании технологической части обслуживания бассейна. Светильники аварийного освещения должны иметь знак, отличающий их от светильников рабочего освещения – буква А. Аварийное освещение выполнено светодиодными светильниками, укомплектованными блоком аварийного питания. Групповые сети электроснабжения и электроосвещения прокладываются кабелями с медными жилами марки ВВГнг(А)LS, класса П1б.8.2.2.2. Провода, кабели, трубы приняты огнестойкими, не распространяющими горение, с низким дымо- и газовыделением. Для питания аварийного освещения применяется огнестойкий кабель марки ВВГнг(А)FRLS, класса П1б.7.2.2.2;

- для обеспечения защиты от поражения электрическим током, пожаробезопасности помещений, проектом предусматривается система заземления типа TN-C-S с устройством повторного заземления нулевого защитного проводника РЕ питающей линии и уравнивание потенциалов.

Предполагаемое годовое потребление электроэнергии рассматриваемым открытым бассейном переливного типа и сопутствующими зданиями составит 83904 кВт·ч/год.

Исходя из проанализированных метеоклиматических характеристик рассматриваемого региона размещения объекта были построены графические зависимости температурного режима и поступления солнечного излучения с целью подтверждения перспективы использования оборудования на базе ВИЭ для обеспечения горячего водоснабжения и теплоснабжения рассматриваемого объекта.

Для нагрева воды в открытом бассейне переливного типа предлагается установить систему теплового насоса класса «воздух-вода», необходимая мощность системы составит 500 кВт. Предлагается установка теплового насоса фирмы Cooper&Hunter марки СН-HP50MFNM, максимальная тепловая мощность 500 кВт, потребляемая электрическая мощность 125 кВт.

Для обеспечения нужд горячего водоснабжения основного санитарно-технического оборудования здания душевых и раздевальных принята установка системы плоских солнечных коллекторов на кровле здания, обеспечивающих суточное потребление горячей воды отдыхающими. Разработанная система состоит из восьми ПСК фирмы «ЯSolar», бака-аккумулятора объемом 1,3 м<sup>3</sup>, насосного модуля и запорно-соединительной арматуры.

**Вывод.** Разрабатываемый проект реконструкции объекта санаторно-курортного комплекса на примере открытого плавательного бассейна переливного типа, расположенного в г. Ялта, с применением новейших систем электроснабжения и оборудования на базе ВИЭ с целью обеспечения комбинированного теплоснабжения, позволит снизить электропотребление из сети и исключить потребление органического топлива, что повлечет за собой снижение антропогенного воздействия на окружающую природную среду.

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПОВ ГИДРОАГРЕГАТОВ С ЦЕЛЬЮ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭНЕРГОСНАБЖЕНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Куплений В.О.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>студент кафедры электротехники и электроэнергетики*

*Физико-Технического Института КФУ*

научный руководитель: к.т.н., доцент Муровский С.П.

[vladskiy1997@mail.ru](mailto:vladskiy1997@mail.ru)

**Введение.** С целью снижения электропотребления в центральной энергосистеме Крыма наиболее актуальным является рациональное использование возобновляемых источников энергии для получения электрической энергии на собственные нужды промышленных

предприятий. Таким образом достигается автономия и независимость от общей питающей сети при стабильной работе объекта.

Одним из направлений развития собственной генерации является установка мини – ГЭС вблизи потребляющих предприятий. Гидроэнергетика является, несомненно, одной из наиболее развитых областей энергетики на возобновляемых ресурсах. При зарождении данной отрасли (примерно с 80-х годов прошлого столетия) для производства электрической энергии в гидроэнергетике были задействованы, как правило, гидравлические турбины, и, как показывает практика, их суммарная мощность возрастает во всем мире сейчас примерно на 5% в год, т.е. удваивается каждые 15 лет. Гидроэлектростанции и их оборудование имеют высокую надежность и работоспособность. Они заключаются в том, что составляющие элементы используются без ремонта длительное время, турбины, как правило, имеют срок эксплуатации не менее 50 лет. Это объясняется условиями эксплуатации: равномерный режим работы при отсутствии экстремальных температурных и других нагрузок. Вследствие перечисленных факторов стоимость вырабатываемой на гидроэлектростанциях электроэнергии низка и многие из них работают с достаточно высоким экономическим эффектом.

**Цель и задачи исследований.** Основной целью данной работы явился анализ наиболее широко применяемых типов гидротурбин и условий при которых они экономически целесообразно будут эксплуатироваться на водотоках различного происхождения. Также были рассмотрены задачи, связанные с наиболее эффективным использованием различного типа гидроагрегатов с целью получения наибольшей генерации электрической энергии.

**Методика исследований.** Для решения поставленных задач использовались следующие методы: картографический, аналитический, математическое моделирование, системный анализ.

**Результаты исследований.** Гидроэнергетика для автономного электроснабжения труднодоступных объектов является весьма актуальной, так как рядом, зачастую, находится водоток с достаточным расходом воды.

По принципу действия гидротурбины делятся на реактивные и активные. Реактивная гидротурбина может работать при реверсировании генератора как насос, закачивая воду обратно в водохранилище с коэффициентом полезного действия около 80%. К реактивным турбинам относятся **радиально-осевая гидротурбина** (Френсиса). Они нашли наиболее широкое применение в гидроэнергетике. Как правило, агрегаты подобного типа применяются при напорах от 20 до 700 м. На таких турбинах поток воды входит в рабочее колесо в радиальном направлении, а выходит из него в осевом, в связи с чем они и названы радиально-осевыми. В ковшовых турбинах рабочее колесо вращается в воздухе и только часть лопастей в данный момент времени находится во взаимодействии с водой. Рабочее колесо ковшовых турбин может использовать только кинетическую энергию воды, т.е. перед входом на рабочее колесо вся ее энергия должна быть преобразована в кинетическую, что осуществляется с помощью сопла. Таким образом, скорость воды (струи) определяет величину кинетической энергии, подводимой к рабочему колесу. Предельная величина скорости воды ограничивается в основном величиной потерь, т.е. уровнем падения КПД.

На приведенном графике, наглядно показано при каких условиях целесообразнее использовать различные типы гидротурбин с целью наибольшей выработки электроэнергии (рис.1).

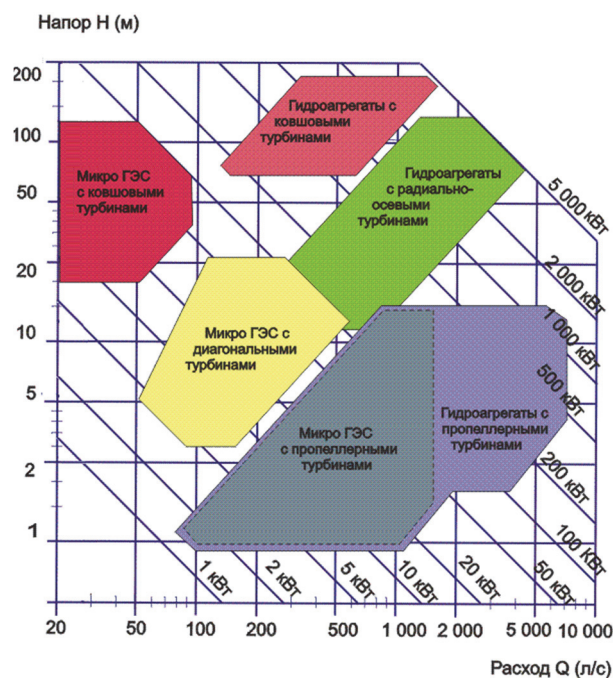


Рисунок 1. График эффективности использования различных типов гидроагрегатов

**Выводы.** При условии правильного подбора гидротурбины для реализации конкретного проекта можно достичь наиболее эффективного результата в виде получаемой электроэнергии в максимальном количестве, что приведет к снижению потребления электроэнергии предприятием от центральных сетей.

## УСОВЕРЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИКИ СТАНКА ДЛЯ НАМОТКИ ТОРОИДАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Циперко Л.Н.<sup>1</sup>, Бекиров Э.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>студент кафедры электроэнергетики и электротехники  
Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>профессор, доктор наук кафедры электроэнергетики и электротехники Физико-технического института КФУ

**Введение.** На сегодняшний день промышленностью выпускаются следующие виды сетевых трансформаторов: стержневые, броневые и тороидальные. Последние имеют ряд преимуществ таких как, больший КПД, меньшие габариты и лучшие характеристики по сравнению с остальными видами. Главным недостатком является их более долгий и сложный процесс изготовления, а следовательно, и большая цена. Предлагаемая конструкция установки, является альтернативой существующим станкам. Так как сердечник трансформатора находится не в геометрическом центре шпули и челнока, в процессе намотки длина провода между направляющим роликом и сердечником изменяется рис.1.

При движении от точки 1 к точке 2 длина провода увеличивается, а при движении от точки 2 к точке 3 уменьшаться. Это достигается за счёт того, что шпуля затормаживается при помощи тормоза. Недостаток этой схемы заключается в том, что тормоз работает все время и с постоянным усилием из-за чего при увеличении длины провода от точки 1 к точке 2 на двигатель приходится дополнительная нагрузка, а при движении от точки 2 к точке 3 длина провода уменьшается. Проходя мимо сердечника длину провода, снова нужно увеличить, так как шпуля в этот момент по инерции отстает от челнока в точке В происходит рывок, который на больших оборотах может растянуть провод или повредить изоляцию. Чтобы избежать



повреждения провода применяется компенсатор. Он представляет из себя механическую деталь, на которой закреплён направляющий ролик с пружиной, которая в свою очередь смягчает рывок. В предлагаемой конструкции функцию тормоза и компенсатора выполняет второй двигатель. При движении по первой полуокружности он работает как двигатель, поддерживая небольшое натяжение провода, а во второй как тормоз, уменьшая его длину. Управление двигателем достигается при помощи автоматики на основе микроконтроллера.

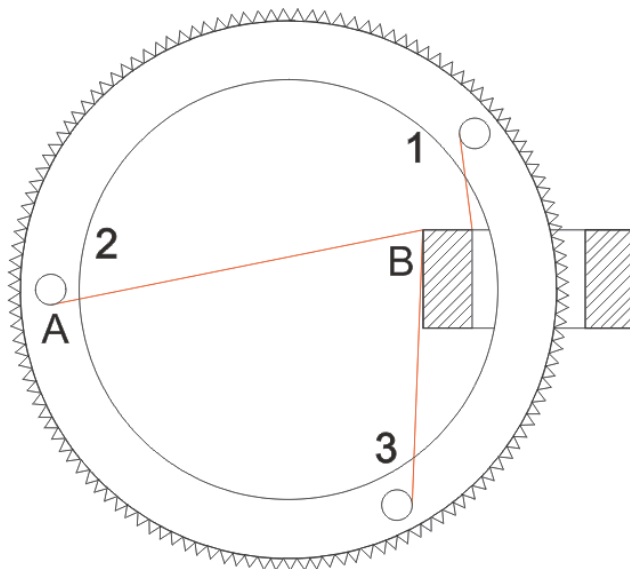


Рис.1 Изображение челнока и шпули намоточного станка

**Целью работы** является усовершенствование намоточного станка путем замены механических элементов, таких как тормоз и компенсатор и выполнения их функций за счет более простого и надежного привода, усовершенствование автоматики станка.

**Результаты исследований.** Преимуществами разработки является повышение надёжности и упрощение конструкции станка.

**Выводы.** Применение станков подобной конструкции позволяет упростить процесс производства тороидальных трансформаторов тем самым снизить их конечную стоимость.

## ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ КРЫМА

Шубин В.С.

*студент кафедры электроэнергетики и электротехники*

*Физико-Технического Института КФУ*

научный руководитель: к.т.н., доцент Муровский С.П.

**Введение.** В настоящее время Республика Крым является наиболее энергозависимым регионом страны и получает значительную мощность по энергомосту с материка. В ближайшее время, до ввода в эксплуатацию строящихся электростанций, энергетический баланс Крымской энергосистемы будет характеризоваться повышением дефицита мощности в связи с перспективой развития полуострова и подъема экономики.

Учитывая сложившуюся ситуацию в энергопроизводстве и состояние электросетей, возникает необходимость перехода части промышленного сектора на собственные

энергосберегающие технологии и разработки инновационных решений на базе возобновляемой энергетики (ВИЭ), которые бы повысили уровень надежности работы предприятий. Одним из направлений разработки энергосберегающих технологий может стать внедрение геотермальных тепловых насосов (ГТН) компенсирующих работу объектов традиционной теплоэнергетики.

Установка ГТН на различных промышленных и жилых объектах не является новшеством. Подобного рода проекты давно нашли применение в разных странах мира. Установка ГТН на отводящих трубопроводах очистных сооружениях позволит использовать избыточную тепловую энергию воды путем генерации высокопотенциального тепла для собственных нужд. Основная экономия энергоресурсов достигается за счет утилизации тепловой энергии от сточных вод.

**Цель и задачи исследований.** Целью работы является оценка возможности установки геотермальных тепловых насосов на отводящих трубопроводах очистных сооружений (КОС), обеспечивающих генерацию тепла для собственных нужд за счет избыточной энергии сбрасываемой очищенной воды и оценка экономического эффекта от внедрения энергосберегающей комбинированной энергосистемы.

**Методика исследований.** Для проведения расчетов целесообразности размещения ГТН на отводящих трубопроводах КОС использованы данные о фактических расходах очищенной воды из очистных сооружений и ее температурной составляющей. Расчеты проводились по стандартной методике.

Котельная на базе ГТН модульного типа, является полностью автоматизированной и не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала. Модули теплового насоса поставляются полностью укомплектованными средствами автоматизации с целью увязки разрабатываемой системы с технологической схемой работы КОС.

**Результаты исследований.** Тепловые насосы относятся к энергоэффективному оборудованию. Основная экономия энергоресурсов достигается за счет утилизации тепловой энергии от сточных вод КОС.

Реконструкция существующей котельной предусматривает установку теплового насоса модульного типа. Каждый модуль имеет тепловую мощность 80 кВт. Модули объединены в общий блок. Каждый модуль теплового насоса включает в себя: одноконтурную холодильную машину, работающую в режиме теплового насоса; циркуляционный насос конденсатора; циркуляционный насос испарителя; щит управления. Разрабатываемая схема позволяет производить ремонт или замену любого модуля без остановки остальных. Для исключения скачков температуры теплоносителя в схему включены буферные емкости. В качестве источника низкопотенциальной энергии служат очищенные сточные воды. Для обеспечения циркуляции очищенной воды, поступающей из очистных сооружений, установлены циркуляционные насосы.

Для исключения загрязнения испарителей тепловых насосов, в системе предусмотрено установка разборных пластинчатых теплообменников. В качестве промежуточного теплоносителя между теплообменниками и испарителем ГТН, применяется 15% водный раствор пропиленгликоля. Для оценки экономического эффекта с целью учета отпускаемой тепловой энергии предусмотрена установка счетчиков тепловой энергии. Также для снижения расходов электроэнергии, все циркуляционные насосы оборудованы частотными преобразователями, что позволит значительно снизить расход электроэнергии в переходный период отопительного сезона.

**Выводы.** Предлагаемый проект по внедрению ГТН на промышленных объектах позволит экономить природные ресурсы, что актуально в плане реализации государственной программы по энергосбережению. Реализация проекта позволит коренным образом повысить энергобезопасность промышленных предприятия Крыма, довести очистку сточных вод до необходимого объема и качества с минимальными энергозатратами.

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Меметов И.Н.<sup>1</sup>, Асанов М.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>студент кафедры электроэнергетики и электротехники  
Физико-технического института КФУ

<sup>2</sup>доцент кафедры электроэнергетики и электротехники  
Физико-технического института КФУ  
[asanov.m.m@cfuv.ru](mailto:asanov.m.m@cfuv.ru)

**Введение.** Последние десятилетия уровень жизни, производства колоссально вырос. Увеличивается и уровень потребления продуктов.

В огромных масштабах происходит процесс образования отходов, что является глобальной проблемой, из-за того, что планета начала погружаться в большую кучу мусора.

Люди нерационально используют исчерпаемые ресурсы планеты, взамен оставляя отходы.

Проблема мусора – это уже мировая глобальная задача, с которой непременно нужно бороться ведь состояние многих территорий плачевно.

Сегодня благодаря техническому прогрессу существуют способы борьбы с данной проблемой, но данный процесс требует больших капитальных вложений.

**Цель и задачи.** Расширить представление о структуре твердых бытовых отходов (ТБО), видов утилизации ТБО.

Обосновать внедрение технологии по утилизации ТБО термической обработкой (сжигание).

**Результаты исследований.** Твердые бытовые отходы – это остатки продуктов и предметы, использовавшиеся в быту, которые потеряли потребительские характеристики.

ТБО имеют своеобразную механическую структуру. Структура ТБО зависит от того, какой в ней находится мусор, в большей степени от наличия в нем плотных, волокнистых фракций (текстиль), которые могут быть влажными и липкими. Количественный состав ТБО представлен фракциями до 150 мм, остальное более 340 мм, являются балластами при переработке. Существует ряд балластных отходов, которые невозможно утилизировать.

В мировой практике используют несколько проверенных способов переработки ТБО: анаэробная переработка, пароллиз, газификация, плазменная переработка, сжигания в специальных печах.

Совершим небольшое сравнение в разных методах утилизации ТБО и определимся какой из данных методов, экономичный, надежный, эффективный.

Первое: для того, чтобы совершить сравнение, необходимо подсчитать стоимость переработки, учесть технологические, экономические, экологические факторы, иметь в приоритете не только капитальные и эксплуатационные затраты, но и последствие на природу и фауну на находящиеся рядом поселения с учетом различных методов утилизаций.

Второе: метод плазменной переработки не в силах переработать отходы в больших количествах, и является энергозатратным и имеет высокую цену и эксплуатационные расходы.

Третье: при любом методе, полученная концентрация диоксинов оказывается ниже допустимых значений, для ее очистки необходимы современные фильтры.

Четвертое: компостирование и низкотемпературный пиролиз не гарантирует полную безопасность и не обеспечивает защиту от бактерий.

Пятое: технология сжигания и пароллиза имеют преимущество по сравнению с другими, из-за цены производства и количества утилизированного ТБО.

Поэтому процесс утилизации мусора с помощью сжигания приобрел наибольшую известность из-за своей простоты. Данный вид утилизации способен произвести полное обеззараживание отходов, снизить количество отходов в 5-10 раз, массу в 4 раза, значительно уменьшить содержание опасных, загрязняющих веществ, производить инертные вещества, не

способные реагировать с другими веществами, тем самым увеличить экологическую безопасность, безопасно хранить на полигонах шлаки, либо использование их после дополнительной переработки.

Благодаря использованию данной технологии многими странами проводятся многочисленные исследования, совершенствуются методы сжигания, технологии. На многих заводах используются проверенные устройства сжигания в топках на колосниковой решетке.

Этот тип утилизации обладает высокой надежностью, но требуется измельчение отходов: следует подавать отходы с линейным размером до 0,8 метра.

В топке мусор, прошедший стадию селективного отбора, может сжигаться с разной теплотой сгорания.

В современных устройствах, на современном этапе развития науки, сжигание гарантирует полное разрушение органики, это достигается с помощью высоких температур.

На современных заводах предусматривается генерирование электрической и тепловой энергии для использования собственных нужд, а излишки можно выдавать в сеть.

**Выводы.** Внедрение технологии по утилизации ТБО целесообразное решение проблемы борьбы с мусором, который имеет большие преимущества. Данный вид утилизации подходит для широкого применения, как для утилизации ТБО, так и для решения проблемы с энергоэффективностью.

## УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА РАСХОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ПРОВОДАХ ЛЭП С УЧЕТОМ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Карташов В.С.<sup>1</sup>, Бекиров Э.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*студент кафедры электроэнергетики и электротехники  
Физико-технического института КФУ*

<sup>2</sup>*заведующий кафедрой электроэнергетики и электротехники Физико-технического  
института КФУ  
[kazus1992@mail.ru](mailto:kazus1992@mail.ru)*

**Введение.** При прочих равных условиях и при условии одинаковой нагрузки значения технологических затрат электроэнергии (ТЗЭ) и норматива для линий электропередач (ЛЭП) зависит лишь от значения эквивалентного сопротивления. Эквивалентное сопротивление функционально зависит от величины удельного сопротивления материала проводника, геометрических размеров проводников, условий эксплуатации и внешних климатических факторов, в частности от температуры. Эквивалентное сопротивление электрической сети в случае расчета ТЗЭ считается зависимым только от среднемесячной температуры воздуха, а в случае нормирования ТЗЭ зависимость сопротивления от температуры или изменения геометрических параметров не учитывается вообще. Исходя из изложенного, недоучет изменения эквивалентного сопротивления, как в нормировании, так и при расчете ТЗЭ от других внешних факторов (температуры, нагрузок, срока и условий эксплуатации) приводит к занижению как расчетных значений ТЗЭ так и норматива.

**Целью работы** является подход к уточнению методик расчета и нормирования ТЗЭ, поскольку эквивалентное электрическое сопротивление зависит от многих факторов, то он должен быть комплексным. В этой работе рассматривается апробация итерационного метода расчета величины удельного сопротивления проводника на основе комплексной модели состояния провода с целью повышения точности расчета ТЗЭ.

**Результаты исследований.** Учитывая одновременное действие на провод в течение срока эксплуатации внешних факторов и режимных нагрузок, внутренние изменения механических характеристик провода автором предложена комплексная модель состояния провода, которая является многокритериальной и включает в себя следующие составляющие:

1. Механическая составляющая;
  - 1.1. Базовая составляющая механического состояния;
  - 1.2. Составляющая ползучести;
  - 1.3. Составляющая старения.
2. Электромагнитная (электрическая) составляющая;
3. Температурная составляющая;
4. Составляющая коррозии поверхности провода.

Механическая составляющая модели определяет расчет механических напряжений в проводе на основе приравнивания состояния провода, исходя из внешних нагрузок на провод, с учетом релаксации напряжений под влиянием ползучести провода и изменения физико-механических констант вследствие старения.

Электромагнитная (электрическая) составляющая состояния провода определяет расчет активного сопротивления с учетом поверхностного эффекта и эффекта близости с расчетом активного электрического сопротивления через удельное.

Температурная составляющая численно характеризует зависимость температуры поверхности провода от внешних климатических факторов и токовых нагрузок. Расчет температуры поверхности провода выполняется на основе уравнения теплового баланса провода. Исходной величиной расчета является температура поверхности провода.

Необратимые процессы, связанные с уменьшением поперечного сечения вследствие процессов электрохимической коррозии, учтены путем введения составляющей модели, характеризующий коррозию материал.

В результате исследования обнаружили, что влияние природно-климатических факторов, режимных параметров, срока эксплуатации на геометрические и электрические параметры провода вносит уточнения норматива ТЗЭ до 10 % уже на сравнительно коротких фидерах за плотностей тока близких к номинальным на сравнительно новых воздушных линиях. В случае воздушных линий, находящихся в эксплуатации длительное время, эта величина может быть существенно больше. Превышение расчетных значений над нормативными происходит в основном в летние месяцы в связи с нагревом поверхности провода как температурой окружающей среды, так и действием токовой нагрузки, в зимние - превышение совершаемое главным образом токовым нагрузкам потребителей (населения) с электроотоплением (подогревом).

**Выводы.** На примере двух ЛЭП 10 кВ показано, что на сравнительно коротких воздушных линиях с незначительной загруженностью при нормировании или расчета величины ТЗЭ существует неточность в расчетах, что приводит к превышению нормативов ТЗЭ и, как следствие, убытков энергопоставляющих компаний.

Дальнейшие усилия будут направлены на исследования в области влияния поверхностного эффекта, изменения физико-механических констант материала провода под воздействием внешних факторов и определением величины интервала времени для усреднения действия на провод факторов, которые имеют переменный во времени характер.



## СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ВЕТРОВОЙ И СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Акулиничев Н.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>студент кафедры электроэнергетики и электротехники  
Физико-технического института КФУ

научный руководитель: д.т.н., профессор Бекиров Э. А.

[shmissser@gmail.com](mailto:shmissser@gmail.com)

**Введение.** Крымский полуостров обладает высоким потенциалом для использования возобновляемых источников энергии, таких как солнце и ветер. Однако, данные первичные источники энергии имеют случайный характер, что затрудняет оценку потенциала выработки электроэнергии.

В настоящее время известно большое количество разработок по методам предварительной оценки потенциала выработки электроэнергии генерирующими системами с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Много исследований посвящено изучению распределения скоростей ветра, есть работы направленные на изучение законов распределения солнечной радиации. Однако анализ статистических характеристик комбинированной работы фотопреобразователей (ФП) и ветроустановок (ВЭУ) с целью определения оптимального состава проектируемых генерирующих мощностей в одной системе в литературе не рассмотрен.

**Целью работы** является разработка метода, который позволит осуществлять предварительный выбор номинальных величин ветровой (ВЭС) и солнечной (СЭС) электростанций для обеспечения автономности энергообъекта или их работы в составе единой энергетической системы по средним значениям скорости ветра, суммарной солнечной радиации и нагрузки потребителей.

**Методика исследования** состоит из трёх этапов:

- анализ годовых выработок ВЭС и СЭС и оценка их распределения;
- определение средних значений выработки ВЭС и СЭС за рассматриваемый период;
- расчёт величин ВЭС и СЭС на основе суточного графика нагрузки.

Для анализа годовых выработок ВЭС и СЭС и оценки их распределения в течение годового периода по полученным значениям скоростей ветра и суммарной солнечной радиации по месяцам были построены графики выработки мощностей ВЭС и СЭС. Для этого были заданы установленные мощности ВЭС и СЭС в 1 МВт, а так же заданы характеристики ВЭУ и ФП.

Зависимость выработки мгновенной мощности от скорости ветра и суммарной солнечной радиации определялась по формулам (1) и (2) соответственно.

$$P_{ВЭС} = P_{НОМ ВЭС} \left( \frac{V_i}{V_{НОМ}} \right)^3, \quad (1)$$

где  $V_i$  – скорость ветра на высоте ВЭУ, м/с;  
 $V_{НОМ}$  – скорость ветра, при которой ВЭУ развивает номинальную мощность, м/с;  
 $P_{НОМ ВЭС}$  – номинальная мощность ВЭС, МВт.

$$P_{СЭС} = P_{НОМ СЭС} \frac{E_i}{E_{НОМ}}, \quad (2)$$

где  $E_i$  – мгновенное значение суммарной солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $E_{НОМ}$  – значение суммарной солнечной радиации при котором ФП развивает номинальную мощность, Вт/м<sup>2</sup>;

$P_{НОМ СЭС}$  – номинальная мощность СЭС, МВт.

На рисунке 1 представлены графики выработки ВЭС и СЭС за годовой период.

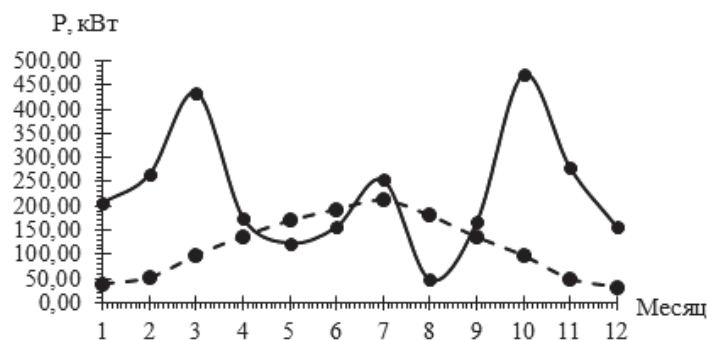


Рисунок 1. Выработка ВЭС (сплошная линия) и СЭС (пунктирная линия)

Из полученного графика можно сделать вывод что: приход солнечной и ветровой энергии чаще всего находится в противофазе; наибольшие преимущества комбинированных или гибридных станций проявляются при круглогодичном использовании. При этом в зимнее время основная выработка электроэнергии приходится на ВЭУ, а летом - на солнечные фотоэлектрические преобразователи (ФП).

Скорость ветра и приход суммарной солнечной радиации являются случайными величинами, однако энергетический приход от них за рассматриваемый период можно охарактеризовать средним значением за этот период. Поэтому выражения (1) и (2), принимают вид (3) и (4) соответственно.

$$P_{cp\ ВЭС} = P_{НОМ\ ВЭС} \left( \frac{V_{i\ cp}}{V_{НОМ}} \right)^3, \quad (3)$$

где  $V_{i\ cp}$  – средняя скорость ветра на высоте ВЭУ.

$$P_{cp\ СЭС} = P_{НОМ\ СЭС} \frac{E_{i\ cp}}{E_{НОМ}}. \quad (4)$$

С учётом несовпадения пиков потребления и выработки электроэнергии уравнения для выбора баланса мощности для выбора ВЭС и СЭС определяется выражением (5).

$$P_{cp\ СЭС} + P_{cp\ ВЭС} + P_{дублист} = P_{нагр.\ cp}. \quad (5)$$

Для примера была рассчитана необходимая мощность для обеспечения нагрузки машиностроительного завода.

В месте, где он расположен, среднесуточная скорость ветра в течение года на высоте 10 м ( $V_{cp\ сут}$ ) 5,7 м/с, среднесуточный приход суммарной солнечной радиации ( $E_{cp\ сут}$ ) 165 Вт/м<sup>2</sup>. Высота ВЭУ 95 м, номинальная скорость вращения ( $V_{ном}$ ) 13,5 м/с. ФЭП выдаёт номинальную мощность при суммарной солнечной радиации ( $E_{НОМ}$ ) 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Среднее значение мощности нагрузки 2,75 МВт.

По результатам расчёта величина дублирующего источника составляет ( $P_{дубл\ ист}$ ) 1,25 МВт, номинальная величина ВЭС и СЭС 8,1 и 10,3 МВт соответственно.

**Результаты исследований.** Преимуществом данного метода является его простота, отсутствие необходимости построений графиков нагрузки потребителей и выработки ВЭС и СЭС.

**Выводы.** Данный метод не учитывает пики потребления и выработки электроэнергии во времени, однако позволяет предварительно выбрать величины мощности ВЭС и СЭС, для обеспечения автономного электроснабжения или их работы в общей генерирующей энергосети, и в дальнейшем делает возможным оценку экономической целесообразности дальнейшего расчёта и развития проекта по строительству ВЭС и СЭС.

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

**М**  
Maksimov G.S., 64

**Н**  
Nauhatsky I.A., 64

**А**  
Акулиничев Н.М., 122  
Алексеев К.Н., 33, 38  
Алентьев Д.В., 86  
Асанов М.М., 108, 119

**Б**  
Баршак Е.В., 43  
Басиладзе Г.Д., 86  
Бекиров Э.А., 110, 116,  
120  
Бержанский В.Н., 70, 76,  
78, 80, 83, 86, 89, 91  
Бокова А.П., 70  
Бублий В.О., 68

**В**  
Вдовиченко А. Н., 36  
Вершицкий В.И., 34  
Викулин Д.В., 49, 50

**Г**  
Гирич Д.М., 103  
Глечик Д.А., 76  
Глушенков А.Н., 41  
Головченко А.В., 99  
Гонцова С.С., 66  
Горишний В.А., 95  
Григорьев П.Е., 41

**Д**  
Дзедолик И.В., 96  
Дмитренко П.С., 9  
Долгов А.И., 86  
Доненко И.Л., 33

**Е**  
Евтухова Е.А., 74

**З**  
Замковская А.И., 65  
Здоров А. А., 5  
Зубко Д.А., 29  
Зуев С.А., 13

**И**  
Иванова А.В., 112  
Иванова Е.В., 103

**К**  
Каравайников А.В., 70,  
78, 91  
Каракчиева О.С., 40  
Карташов В.С., 120  
Клевец Ф.Н., 51, 54  
Козик Г.П., 17  
Корниенко А.Ю., 26  
Космачев О.А., 55  
Космачёв О.А., 54  
Кривцова А.В., 55  
Куликов А.Г., 61  
Купленный В.О., 114

**Л**  
Лавриненко Д. С., 84  
Лагунов И.М., 72  
Лапин Б.П., 38  
Лемяков А.П., 52, 56, 58  
Линник В.В., 33  
Луговской Н.В., 76  
Лыхина Ю. В., 5  
Любутин И.С., 61  
Ляшко С.Д., 70, 78, 91

**М**  
Мазина А.Ю., 16  
Максимова Е.М., 65, 66  
Марченков Н.В., 61  
Меметов И.Н., 119

Милюкова Е.Т., 91  
Михайлова Т.В., 68, 70,  
74, 78, 80, 83  
Михерский Р.М., 6  
Могиленец Ю.А., 61, 62  
Мустафаева М.И., 7

**Н**  
Назарук П.В., 110  
Наухацкий И.А., 65, 66,  
78  
Неклюдов Е.А., 54

**О**  
Ожегов А.Ю., 19, 21, 24  
Оникиенко Е. В., 36  
Осетинский Г.В., 99  
Осокин К.С., 52

**П**  
Павленко Д.В., 13  
Патынок Е.Ю., 106  
Перескоков В. С., 27  
Полетаев Д.А., 46, 47  
Пономаренко В.И., 72  
Прокопов А.Р., 70, 78, 91

**Р**  
Ридченко В.В., 32  
Руденко М.А., 11  
Рыбалко С.Ю., 42  
Рыбась А. Ф., 36  
Рябушкин Д.С., 97

**С**  
Сагатов Е.С., 9  
Сапига А.В., 60  
Сейтаблаев И.К., 108  
Сеитасанов Я.О., 30  
Селезнев К.А., 62  
Селезнева К.А., 61, 62  
Смирнова А.Ю., 60  
Снегирёв Н.И., 61, 62  
Соколенко Б.В., 47

Стругацкий М.Б., 61, 62

## Т

Тицкий И.А., 101

Томилин С.В., 70, 78, 80,  
83, 89, 91

Томилина О.А., 80, 91

## Ф

Федосов Э.Э., 83

Фесенко Ф.Ф., 45

Филиппов Д. М., 84

Филиппов Д.М., 17

Фридман Ю.А., 51, 54, 55

Фролов К.В., 61

## Х

Ханейчук О.В., 56

Хацаюк В.В., 89

## Ц

Циперко Л.Н., 116

## Ч

Чабанов В.В., 3

## Ш

Шапошников А.Н., 70, 78,  
91

Шкирдов Д.А., 9

Шостак Р.И., 16

Шостка В.И., 34

Шостка Н.В., 40

Шостка Н.В., 34

Шубин В.С., 117

Шуйский А.А., 93

Шульга Н.С., 34

## Э

Элиович Я.А., 61

## Я

Яворский М.А., 38, 43, 49,  
50

Ягупов С.В., 61, 62

Ярыгина Е.А., 51

Яценко С.Г., 42